



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DEL HIDRÓXIDO
DE CALCIO SOBRE LA CALIDAD NUTRIMENTAL DE
LAS TORTILLAS DE MAÍZ ELABORADAS CON
NIXTAMALIZACIÓN POR MICROONDAS**

TESIS

PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERA EN
ALIMENTOS

PRESENTA:

Martínez Morquecho Rosa Angélica

Asesores de tesis:

Dr. Abraham Méndez Albores

M. en C. Enrique Martínez Manrique



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ÍNDICE

Índice de Tablas	v
Índice de Figuras	vi
Abreviaturas	vii
JUSTIFICACIÓN	1
INTRODUCCIÓN	2
ANTECEDENTES	4
1. Generalidades del maíz	4
1.1. Origen del maíz	4
1.2. Características de las variedades del maíz	5
1.3. Estructura y características del grano de maíz	6
1.3.1. Características del grano de maíz	6
1.3.2. Estructura del grano de maíz	6
1.3.3. Pericarpio	7
1.3.4. Endospermo	8
1.3.5. Germen	9
1.3.6. Pedicelo o cofia	9
1.4. Composición química y valor nutrimental del maíz	10
1.4.1. Almidón	10
1.4.2. Proteínas	11
1.4.3. Lípidos	11
1.4.4. Azúcares libres	12
1.5. Producción y consumo de maíz en México	12
1.5.1. Producción	12

1.5.2. Consumo	12
2. La tortilla de maíz	13
3. Nixtamalización	13
3.1. Procesos alternos de nixtamalización	13
3.1.1. Nixtamalización tradicional con vapor	13
3.1.2. Nixtamalización con pre-remojo	14
3.1.3. Nixtamalización tradicional con cocción a presión	14
3.1.4. Procesos continuos y discontinuos (por lotes)	14
3.1.5. Método con cámara de vapor	14
3.1.6. Nixtamalización por cocción dieléctrica	15
3.1.7. Nixtamalización fraccionada del grano de maíz	15
3.1.8. Nixtamalización tradicional	15
3.1.8.1 Cambios durante la elaboración de la tortilla	17
3.1.9. Nixtamalización por microondas	19
3.1.9.1. Ventajas	20
4. Objetivos	22
4.1. Objetivo general	22
4.2. Objetivos particulares	22
5. MATERIALES Y MÉTODOS	23
5.1. Materiales	23
5.2. Métodos	23
5.2.1. Propiedades físicas del grano	23
5.2.1.1. Tamaño del grano	23
5.2.1.2. Peso de 1000 granos	23
5.2.1.3. Peso hectolítrico	23
5.2.2. Procesamiento de las unidades experimentales	24
5.2.3. Propiedades de calidad de las tortillas	24
5.2.3.1. Capacidad de enrollamiento (rolabilidad)	24

5.2.3.2. Grado de inflado	24
5.2.3.3. Pérdida de peso en la cocción	25
5.2.4. Propiedades químicas del maíz y de las tortillas	25
5.2.4.1. Proteína	25
5.2.4.2. Lípidos	26
5.2.4.3. Fibra	27
5.2.4.4. Cenizas	28
5.2.4.5. Triptófano	28
5.2.5. Propiedades físico-químicas de las tortillas	29
5.2.5.1. Color	29
5.2.5.2. Humedad	29
5.2.5.3. pH	30
5.2.6. Diseño experimental estadístico	30
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
6.1. Propiedades físicas y fisicoquímicas de los granos de maíz	31
6.1.1. Propiedades físicas	31
6.2. Propiedades fisicoquímicas del grano de maíz y de la harina Comercial nixtamalizada (Maseca)	32
6.3. Propiedades fisicoquímicas de la masa	32
6.3.1. Humedad	32
6.3.2. pH	33
6.4. Propiedades Fisicoquímicas de las tortillas	34
6.4.1. Humedad	34
6.4.2. pH	35
6.4.3. Color	36
6.5. Propiedades de calidad de la tortilla	38
6.5.1. Pérdida de peso	38
6.5.2. Rolabilidad	40
6.5.3. Inflado	40

6.6. Análisis composicional de las tortillas	41
6.6.1. Proteína	41
6.6.2. Cenizas	44
6.6.3. Fibra	44
6.6.4. Carbohidratos	45
6.6.5. Lípidos	45
6.6.6. Triptófano	46
CONCLUSIONES	48
RECOMENDACIONES	49
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	50

Índice de Tablas

1. Características morfológicas del maíz	4
2. Composición química del grano de maíz y sus estructuras anatómicas integral	10
3. Composición de aminoácidos en el maíz	11
4. Caracterización física del grano de maíz	31
5. Propiedades fisicoquímicas del grano de maíz y de la harina comercial nixtamalizada	32
6. Propiedades fisicoquímicas de la masa	33
7. Propiedades fisicoquímicas de las tortillas	35
8. Propiedades de calidad de las tortillas	40
9. Propiedades químicas de las tortillas	43

Índice de Figuras

Figura 1. Estructura del grano de maíz	7
Figura 2. Diagrama de proceso de nixtamalización tradicional	16
Figura 3. Diagrama de proceso de nixtamalización por microondas	20
Figura 4. Grado de inflado	25
Figura 5. Colorímetro	29
Figura 6. Potenciómetro semi portátil marca Conductroni	30

Justificación

En México uno de los problemas experimentados por la industria de la masa y la tortilla es en relación a la calidad nutricional, debido a que el mismo proceso de nixtamalización afecta significativamente el contenido de lisina y triptófano, aunado a que no existe un debido control sobre la concentración de hidróxido de calcio durante el proceso.

Se ha establecido que el proceso de nixtamalización reduce el contenido de lisina y triptófano en 9.6 y 52.61% respectivamente; sin embargo, no se tiene información respecto a la calidad nutricional de las tortillas elaboradas con el método de nixtamalización por microondas. Por lo tanto se considera crucial evaluar el efecto que diferentes concentraciones de hidróxido de calcio puedan tener sobre la calidad de las tortillas, debido a que este proceso difiere significativamente del método tradicional.

Introducción

El maíz, el trigo y el arroz conforman la base de la alimentación a nivel mundial, particularmente en África y en América Latina, en donde la proteína animal no es tan disponible para un gran sector de la población, por su elevado costo. El maíz es una materia prima que se utiliza para producir diversos productos tales como: tamales, tostadas, atole, tortillas, entre otros; siendo la tortilla la más popular y la de mayor consumo.

La alimentación humana y animal en gran parte se basa en el consumo de granos y sus derivados. Es bien conocido que en México el consumo de maíz en forma de tortilla es alto, alcanzando valores *per cápita* de hasta 120 kg por año, las cuales se obtienen mediante un proceso tradicional de nixtamalización.

En las zonas rurales, el 65% de los nutrientes de la dieta provienen de las tortillas, el 15% de los frijoles, y el resto de otros productos alimenticios. Las tortillas se obtienen mediante un proceso llamado nixtamalización (Náhuatl, *nixtli*, cenizas, y *tamalli*, masa cocido de maíz), consiste en el cocimiento del grano en abundante agua y cal a temperaturas cercanas a la ebullición, durante 35-70 min con reposo de 8 a 16 h después del reposo, es desechada la solución de cocimiento (nejayote), al grano se le aplica un lavado, para luego someterlo a molienda.

El proceso de la nixtamalización tradicional, aunque es muy antiguo, hasta la fecha se continúa utilizando con pocos cambios en las etapas de preparación. Esta falta de modernización ha originado que lo que antes, a pequeña escala, no representaba problemas, hoy en día sean pronunciados, como lo es la producción de grandes cantidades de nejayote, efluente altamente contaminante por su alto contenido de materia orgánica y elevada alcalinidad, lo que lo hace muy demandante de grandes cantidades de oxígeno para su degradación.

La búsqueda continua de nuevas tecnologías con ventajas sobre el proceso tradicional, tales como: la aceleración del proceso, reducción de uso de agua, eliminación de efluentes contaminantes, reducción de costos de operación

(energía/tiempo), así como la obtención de una buena calidad del producto obtenido. Recientemente en la FES-Cuautitlán se desarrolló un proceso alternativo de nixtamalización por microondas, en el cual el maíz es fragmentado y mezclado con agua y cal, cocidos en un horno de microondas, dejados en reposo y finalmente molidos para obtener masa fresca para la elaboración de las tortillas. En el caso de este proceso alternativo de nixtamalización, se utiliza solamente el agua necesaria para que se lleven a cabo las reacciones químicas propias de la nixtamalización, sin generar nejayote y por ende sin requerir grandes cantidades de agua. Además, otras de las ventajas de este proceso, al usar el grano completo, son el aumento del rendimiento de masa/tortilla, así como un mayor aporte nutricional al modificar las etapas y condiciones del proceso de nixtamalización.

Por lo anterior, en este proyecto se propone evaluar la calidad nutricional de las tortillas al variar la concentración de calcio por ambos métodos de nixtamalización y al mismo tiempo evaluar las propiedades de calidad de las masas y las tortillas producidas.

1. Antecedentes

1.1. Origen del maíz

El maíz (*Zea mays* L.) es el cereal más antiguo cultivado en el continente Americano y significa “lo que sustenta la vida”. Se considera que su lugar de origen fue Mesoamérica, en donde evidencia arqueológica indica que existía como una variedad silvestre en la región central de México y con el tiempo fue cultivado y utilizado como alimento durante el desarrollo de las civilizaciones Mesoamericanas. A partir del descubrimiento de América se difundió este cultivo a Europa, África y Asia.

La mayoría de los investigadores opinan que el maíz se desarrolló a partir del Teosintle, otros en cambio suponen que se originó a partir de un maíz silvestre hoy en día desaparecido. La teoría de la proximidad entre el Teosintle y el maíz se basa en que ambos tienen 10 cromosomas y son homólogos o parcialmente homólogos (Rojas-Molina, 2008).

Definición de maíz: planta de la familia de las gramíneas, con el tallo grueso de uno a tres metros de altura, según las especies; hojas largas, planas y puntiagudas; flores en racimos terminales y las femeninas en espigas axilares resguardadas por una vaina (Ramos-Carrillo, 2007).

Tabla 1. Características morfológicas del maíz

Nombre común	Maíz
Nombre científico	<i>Zea mays</i>
Familia	<i>Gramíneas</i>
Género	<i>Zea</i>

Fuente: Bender, 1994

1.2. Características de las variedades de maíz

La forma, tamaño, estructura y composición del grano, está determinada por sus antecedentes genéticos y los hay grandes, pequeños, en forma esférica, aplanada y otras. De acuerdo con la estructura de sus granos, el maíz puede dividirse en subespecies, de la siguiente manera:

Maíz palomero o reventado (*Zea mays everta*): grano que tiene endospermo muy duro. Son de grano chico caracterizado por la capacidad explosiva al ser sometida al calor. Se utiliza para la elaboración de palomitas.

Maíz cristalino o duro (*Zea mays indurata*): los granos de este tipo de maíz son redondeados, duros y suaves al tacto, presenta un endospermo duro y gránulos de almidón compactos en una matriz proteica. En otros países se conoce como maíz “Flint” o dentado. Su uso principal es en la alimentación humana y como materia prima para la obtención de alcohol y almidón.

Maíz dentado (*Zea mays indentata*): en los tipos dentados, el endospermo se caracteriza por una alta proporción de almidón y baja proteína, la textura del grano es blanda. Tiene una alta tendencia al quebrado durante la cosecha, transporte y almacenamiento, lo cual facilita el ataque de insectos y hongos, es preferido para la molienda húmeda y para alimento de ganado, los granos son de color amarillo y/o blanco. Cuando madura presenta una gran muesca o depresión en el grano.

Maíz harinoso dulce (*Zea mays saccharata*): en el momento de la cosecha el grano tiene cerca de 70% de humedad, su endospermo tiene alrededor de 11% de azúcar. Al secarse adquiere un aspecto arrugado. Es adecuado para el consumo humano y/o animal.

Maíz envainado o tunicado (*Zea mays tunicata*): este grano está encerrado en una pequeña cascarilla propia (glumas), además de las que cubren la mazorca. Este maíz puede tener diferentes tipos de endospermo (www.fao.org; Ramos-Carrillo, 2007; Barros, 1997).

También existen otros dos tipos de maíces que son utilizados como plantas de ornato, entre ellos: el *Zea mays japónica* y el *Zea mays gracillina*.

1.3. Estructura y características del grano de maíz

1.3.1. Características del grano de maíz

La planta mide de dos a cuatro metros de altura, está constituida principalmente por formas adventicias (las que se originan del tallo). Los granos de maíz son producidos dentro de una inflorescencia femenina o espiga llamada mazorca. Esta estructura puede estar formada por 300 hasta 1000 granos, dependiendo del número de hileras, diámetro y la longitud del olote. El peso de la mazorca puede variar dependiendo del número de granos presentes.

El maíz comparado con otros cereales es el que presenta mayor tamaño, tiene diversas formas y tamaños debido a su origen genético y a su colocación dentro de la mazorca. El rango del peso de los granos se encuentra entre 100-600 mg. Las medidas promedio del maíz en el centro de la mazorca son: 5 mm de espesor, 10 mm de ancho y 12 mm de largo. El color del maíz depende de la variedad, existen blancos, amarillos, naranjas, rojos, morados, cafés, entre otros. El color del maíz puede ser debido a la genética en el pericarpio, en la capa de aleurona, del germen y del endospermo.

1.3.2. Estructura del grano de maíz

El grano de maíz está constituido por cuatro estructuras anatómicas mayoritarias las cuales son: pericarpio, endospermo, germen y cofia. En la Figura 1 se presentan las principales estructuras del grano de maíz.

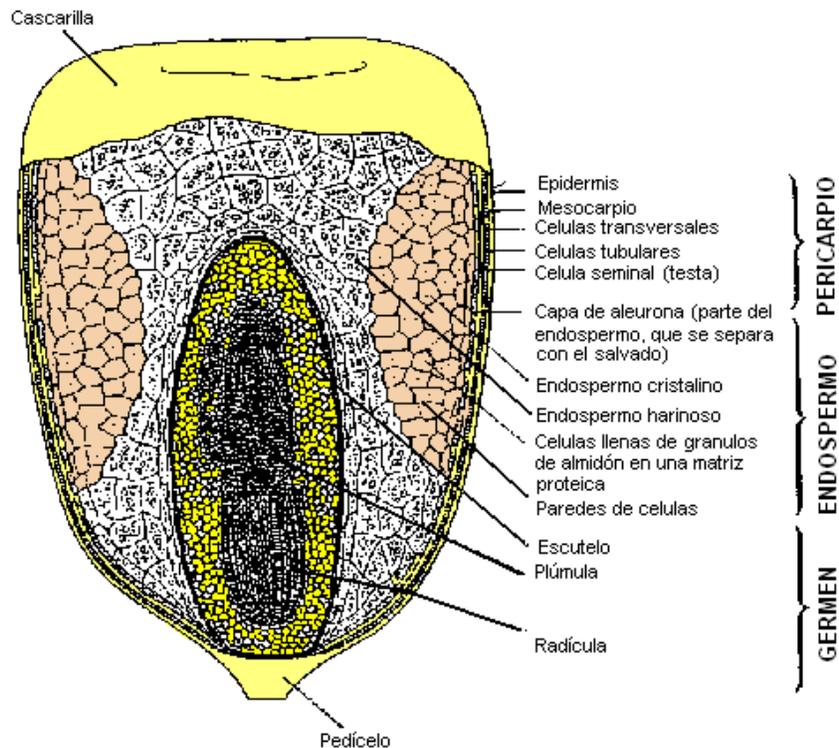


Figura 1. Estructura del grano de maíz. (FAO, 1993)

1.3.3. Pericarpio

El pericarpio está compuesto de una capa externa de células de pared celular gruesa, alargadas y petrificadas que forman un tejido denso y duro; debajo de ésta contiene una capa de células esponjosas, tubulares y transversales, que es continua con las células esponjosas del pedicelo. Después de esta capa se encuentra una membrana cerosa delgada conocida como la cáscara de la semilla, debajo contiene un tejido de células gruesas conocido como capa de células de aleurona.

Todos los componentes del pericarpio constituyen aproximadamente el 3% del peso seco del grano (Watson, 1987).

Las capas que conforman el pericarpio son:

- 1) Epidermis
- 2) Mesocarpio
- 3) Células cruzadas

- 4) Células tubulares
- 5) Testa

El pericarpio es una estructura muy delgada, su espesor varía de 62 a 160 micras, el grosor varía de acuerdo a su localización en el grano. Todas las subestructuras del pericarpio están constituidas por células conformadas por tubos celulósicos huecos, los cuales forman canales que permiten la absorción de agua y facilitan su entrada a través de la cofia.

Entre los componentes secundarios del pericarpio se encuentran: almidones (7%), proteínas (1.4%), grasas (1%), azúcares (0.5%) y lignina (0.1%). La mayor parte de los lípidos del pericarpio son esteroides y alcoholes alifáticos derivados de la película de ceras que conforman la epidermis (capa más externa), además estos lípidos son no saponificables.

El pericarpio es la principal fuente de fibra en el grano y se recomienda que durante el tratamiento térmico-alcálico se elimine parcialmente, ya que esta estructura es responsable del color indeseado de los productos procesados. La eliminación total del pericarpio durante la nixtamalización puede ocasionar que los productos intermedios como la masa y harinas de maíz requieran de aditivos para mejorar sus propiedades mecánicas y térmicas, las cuales repercuten en la textura y flexibilidad de las tortillas.

Por otra parte, el pericarpio desempeña un papel importante durante el proceso de nixtamalización, debido a que representa una barrera para que la difusión de agua y de calcio tenga lugar hacia las estructuras más internas del grano, en el pericarpio se fija la mayor cantidad de calcio en el grano nixtamalizado, el cual es eliminado durante las etapas de lavado

1.3.4. Endospermo

El endospermo representa aproximadamente del 82 al 84% del peso del grano de maíz en base seca. Está constituido de un 86-89% de almidón, 9% de proteínas, 1% de lípidos, 0.5% de azúcares simples, 0.3% minerales y 2% de fibra cruda

(hemicelulosas). El endospermo almidonoso es de dos tipos: harinoso y córneo o duro, en relación 2:1. La región harinosa del endospermo se caracteriza por tener células con gránulos de almidón grandes (10-30 μ) y esféricos, y una capa delgada de matriz proteica, la cual se rompe durante el secado formando vacíos intercelulares; a estos espacios vacíos formados en las células endospérmicas se atribuye la apariencia blanca harinosa del grano (Watson, 1987).

Por otro lado, las proteínas presentes en el endospermo representan el 75% de la proteína total del grano. El contenido proteico está influenciado por la disponibilidad de nitrógeno del suelo donde fue cultivado por donde fue cultivado; los cambios en el contenido total de la proteína son en la parte interna a nivel del endospermo periférico, principalmente de la zeína.

1.3.5. Germen

El germen está constituido por el embrión y el escutelo y constituye aproximadamente entre el 11.5% del peso total del grano en base seca. El germen es donde se almacenan los nutrientes que utiliza el grano durante la germinación (Watson, 1987).

Fundamentalmente en el escutelo están presentes los lípidos como componente mayoritario los ácidos grasos: linoléico, oleico, palmítico, esteárico, mirístico. La composición de las grasas del grano de maíz en términos de ácidos grasos libres resulta aproximadamente, en porcentaje en peso: mirístico 1-2% palmítico 7-11%, esteárico 3-4%, oleico 25-35%, linoléico 50-60%, y otros que son mayores de 18 carbonos, 1-2%.

1.3.6. Pedicelo o cofia

Es una estructura fibrosa que mantiene al grano unido con el olote y por la cual se transportan los nutrientes que el grano necesita durante su etapa de crecimiento. Está compuesto de haces vasculares que terminan en la porción basal del pericarpio, consta de una capa exterior de abscisión, con la probable función de sellar 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, conectadas con la capa de células cruzadas del pericarpio (Watson, 1987). El pedicelo o cofia constituye un 0.5 % del peso total del grano. El pedicelo o cofia se encuentra conectada con la capa de células tubulares del pericarpio, lo que permite la distribución de nutrientes, la difusión de agua y de calcio hacia el endospermo.

1.4. Composición química y valor nutrimental del maíz

Es importante conocer la composición química del grano de maíz. No solo del grano entero sino también de sus diferentes estructuras, tal y como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Composición química promedio del grano de maíz integral

	Grano	Almidón	Proteína	Lípidos	Azúcares	Cenizas
Grano integral	-	71.5	10.3	4.8	2	1.4
Endospermo	82.3	86.4	9.4	0.8	0.6	0.3
Germen	11.5	8.2	18.8	34.5	10.8	10.1
Pericarpio	5.3	7.3	3.7	1	0.3	0.8
Pedicelo	0.8	5.3	9.1	3.8	1.6	1.6

Fuente: Klaus y Karel 1991

Expresada en % en base seca.

1.4.1. Almidón

El grano de maíz normal está constituido principalmente de almidón (72% aproximadamente). La proporción varía dependiendo del tipo de maíz; el maíz opaco, con una alta relación germen-endospermo presenta un 5% menos almidón en relación al maíz normal. Básicamente el almidón se concentra en el endospermo y en menor cantidad en el germen, pericarpio y pedicelo (Watson, 1987).

1.4.2. Proteínas

Las proteínas constituyen aproximadamente el 10.3% del grano integral y se encuentran principalmente en el endospermo del grano de maíz (Inglett, 1970). La distribución proteica general en el grano de maíz es de 5% de albúminas y globulinas, 44% de prolaminas y 28% de glutelinas. La principal proteína en el maíz es una prolamina denominada zeína. En las proteínas del grano de maíz, el primero y segundo aminoácido limitante es la lisina y el triptófano, respectivamente, pero en contraparte es alto su contenido de leucina (Hoseney, 1986). En lo que respecta a los aminoácidos, la composición (g/kg de proteína) se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Composición de aminoácidos en el maíz (g/kg de proteína).

Aminoácidos	Maíz	FAO/WHO/ONU	
		Niño	Adulto
Isoleucina	37 ± 0.2	2.8	1.3
Leucina	125 ± 0.1	6.6	1.9
Lisina	27 ± 0.2	5.8	1.6
Metionina	35 ± 0.2	2.5	1.7
Fenilalanina	88 ± 0.2	6.3	1.9
Treonina	37 ± 0.1	3.4	0.9
Valina	41 ± 0.2	3.5	1.3
Histidina	27 ± 0.3	1.9	1.6
Triptófano	6 ± 0.1	1.1	0.5

Fuente. Aguilar-Miranda *et al.*, 2002

1.4.3. Lípidos

Estos compuestos representan alrededor del 4.8% del peso total del grano. El germen es la parte del grano donde se localiza la mayor parte de lípidos, constituyendo aproximadamente el 80%. Los lípidos se encuentran principalmente

como triglicéridos de ácidos grasos donde el ácido linoléico es el principal componente (59% de los ácidos grasos).

1.4.4. Azúcares libres

Los azúcares libres en el grano de maíz constituyen del 1.0 al 3.0%, siendo la sacarosa el azúcar de más alta proporción.

1.5. Producción y consumo de maíz en México

1.5.1. Producción

El maíz es el principal cultivo agrícola de nuestro país. El volumen de la producción y superficie destinada al cultivo de maíz representa la mitad de la tierra cultivable en el país y dependen directamente de él cerca de la cuarta parte de la población mexicana (Iturriaga, 1987). La producción total de maíz en México para el 2010 fue de 25 millones de toneladas (SAGARPA, 2011), destinándose una parte para consumo humano, para alimentación animal y usos industriales. A pesar de esta producción los requerimientos siempre son mayores, por lo que se tiene que importar maíz.

1.5.2. Consumo

En México el maíz se consume de diversas formas: en grano (pozole), tostado y molido (pinole y atoles), como masa (tamales) y nixtamalizado en diversas formas que se hacen utilizando como base la tortilla (tacos, sopes, enchiladas, huaraches, tostadas, botanas, entre otros). Tradicionalmente, el mayor consumo de este grano se hace en forma de tortilla, la cual se acompaña con otros alimentos por ejemplo: frijoles, vegetales, chiles, queso, carnes.

Comparativamente, el consumo de maíz en nuestro país es 23 veces más que el de arroz, 9 veces más que el de frijol y 3 más que el trigo (Iturriaga, 1987). Se estima que la tortilla es consumida por el 94% de la población mexicana (Rubio, 1989), teniendo un consumo anual per cápita de 120 kg/año (Plasencia, 2004). Por esta razón, la industria de la tortilla es una de las más importantes en el país (Wall Street Journal, 1993). Generalmente las tortillas son consumidas el mismo

día de su producción, debido a su alto contenido de humedad (45-50%) y su actividad acuosa (Martínez- Flores *et al.*, 2004; Islam *et al.*, 1984; Johnson *et al.*, 1980).

2. La tortilla de maíz

La tortilla de maíz es un disco aplanado de masa de maíz nixtamalizado cuyas dimensiones varían de 1.2 a 2 mm de espesor y de 12 a 18 cm de diámetro. Esta se prepara a partir de masa sometida a cocción sobre una superficie metálica (comal) caliente (260 a 280 °C).

Las tortillas elaboradas a mano, en máquina manual o automática, se caracterizan por tener tres etapas de contacto con la superficie caliente de aproximadamente de 17, 50 y 17 segundos, es decir, 34 segundos por un lado y 50 por el otro lado.

Durante la primera etapa se forma una capa delgada de la tortilla y la segunda da a la formación de una capa gruesa y la tercera la evaporación de agua entre las dos capas que hace que se separen y se infle la tortilla.

3. Nixtamalización

3.1. Procesos alternos de nixtamalización de maíz

3.1.1. Nixtamalización tradicional con vapor

Este proceso consta del mismo procedimiento que el tradicional solo que el cocimiento se realiza con vapor, la calidad de las tortillas es similar a las obtenidas por el proceso de nixtamalización tradicional. Consiste en inyectar vapor a una mezcla de maíz cal agua y elevar la temperatura hasta alcanzar el punto de ebullición, donde el maíz es cocido y posteriormente enfriado hasta una temperatura de 40 °C, finalmente los granos de maíz cocidos se dejan en reposo, se lavan y muelen como el proceso tradicional (Bedolla y Rooney 1982; Serna-Saldívar 1996).

3.1.2. Nixtamalización con pre-remojo

La ventaja principal de este proceso es que se reduce en gran medida el tiempo de cocimiento del grano de maíz de 80 a 50 min. El pre-remojo es suficiente para que el grano absorba una gran cantidad de agua, la cual posteriormente facilitan las reacciones fisicoquímicas durante el cocimiento térmico alcalino. Este proceso consiste en dejar reposar el grano de maíz en solución de cal durante 12 h a temperatura ambiente, una vez concluido este tiempo se procede de la misma forma que el proceso tradicional.

3.1.3. Nixtamalización tradicional con cocción a presión

El grano es cocido mediante la aplicación de altas presiones, en este proceso se lleva a cabo en un recipiente a presiones de 5-25 libras/pulgada² en un tiempo aproximado de 20 minutos, posteriormente el grano cocido se lava y enfría, se deja en reposo por 60 minutos con agitación cada 10 minutos. Finalmente el grano es molido, la textura de la masa resultante es muy pegajosa y difícil de moldear, este método no favorece a todas las reacciones que se generan durante la nixtamalización pues el grano sufre una degradación fuerte (Bedolla y Rooney 1982).

3.1.4. Procesos continuos y discontinuos (por lotes)

Consiste en colocar una muestra de maíz, cal y agua en una banda en espiral en una atmósfera de vapor, de tal manera que el grano es cocido a medida que este es transportado. Una vez cocido el grano éste es lavado para remover parte del pericarpio y el exceso de cal y finalmente secado y molido.

3.1.5. Método con cámara de vapor

Este proceso emplea temperaturas en rango de 80-120 °C, el cocimiento de la harina de maíz se realiza dentro de una cámara de vapor con ventilador en la parte inferior para homogenizar el aire, la harina de maíz es acondicionada con cal, la temperatura se eleva gradualmente hasta alcanzar el punto de ebullición,

posteriormente la harina se transfiere a una cámara de enfriamiento y finalmente se realiza la molida.

3.1.6. Nixtamalización por cocción dieléctrica

Este proceso inicia con una maceración del grano de maíz en una suspensión de agua y cal a esta mezcla se le aplica un tratamiento dieléctrico dentro de una celda de nylonide y dos electrodos de Cu-Ni conectados a una corriente directa donde el voltaje es aumentado hasta alcanzar 100 V

3.1.7. Nixtamalización fraccionada del grano de maíz

Este proceso consiste en nixtamalizar en forma separada las fracciones del grano de maíz con el propósito de hacer eficiente el consumo de agua y energía. Las fracciones del maíz se separan por medio de un descascarado continuo y se nixtamalizan por separado.

3.1.8. Nixtamalización tradicional

La tecnología para la producción de la tortilla de maíz es muy antigua y se ha transmitido de generación a generación en el transcurso de los años; este procedimiento se denomina nixtamalización (del nahuatl, nextli, cal de cenizas, y tamalli, masa cocida de maíz) (Cabrera, 1972).

El proceso consiste en la cocción del grano en abundante agua y cal [2-3 L de agua / kg de maíz, con 1-3% de $\text{Ca}(\text{OH})_2$] a temperaturas cercanas al punto de ebullición, de 35 a 70 minutos, con un período de reposo de 8-16 h. Después del reposo, la solución de nixtamalización se decanta, y el grano es lavado a fondo para dejar el grano listo para la molienda con el fin de obtener la masa (masa de maíz) para la fabricación de las tortillas (Serna-Saldívar et al., 1990). En la Figura 2 se ilustra el proceso tradicional de nixtamalización.

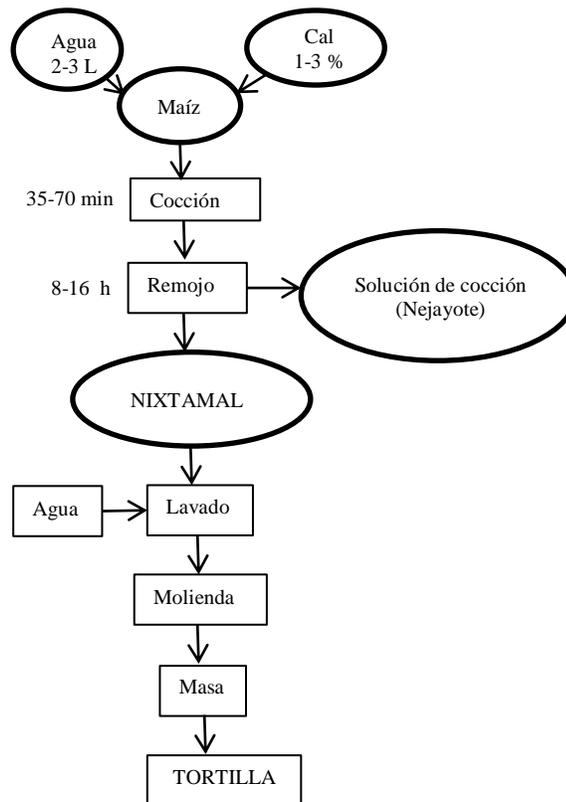


Figura 2. Diagrama de proceso de nixtamalización tradicional

El tratamiento térmico alcalino (nixtamalización), cumple varias funciones: facilita el desprendimiento del pericarpio del grano de maíz, controla la actividad microbiana, mejora el sabor, aroma, vida de anaquel y el valor nutricional de las tortillas, entre otras (Cravioto *et al.*, 1945; Paredes-López y Saharópulus-Paredes, 1983; Rooney y Serna-Saldívar, 1987; Serna-Saldívar *et al.*, 1988a, 1988c). La utilización de este procedimiento tradicional está actualmente restringido a parte del medio rural y a pequeñas áreas urbanas ya que se prefiere utilizar las harinas de masa deshidratada, que tienen la ventaja de dar resultados similares, pero con menor trabajo y costo. Estas harinas de maíz nixtamalizadas son producidas industrialmente empleando el proceso tradicional de nixtamalización, con algunas modificaciones; en general, el nixtamal una vez lavado, se somete a molienda (molino de martillos), posteriormente se le aplica un secado, seguido de otra molienda, para finalmente clasificar a la harina por tamaño de partícula. El

rendimiento promedio de este tipo de producto usando el método tradicional de nixtamalización es de 94% (Arámbula-Villa *et al.*, 2001)

3.1.8.1. Cambios durante la elaboración de tortilla

Durante este proceso se presentan diferentes cambios fisicoquímicos y estructurales que son necesarios para la transformación del grano de maíz y que suceden con las diferentes variables críticas, las cuales son: temperatura de cocción, el tiempo de reposo, la concentración inicial de hidróxido de calcio.

El cocimiento alcalino y el reposo provocan una absorción de agua y por lo tanto suaviza y ablandan tejidos celulares, provocando hinchamiento, cambio de volumen al grano, facilitando la eliminación del pericarpio. El álcali degrada los componentes de la pared celular y modifica la permeabilidad del pericarpio facilitando la entrada de agua y la solución alcalina.

A nivel molecular, los cambios que se presentan y se han reportado para los diferentes componentes son:

- **Agua**

a) Cuando el grano se somete a cocimiento éste absorbe más agua en una solución con cal que en agua sin cal.

b) Durante el cocimiento alcalino el grano absorbe agua hasta alcanzar un 40-42% de humedad, registrándose la mayor absorción durante los primeros 15 minutos.

c) Durante el reposo aumenta la humedad del grano en un 4-7% y se provoca una mejor distribución de la misma dentro del grano (Serna-Saldívar *et al.*, 1990).

- **Calcio**

a) Los iones de calcio son transportados por el agua hasta el pedicelo, pericarpio y endospermo. El calcio presenta un comportamiento de absorción (Trejo-González *et al.*, 1982; Gómez, 1988).

b) La mayor cantidad de calcio se acumula en el germen y el pericarpio. Trejo-González *et al.* (1982) indicaron que el calcio se enlaza al almidón.

- **Proteínas**

a) Durante el proceso de nixtamalización se altera la solubilidad de las proteínas (Ortega *et al.*, 1986; Vivas *et al.*, 1987). En el cocimiento del grano (nixtamalización), y el cocimiento de la masa, disminuye la solubilidad de las albúminas, globulinas y las prolaminas (Serna-Saldívar *et al.*, 1990).

b) Se altera la distribución del peso molecular de las diferentes fracciones proteínicas.

c) Se ha reportado que mediante este proceso se aumenta la biodisponibilidad de niacina y mejora la digestibilidad de las proteínas de las tortillas (Koetz y Neukom, 1977; Serna-Saldívar *et al.*, 1987, 1988b; Sproule *et al.*, 1988; Wall y Carpenter, 1988).

- **Almidón**

Con respecto a la molécula de almidón los cambios que se presentan son:

a) El gránulo absorbe agua y se hincha durante la etapa de cocimiento y reposo. En esta etapa, y durante el cocimiento de la tortilla, de un 4 a 6% de los gránulos de almidón pierden totalmente su birrefringencia (Gómez, 1988).

b) Se incrementa la susceptibilidad a la hidrólisis por glucoamilasas.

c) La estructura del gránulo de almidón nativo se rompe parcialmente, observándose mediante rayos X una estructura menos organizada (Gómez *et al.*, 1989).

d) Durante el reposo se aprecia una estructura parecida a la del gránulo nativo, por lo que se ha observado que en esta etapa se produce una reordenación parcial debido a una re-cristalización y añejamiento. Esta re-asociación de las moléculas de almidón puede ser la responsable del desarrollo de las propiedades reológicas de la masa (Serna-Saldívar *et al.*, 1990).

e) Otros efectos que tiene la nixtamalización es la reducción de la concentración de aflatoxinas en aproximadamente 92% (Méndez-Albores *et al.*, 2004).

3.1.9. Nixtamalización por microondas

Este proceso emplea energía calorífica generada localmente por las vibraciones moleculares de los constituyentes químicos del alimento. El proceso consiste en mezclar fragmentos de maíz (1kg), agua (1L) y cal (hasta 0.5% p/p), los cuales se someten a cocción en un horno de microondas, posteriormente el nixtamal es dejado en reposo (3 h) y finalmente molido para obtener masa fresca para la elaboración de las tortillas (Pérez-Flores *et al.*, 2011). En la Figura 3 se muestra el diagrama de proceso de nixtamalización por microondas

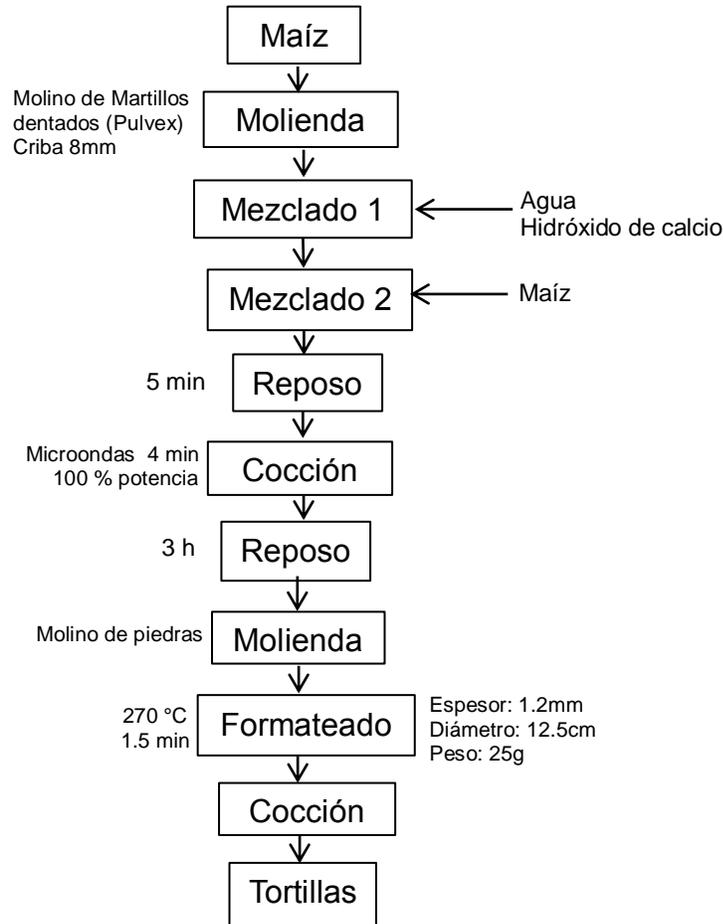


Figura 3. Diagrama de proceso de nixtamalización por microondas.

3.1.9.1. Ventajas

Entre las diversas ventajas que presenta el proceso de nixtamalización por microondas para la obtención de tortillas comparado con el proceso tradicional de nixtamalización se encuentran las siguientes:

- No produce efluentes contaminantes.
- Utiliza una cantidad mínima de agua.
- Emplea tiempos de procesamiento muy cortos.
- Produce mayor rendimiento al procesar el grano integral.
- Permite la obtención de productos con mayor valor nutricional.
- Tiene facilidad para agregar aditivos o nutrientes.

3.1.9.2. Desventajas

Existen algunas limitantes al utilizar este método, entre las cuales podemos mencionar:

- Capacidades bajas de producción (con los hornos de microondas que existen en el mercado para uso doméstico, únicamente se pueden llegar a procesar volúmenes tan grandes como 100 kg).
- Con el incremento en las tarifas de la luz eléctrica, es necesario hacer un análisis minucioso de los costos que representan el nixtamalizar grandes volúmenes con esta tecnología
- Finalmente, no existen en el mercado microondas de mayor capacidad como para solucionar esta limitante, por lo que se hace necesario desarrollar una nueva tecnología para que este método de nixtamalización sea aplicable por los industriales de la masa y la tortilla.

Por lo anteriormente expuesto, resulta de interés evaluar la calidad nutricional de las tortillas elaboradas con diferentes concentraciones de hidróxido de calcio por el método de nixtamalización por microondas desarrollado en FES-Cuautitlán y comparar dicha calidad con la de las tortillas elaboradas a partir de harina comercial de la marca Maseca. Esto permitirá, además de generar información básica, incorporar este proceso a mediano o largo plazo como un método alternativo para producir tortillas y otros productos derivados con una mejor calidad nutrimental.

4. Objetivos

4.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de la concentración del hidróxido de calcio sobre las propiedades nutrimentales, fisicoquímicas y de calidad de las tortillas de maíz elaboradas con un proceso alternativo de nixtamalización por microondas, y comparar estos valores con los de las tortillas producidas con harina de maíz nixtamalizado marca Maseca.

4.2. Objetivos particulares

1. Caracterizar el grano de maíz mediante pruebas físicas, químicas y fisicoquímicas, con el objetivo de conocer si el material cumple con las especificaciones necesarias para la nixtamalización
2. Elaborar tortillas con el método de nixtamalización por microondas empleando diferentes concentraciones de hidróxido de calcio (0.125, 0.25, 0.5 % peso/peso).
3. Determinar las propiedades fisicoquímicas, nutrimentales, así como la calidad de las tortillas elaboradas con el proceso antes señalado, y compararlas con las de las tortillas elaboradas con harina comercial marca Maseca.

5. Materiales y Métodos

5.1. Materiales

Como materia prima se utilizó grano de maíz blanco con una distribución de tamaño homogéneo

, calidad semilla (AS-900) proporcionado por semillas Aspros de México S.A. de C.V. El maíz se almacenó a temperatura ambiente, hasta su utilización en bolsas de polietileno, con la finalidad de evitar la proliferación de plagas.

5.2. Métodos

5.2.1. Propiedades físicas del grano

5.2.1.1. Tamaño del grano

Para determinar el tamaño del grano se midió el largo, ancho y espesor del centro del grano. Se midieron 25 granos tomados al azar. Se utilizó un vernier Digimatic, marca Mitutoyo Corp. Los datos fueron reportados como el valor promedio y la desviación estándar de las mediciones.

5.2.1.2. Peso de 1000 granos

Se tomaron 1000 granos al azar y se pesaron en una balanza analítica Ohaus con una capacidad de 0 – 210 g, y una precisión de ± 0.0001 g. Se hicieron cinco repeticiones de cada medición, se obtuvo la media y la desviación estándar de los datos.

5.2.1.3. Peso hectolítrico

Para la obtención de esta medida se siguió la técnica 55-10 de la AACC (2002). Se llenó de grano un recipiente de aluminio de volumen conocido, pesándose en una balanza analítica Ohaus con una capacidad de 0 – 210 g y una precisión de ± 0.0001 g. El peso hectolítrico se obtuvo al medir el peso de los granos entre el volumen del recipiente y relacionándolo a un volumen de 100 litros. Las

mediciones se hicieron con cinco repeticiones, se reportó la media y la desviación estándar.

5.2.2. Procesamiento de las unidades experimentales

Se utilizó 1 Kg de maíz el cual fue sometido a molienda (molino Pulvex, criba de 8mm), y se le adicionó 1 L de agua, evaluándose tres diferentes concentraciones de cal (0.125, 0.25 y 0.5% peso/peso). La mezcla se sometió a cocción (75-80°C) en un microondas (LG, 1650W), por espacio de 4 min. El nixtamal producido, se dejó en reposo durante 3 h y se molió en un molino de piedras (marca Fumasa). Las tortillas se elaboraron con las siguientes características: espesor 1.2 mm, diámetro 12.5 cm y un peso promedio de 28 g, las cuales se sometieron a cocimiento en un comal a una temperatura de 270°C. El tiempo de cocción para cada tortilla es de 1.5 min según Méndez-Albores *et al.* (2004).

5.2.3. Propiedades de calidad de las tortillas

5.2.3.1. Capacidad de enrollamiento (rolabilidad)

Para determinar la rolabilidad de las tortillas se utilizó el método descrito por Bedolla (1983). Se tomaron cinco tortillas de cada tratamiento y cada una se enrolló manualmente alrededor de una varilla de vidrio de 2 cm de diámetro y se observó el grado de rompimiento.

Se le asignó una calificación de 1 a la tortilla que no presentó ruptura, de 2 cuando se rompió aproximadamente el 25% del ancho de la tortilla, de 3 si presentó una ruptura aproximada del 50%, de 4 con ruptura aproximada del 75% y de 5 cuando la ruptura fue completa. La prueba se llevó a cabo a temperatura ambiente después de 30 min de elaboradas las tortillas.

5.2.3.2. Grado de inflado

Para evaluar el grado de inflado se hicieron cinco tortillas de cada tratamiento y se observó el tamaño de la ampolla que presentó cada tortilla al momento de su elaboración, asignándole una calificación de 1 a la tortilla con inflado entre 75 y

100%, de 2 con un inflado entre 25 y 75%, y de 3 con un inflado entre 0 y 25% (Pérez-Florez., *et al* 2011).



Figura 4. Grado de inflado a) Tortillas en comal de fierro; b) Inflado de tortilla

5.2.3.3. Pérdida de peso en la cocción

Para evaluar la pérdida de peso en la cocción (pp) se realizó mediante el método utilizado por Méndez-Albores *et al.* (2004) para la cual se hicieron cinco tortillas de cada tratamiento y se determinó el % en peso de material perdido durante el cocimiento, pesando la tortilla antes de someterla a la cocción y después de cocida (40°C aproximadamente), se utilizó la siguiente fórmula.

$$pp = \frac{(p.t.cocida - p.t.cruda)}{(p.t.cruda)} \times 100$$

En donde:

p.t. cruda = peso de la tortilla cruda.

p.t. cocida = peso de la tortilla cocida.

Nota: el peso aproximado de las tortillas crudas fue de 28 g.

5.2.4. Propiedades químicas del maíz y de las tortillas

5.2.4.1. Proteína

La determinación de proteína se realizó por el método 920.87 micro Kjeldahl de la AOAC (2000), el cual consiste en convertir el nitrógeno proteico en nitrógeno amoniacal, por medio de una titulación calculando el porcentaje de nitrógeno

liberado, brevemente: se pesó 1 g de harina (W_m), esta muestra se agregó al digestor junto con 4 g de catalizador, el cual consistió en una mezcla de 3.5 g de sulfato de sodio y 0.5 g de sulfato cúprico, después se agregaron 10 ml de ácido sulfúrico, los tubos se calentaron hasta que adquirieron un color verdoso, se dejaron enfriar y se transfirieron a un destilador, en el cual se colocaron aproximadamente 50 ml de una solución de hidróxido de sodio al 50%. En los matraces de recolección se colocaron 25 ml de ácido bórico con indicador rojo de bromocresol y rojo de metilo, en los cuales se colectaron el destilado. El destilado se tituló con una solución de HCl 0.1N. Se registró el volumen de HCl consumido en la titulación (V_{HCl}), posteriormente se realizó el siguiente cálculo, empleando 6.25 como el factor para la proteína.

$$\% \text{ Proteína} = \frac{V_{HCl} \times N_{HCl} \times 0.014 \times 6.25}{W_M} \times 100$$

En donde:

V_{HCl} = Volumen de HCl en ml consumido en la titulación.

N_{HCl} = Normalidad del HCl.

W_m = Peso de la muestra.

5.2.4.2. Lípidos.

Se utilizó el método 9020.85 de la AOAC (2000), el cual se basa en la extracción de lípidos debido a su naturaleza hidrofóbica con disolventes orgánicos como éter, cloroformo, benceno o acetona.

Se colocó primeramente un matraz de bola limpio y sin grasa a peso constante (W_i), después se ensambló en un sistema de extracción Soxhlet con 200 ml de éter etílico. La muestra desecada y de peso conocido (W_m) se colocó en un cartucho de filtro para extracción que se acopló al sistema; armado el equipo, se enciende la parrilla y se permitió la volatización y condensación del éter a una velocidad constante, durante un lapso de 4 a 5 h hasta que el éter fuese incoloro, pasado el tiempo se recuperó el líquido y se eliminó el éter residual al colocar el

matraz en una estufa por 30 min a 100 °C, después se dejó enfriar en un desecador y finalmente se pesó (Wf). Se realizaron los cálculos con base a la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Ex. etéreo} = \frac{P_f - P_i}{P_m} \times 100$$

En donde:

P_m = Peso de la muestra.

P_i = Peso del matraz limpio y desengrasado al inicio.

P_f = Peso del matraz al final de la extracción.

5.2.4.3. Fibra.

Se determinó mediante el método número 991.42 de la AOAC (2000), el cual se basa en la pérdida de masa que corresponde a la incineración del residuo orgánico que queda después de la digestión con soluciones de ácido sulfúrico e hidróxido de sodio. La muestra que se llevó a digestión posteriormente se filtró y se secó a 105°C durante 5 h, se transfirió al desecador y se determinó el peso. Posteriormente se incineró por 5 h a 525°C, se enfrió en el desecador hasta peso constante. El porcentaje de fibra se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\% F = \frac{W_{\text{residuo}} - W_{\text{cenizas}} - W_{\text{blanco}}}{W_m} \times 100$$

En donde:

W_{residuo} = Peso en mg del residuo de la filtración de fibra.

W_{cenizas} = Peso en mg de material inorgánico en la fibra.

W_{blanco} = Peso en mg W_{residuo} de las muestras corridas como blanco.

W_m = Peso de la muestra

5.2.4.4. Cenizas.

Se determinó mediante el método número 923.03 de la AOAC (2000). El cual se basa en la descomposición de la materia orgánica quedando solamente material inorgánico. Se colocaron crisoles a peso constante dentro de un desecador (W_c), se tomó un crisol y se pesaron 2.5 g de harina las cuales se llevaron nuevamente a peso constante (W_{cm}); se incineraron las muestras con mechero hasta carbonización, posteriormente se colocaron en una mufla y se sometieron nuevamente a incineración durante 4 h a 550 °C, al término de ese tiempo, las harinas se inspeccionaron para verificar si la materia orgánica había sido consumida, una vez logrado este proceso, los crisoles se transfirieron a un desecador hasta que se enfriaran y se registró su peso (W_{cc}). El porcentaje de cenizas se calculó de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{P_{cc} - P_c}{P_{cm} - P_c} \times 100$$

En donde:

P_c = peso del crisol sin muestra.

P_{cm} = Peso del crisol con muestra.

P_{cc} = Peso del crisol con cenizas.

5.2.4.5. Triptófano.

El análisis de aminoácidos se realizó por cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC, Modelo 510, Waters Associates, Milford, MA). Se tomaron muestras de 100 mg las cuales se hidrolizaron con nitrógeno a 110 ° C con 2 ml de HCl 6N durante 24 h, y el ácido se eliminó por evaporación rotatoria. Para el análisis de triptófano, las muestras se hidrolizaron a 140 ° C con 3 ml de $Ba(OH)_2$ 4N durante 8 horas, posteriormente se neutralizó con HCl 12N hasta un valor de pH de 7. Después de la filtración, 25 μ l se utilizaron para la derivatización con muestras de fenilisotiocianato y se analizaron en una columna C18 Waters Nova-

Pak (5 µm, 3,9 mm x 150 mm). El análisis de aminoácidos se realizó por triplicado para cada muestra (Cuevas-Martínez *et al.*, 2010).

5.2.5. Propiedades físico-químicas de las tortillas

5.2.5.1. Color

Para la medición del color se utilizó un colorímetro marca MiniScan Xe, modelo 45/0-L, procediéndose de la siguiente forma: el colorímetro se calibró con una placa blanca de porcelana (L= 97.02, a= 0.13, b= 1.77). Las determinaciones se realizaron directamente en las tortillas, se tomaron tres tortillas de cada tratamiento. Las lecturas se realizaron por triplicado con respecto a cuatro posiciones localizadas 90° una respecto a la otra. Se midieron los valores de L, a y b, y con estos valores se obtuvo el valor de ΔE utilizando la fórmula:

$$\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$$

En donde:

Δ E = diferencia total de color, entre la referencia y la muestra.

ΔL, Δa y Δb = diferencias absolutas de los valores de L, a, y b de la referencia y la muestra



Figura 5. Colorímetro

5.2.5.2. Humedad

Se procedió de acuerdo al método 44-19 de la AACC (2000). Se utilizaron 4 g de muestra. Se colocaron en charolas de aluminio en una estufa con circulación de aire forzado a 103°C durante 24 h. las pruebas se hicieron por triplicado.

5.2.5.3. pH

Para la determinación del pH se siguió el método 02-52 de la AACC (2000). Se preparó una suspensión con 10 g (b.s.) de harina de tortilla y 100 ml de agua destilada. La muestra se agitó utilizando una barra magnética durante 20 minutos a alta velocidad, en agitación se introdujo el electrodo y se tomó la lectura de pH. Para esta prueba se utilizó un potenciómetro semi portátil marca Conductroni. Las determinaciones se hicieron por triplicado.



Figura 6. Potenciómetro semi portátil marca Conductroni

5.2.6. Diseño experimental estadístico.

El experimento se condujo como un diseño completamente al azar con tres repeticiones. Los datos fueron evaluados mediante un análisis de varianza, utilizando el paquete estadístico SAS (SAS, 1998). La comparación de medias se efectuó mediante la prueba de Dunnet, con un nivel de significancia de ($\alpha=0.05$) fue utilizado para distinguir diferencias significativas entre los tratamientos.

6. Resultados y discusión

6.1. Propiedades físicas y fisicoquímicas de los granos de maíz

6.1.1. Propiedades físicas

Las propiedades físicas del grano de maíz utilizado en el presente trabajo se muestran en la Tabla 4. El maíz empleado en la experimentación fue del tipo semi-cristalino y presentó un buen tamaño de grano 10.07 x 8.72 x 3.86 mm, el cual es característico de este tipo de maíces.

Por otra parte, el maíz utilizado presentó un peso de 1000 granos de 283.4 g, atribuible en forma directa a su tamaño. Otra manera de evaluar la calidad de un grano es determinando su peso hectolítrico, el cual también es una forma de conocer la densidad que tiene el grano. El valor que presentó el maíz fue de 71.59 kg/hl, siendo este parámetro el indicativo de la relación de endospermo harinoso/córneo que presentaron los granos de maíz (Tabla 3). Estas características físicas del grano de maíz, son consistentes con los valores reportados con anterioridad para un maíz del tipo semi-cristalino (AS-900), el cual fue empleado para la elaboración de tortillas con un proceso ecológico de nixtamalización (Méndez-Albores 2002)

Tabla 4. Caracterización física del grano de maíz

Parámetro	Maíz
Dimensiones	
Largo (mm)	10.07 ± 0.59
Ancho (mm)	8.72 ± 0.89
Espesor (mm)	3.86 ± 0.56
Peso de 1000 granos (g)	283.4 ± 3.64
Peso hectolítrico (kg/hl)	71.59 ± 1.23

Valor promedio de al menos tres repeticiones ± desviación estándar

6.2. Propiedades fisicoquímicas del grano de maíz y de la harina comercial nixtamalizada (Maseca)

El valor promedio de la humedad del grano de maíz fue de 9.6 %, y a su vez presentó un valor promedio de pH de 6.04 (Tabla 5). Estos valores de humedad y de pH son similares a los reportados por Méndez-Albores *et al.* (2004) quienes encontraron valores de humedad de 7.7 a 11.7 % y de pH de 6.34 para un maíz híbrido comercial AS-910, proporcionado por Semillas Aspros de México. Por otra parte, los valores de humedad y pH de la harina comercial nixtamalizada fueron de 8.23% y 6.43, respectivamente. Estos valores en estas propiedades fisicoquímicas concuerdan con lo reportado para harinas comerciales de maíz nixtamalizado de las marcas Maseca, Minsa y Agroinsa (Flores-Farías *et al.*, 2002; Ayala-Rodríguez *et al.*, 2009). En general, las características fisicoquímicas de los granos de maíz, principalmente la humedad, es un factor de alta importancia en el almacenamiento de los granos, ya que las humedades promedio para el comercio de los granos están en el rango de 8 a 11% NOM-187-SSA1/SCFI-2002

Tabla 5. Propiedades fisicoquímicas del grano de maíz y de la harina comercial nixtamalizada

	Humedad (%)	pH
Grano de maíz	9.6 ± 0.13	6.04 ± 0.012
Maseca	8.23 ± 0.17	6.47 ± 0.019

Valor promedio de al menos tres repeticiones \pm desviación estándar.

6.3. Propiedades fisicoquímicas de la masa

6.3.1. Humedad

La Tabla 6 muestra el contenido de humedad de las masas elaboradas con la harina comercial (Maseca), así como las provenientes del proceso de nixtamalización por microondas. Como puede observarse, no existió diferencia estadística significativa en las masas provenientes del proceso alterno de nixtamalización; sin embargo, para el caso del control (Maseca), se observó diferencia estadística. En general, las masas elaboradas con la harina comercial

presentaron un valor de humedad de 67.65 %, muy por arriba del valor promedio de humedad (54.82) registrado para las masas elaboradas con el proceso de microondas. Al respecto, es importante señalar que la humedad de la masa de harinas comerciales (Maseca) siempre presentarán valores más altos debido a la inclusión de gomas tales como guar, arábica y xantana (Flores-Farías *et al.*, 2002). En lo que se refiere a la humedad de las masas obtenidas con el proceso de microondas, estos valores corresponden con lo reportado con anterioridad para el mismo proceso utilizando un maíz contaminado con aflatoxinas (Pérez-Flores *et al.*, 2011). Estos autores reportaron valores en el contenido de humedad de 54.56% para la masa elaborada con un maíz comercial (AS-900). Cabe señalar que estos valores de humedad aquí reportados corresponden con los recomendados para masas provenientes del proceso tradicional de nixtamalización (Méndez-Albores *et al.*, 2004).

Tabla 6. Propiedades fisicoquímicas de la masa

Tratamiento ¹	Humedad (%)	pH
Control	67.65 ± 0.057a	6.47 ± 0.0057a
0.125	54.13 ± 0.091b	6.55 ± 0.0115a
0.25	55.47 ± 0.030b	6.91 ± 0.0010b
0.5	54.85 ± 0.100b	8.06 ± 0.0115c

1, Control (harina de Maseca); 0.125, 0.25 y 0.5 % de hidróxido de calcio, respectivamente.

* Valor promedio de al menos tres repeticiones ± desviación estándar.

** Medias con la misma letra en la misma columna, no son significativamente diferentes (Dunnet > 0.05).

6.3.2. pH

La Tabla 6 también muestra los valores de pH de las masas obtenidas con las harinas nixtamalizadas y con el proceso de microondas. Como se puede observar, la Maseca y el tratamiento con 0.125 % de hidróxido de calcio no presentaron diferencia estadística significativa con respecto a este parámetro, ambos tratamientos tuvieron un valor promedio de pH de 6.51, con lo que se puede decir que Maseca trabaja con una concentración de hidróxido de calcio similar a la que

se utilizó en este tratamiento. Sin embargo, a medida que se incrementó la concentración de hidróxido de calcio, valores más altos en el pH fueron encontrados (Tabla 6). El valor más alto de pH, fue observado en la muestra con la adición de 0.5 % de calcio (8.06) valores semejantes a lo reportado por Pérez-Flores *et al.* (2010) al utilizar el mismo método de nixtamalización por microondas, estadísticamente son diferentes al valor registrado para las muestras preparadas con la adición de 0.25% (6.91). Por el contrario, el valor de pH de la masa elaborada con harina de Maseca fue de 6.47, valor muy similar a lo reportado por Ayala-Rodríguez *et al.* (2009) los cuales estudiaron las propiedades nutricionales y tecnológicas de las harinas nixtamalizadas y de las tortillas.

6.4. Propiedades fisicoquímicas de las tortillas

6.4.1. Humedad

En la Tabla 7 se muestra el contenido de humedad de las tortillas elaboradas con las masas obtenidas de harina comercial (Maseca), así como las provenientes del proceso de cocción por microondas. Como se puede observar, no existió diferencia estadística significativa en la humedad para las tortillas provenientes del proceso alterno de nixtamalización; sin embargo para el caso del control (Maseca), se observó diferencia estadística. En general, las tortillas elaboradas con las masas de harina comercial presentaron un valor de humedad de 55.15 %, valor ligeramente más alto al promedio de humedad registrado para las tortillas elaboradas con el proceso de microondas (44.83 %). En lo que se refiere a la humedad de las tortillas obtenidas con el proceso de microondas, estos valores corresponden a lo reportado con anterioridad para el mismo proceso al utilizar maíz contaminado con toxinas (Pérez-Flores *et al.*, 2011). Los autores reportan valores de contenido de humedad de 42.60 % para las tortillas elaboradas con el método de microondas. Cabe señalar que estos valores de humedad aquí mencionados corresponden con los reportados para tortillas provenientes del proceso tradicional de nixtamalización utilizando maíz y mezclas de maíz-frijol (Cuevas-Martínez *et al.*, 2010).

Cabe mencionar que el contenido de humedad de las tortillas depende de las condiciones de las condiciones durante el proceso de nixtamalización y la variedad de maíz utilizada (Agama-Acevedo *et al.*, 2005; Agama-Acevedo *et al.*, 2004; Bello-Pérez 2006).

Tabla 7. Propiedades fisicoquímicas de las tortillas

Tratamientos ¹	Humedad (%)	pH	Color		
			ΔE	L	Croma
Control	55.15 ± 0.16a	6.48 ± 0.001a	25.81 ± 0.58a	75.34 ± 0.80a	15.74 ± 0.27a
0.125	44.48 ± 0.21b	6.52 ± 0.006a	29.88 ± 0.09b	70.62 ± 0.31b	15.74 ± 0.74a
0.25	44.60 ± 0.29b	6.96 ± 0.006b	33.44 ± 0.02c	66.59 ± 0.29c	15.75 ± 0.67a
0.5	45.43 ± 0.13b	7.97 ± 0.041c	38.22 ± 0.84d	65.03 ± 0.39d	22.69 ± 0.65b

1, Control (harina de maseca); 0.125, 0.25 y 0.5 % de hidróxido de calcio.

* Valor promedio de al menos tres repeticiones ± desviación estándar.

** Medias con la misma letra en la misma columna, no son significativamente diferentes (Dunnet > 0.05).

6.4.2. pH

La Tabla 7 también muestra los valores de pH de las tortillas obtenidas de las masas de harinas nixtamalizadas y las elaboradas con el proceso de microondas. Como se puede observar las tortillas elaboradas con Maseca y con el tratamiento de 0.125% de hidróxido de calcio, no presentaron diferencias estadísticas significativas con respecto a este parámetro, ambos tratamientos tuvieron un valor promedio de 6.5. Sin embargo, a medida que se incrementó la concentración de hidróxido de calcio, se aumentaron los valores de pH (Tabla 6). Como era de esperarse, el valor de pH más alto fue registrado en las tortillas elaboradas con 0.5 % de hidróxido de calcio (7.97), valor estadísticamente diferente a lo registrado en la muestra con 0.25% de hidróxido de calcio (6.96). Por el contrario, el valor de pH de las tortillas elaboradas con harina de Maseca fue de 6.48, valor similar a lo reportado por Ayala-Rodríguez *et al.* (2009) y Milián-Carrillo *et al.* (2006) en tortillas elaboradas con harina de Maseca.

El pH es un parámetro de calidad importante que puede afectar el sabor, olor, color, textura y la vida de anaquel de las tortillas. Cuando el contenido de hidróxido de calcio no es suficiente para darle el sabor alcalino característico de la tortilla, ésta es rechazada por los consumidores; sin embargo, si este compuesto está en exceso, la tortilla se vuelve muy astringente, siendo también rechazada por el consumidor.

6.4.3. Color

Los resultados del análisis de color se muestran en la Tabla 7. La concentración de hidróxido de calcio fue determinante en el desarrollo del color de las tortillas, una mayor concentración de hidróxido de calcio aumentó la diferencia total de color (ΔE), lo cual indicó que el color de las tortillas se alejó significativamente del color blanco, adquiriendo un color ligeramente amarillento, lo cual corresponde a valores más altos en el ΔE . El valor de ΔE más alto fue obtenido en las tortillas elaboradas con 0.5 % de hidróxido de calcio (38.22), valor estadísticamente diferente a lo registrado en la muestra con 0.25% de hidróxido de calcio (33.44). El valor registrado de ΔE de las tortillas elaboradas a partir del método de cocción por microondas es similar al valor reportado por Pérez-Flores *et al.* (2011) quienes obtuvieron un valor promedio de 37.35 al elaborar tortillas con una concentración de calcio de 0.5%. Cabe señalar que estos valores de ΔE aquí mencionados son similares con los reportados para tortillas provenientes del proceso tradicional de nixtamalización utilizando maíz y mezclas de maíz-frijol blanco (Cuevas-Martínez *et al.*, 2010) aun cuando utilizaron una concentración de hidróxido de calcio superior a la utilizada en este proyecto. Por otra parte, el valor registrado de ΔE de las tortillas elaboradas a partir de harina de Maseca fue de 25.81, al respecto Ayala-Rodríguez *et al.* (2009), reportaron valores en el ΔE de 21.43 para tortillas elaboradas con harina comercial Maseca. Cabe mencionar que el hidróxido de calcio afecta el color en las harinas de maíz nixtamalizado, incluso si son producidos a partir de granos de color blanco, una alta concentración de cal provoca un producto final amarillento y se puede observar que se extiende la vida de anaquel de las tortillas (Gutierrez-Dorado *et al.*, 2007; Serna-Saldívar, 1990). Serna-Saldívar (1996) informó que algunas harinas comerciales de maíz

nixtamalizado se añaden algunos agentes de blanqueo lo que puede explicar la blancura ligeramente mayor de Maseca.

Por otro lado a medida que se incrementó la concentración de hidróxido de calcio disminuyeron los valores de luminosidad (L), como se observa en la Tabla 7. El valor más alto de L en tortillas fue obtenido en las elaboradas con harina comercial Maseca (75.34), estos valores en esta propiedad concuerdan con lo reportado para harina comercial de maíz nixtamalizado de la marcas Maseca (Ayala-Rodríguez *et al.*, 2009). Estos autores reportaron valores de luminosidad de 80.77, bastante similar a los aquí reportados, lo cual es de esperarse, ya que estas harinas comerciales tienen la característica de poseer un pH ligeramente bajo (6.48), consecuentemente los valores de luminosidad se esperan más altos. Con respecto al método de cocción por microondas, el valor más alto de L fue obtenido en las tortillas elaboradas con la concentración de hidróxido de calcio más baja 0.125%, presentando un valor de 70.62, el cual es similar a lo reportado en tortillas elaboradas con el proceso tradicional de nixtamalización utilizando maíz y mezclas de maíz-frijol (Cuevas-Martínez *et al.*, 2010), así como para tortillas de maíz fortificadas (Figueroa-Cárdenas *et al.*, 2001). Por otra parte, a medida que se incrementó la concentración de hidróxido de calcio, valores más bajos en la luminosidad fueron registrados. Las tortillas elaboradas con 0.5 % de hidróxido de calcio presentaron un valor de L de 65.03 (Tabla 7).

El valor de croma, representa la “pureza” del color, valores bajos de croma son menos puros, por lo tanto toman una coloración deslavada (colores pastel). En la presente investigación, no se encontró diferencia estadística significativa en relación al croma, entre las tortillas elaboradas con la harina comercial (Maseca) y las tortillas elaboradas con las concentraciones de 0.125 y 0.25 % de hidróxido de calcio, el promedio en el valor del croma fue de 15.74. Sin embargo, a medida que se incrementó la concentración de cal (0.5 %), valores más altos en el croma (22.69) fueron registrados en las tortillas, lo cual indica que las tortillas provenientes de éste tratamiento se perciben a la vista de un color más amarillo, lo cual se corrobora con los valores de ΔE . Cuevas-Martínez *et al.* (2010) reportaron

valores promedio en el croma de 25.22 para tortillas elaboradas con el proceso tradicional de nixtamalización adicionando una concentración de hidróxido de calcio de 1.5 %. En general, estos valores de croma fueron más altos que los aquí reportados, inclusive para los registrados en las tortillas elaboradas con la más alta concentración de cal, muy probablemente debido a las altas concentraciones retenidas al usar el proceso tradicional. Los cambios en el color de las tortillas están directamente atribuidas a la cantidad de cal retenida durante el proceso de cocción del nixtamal; consecuentemente, la cantidad de cal afectará el color de la tortilla a pesar de que éstas sean producidas a partir de maíz blanco. Más aun, la intensidad de color está directamente relacionado a la cantidad de pigmentos del grano de maíz (carotenoides), flavonoides, y el mismo pH.

Es importante señalar que el desarrollo del color durante el proceso térmico-alcalino es complejo, considerando que el hidróxido de calcio reacciona con los diferentes pigmentos del grano de maíz y que además interfiere a las reacciones de oscurecimiento tales como la caramelización y las reacciones de Maillard (Gómez *et al.*,1987).

6.5. Propiedades de calidad de las tortillas

6.5.1. Pérdida de peso

El valor de pérdida de peso en las tortillas durante el cocimiento, es un parámetro directamente relacionado con la humedad de la masa, la temperatura y el tiempo de cocción de la tortilla en el comal. Flores-Farías *et al.* (2002) mencionan que el rendimiento de la tortilla está relacionado con la pérdida de peso y la capacidad de absorción de agua de las harinas. En la Tabla 8, se observa la pérdida de peso que presentaron las tortillas provenientes del grupo control y de los tratamientos con microondas. Como se puede observar, las tortillas elaboradas con harina comercial presentaron una pérdida de peso del 28.94%, lo que sugiere que gran cantidad del agua se encuentra en su forma libre ya que contienen gomas (polisacáridos de alto peso molecular solubles en agua) y conservadores para mantener agua y mejorar sus propiedades físicoquímicas y características texturales de las tortillas (Arámbula-Villa *et al.*, 1999; Bell, 1990; Christianson,

1982). Por el contrario, en el caso de las tortillas elaboradas con las concentraciones 0.125 y 0.25 % de cal, no se encontraron diferencias significativas en ambos tratamientos, el valor promedio en la pérdida de peso para estas tortillas fue de 21.42 %. En el caso de las tortillas elaboradas con 0.5 % de hidróxido de calcio, la pérdida de peso registró valores de 18.64 %. Este comportamiento en la pérdida de peso para las tortillas elaboradas con el proceso de nixtamalización por microondas indica que a medida que se incrementa la concentración de cal, se disminuye la pérdida de peso, muy probablemente debido a que con estas concentraciones de cal, gran parte del agua se presenta en su forma ligada, lo cual hace más difícil su pérdida durante el proceso de cocción.

Los valores de pérdida de peso para los tratamientos elaborados con las concentraciones de cal de 0.125 y 0.25 %, son similares a los valores reportados por Figueroa-Cárdenas *et al.* (2001) quienes reportaron valores de pérdida de peso entre 19.31 y 24.82 %, para el caso de tortillas de nixtamal fortificadas con vitaminas y soya. Finalmente, Arámbula-Villa *et al.* (2001) sugieren que es deseable que la pérdida de peso de las tortillas se encuentre en el orden del 20 %, ya que esto asegurará que las tortillas posean cualidades óptimas de textura y un mejor rendimiento, lo cual se traducirá en el aspecto económico. Cabe mencionar que la humedad de las tortillas es un atributo importante el cual está relacionado de manera directa con las propiedades de calidad y textura. Altos valores en la pérdida de peso, originarán una tortilla con baja humedad la cual puede presentar problemas en la textura, rolabilidad y sobre todo comprometer el rendimiento del producto.

Tabla 8. Propiedades de calidad de las tortillas

Tratamientos ¹	Pérdida de peso (%)	Rolabilidad ²	Inflado ³
Control	28.94 ± 0.70a	1a	2a
0.125	21.60 ± 0.19b	1a	1b
0.25	21.25 ± 0.19b	1a	1b
0.5	18.64 ± 0.70c	1a	1b

1, Control (harina de maseca); 0.125, 0.25 y 0.5 % de hidróxido de calcio respectivamente.

2, Escala subjetiva, 1, 2, 3, 4 y 5 corresponden a un grado de rompimiento de 0, 25, 50, 75 y 100% de la tortilla respectivamente.

3, Escala de 1, 2 y 3 corresponden a un grado de inflado de 75-100%, 75-25% y 25-0% de la tortilla, respectivamente.

* Valor promedio de al menos tres repeticiones ± desviación estándar

** Medias con la misma letra en la misma columna, no son significativamente diferentes (Dunnet>0.05).

6.5.2. Rolabilidad

La rolabilidad es un parámetro subjetivo que tiene relación con la humedad de la tortilla, y que al ser superior a 35% se tendrá una tortilla suave y no quebradiza (Contreras-Jiménez, 2009). En Tabla 8, se muestran los valores de la rolabilidad para las tortillas elaboradas con las harinas comerciales y las obtenidas con el proceso de nixtamalización por microondas. Para este parámetro, no se encontraron diferencias significativas en todos los tratamientos evaluados, presentando un valor de 1, lo que corresponde que todas las tortillas no presentaron ruptura en su superficie.

6.5.3. Inflado

El inflado de las tortillas también es un parámetro deseable, relacionado con valores altos de humedad en la masa, mismos que favorecen la formación de la ampolla en la tortilla (Yáñez-Ortega, 2005). Cada tortilla tiene tres tiempos de cocción, el primero es muy corto (17 s) y permite la formación de la cara delgada de la tortilla, el segundo tiempo es largo (55 s) y permite la formación de la capa gruesa de la tortilla, y finalmente la tortilla es regresada a la primera cara por un tiempo similar al de la formación de la cara delgada para permitir el inflado. Un buen inflado se obtiene cuando las dos capas se forman de manera correcta en la

tortilla, las cuales son impermeables y presentan la capacidad de retener el vapor que se forma entre ellas permitiendo el inflado. En esta investigación, las tortillas elaboradas con el proceso de nixtamalización por microondas presentaron un valor de 1, lo que indicó que todas las tortillas presentaron un inflado completo (75-100 %). Sin embargo, las tortillas elaboradas con harina comercial Maseca, presentaron un valor promedio en el inflado de 2, lo que sugiere que estas tortillas presentaron un inflado deficiente (25-75 %).

En general, todas las tortillas elaboradas con el proceso de nixtamalización por microondas se consideraron dentro de los márgenes aceptables de calidad, presentando una textura suave al tacto y permitiendo el rolado sin rompimiento.

6.6. Análisis composicional de las tortillas

6.6.1. Proteína

En la Tabla 9 se muestran los valores de proteína obtenidos en las tortillas elaboradas a partir de la harina comercial Maseca y los tratamientos con las diferentes concentración de cal utilizadas con el uso del método de nixtamalización por microondas. Se puede observar que la proteína del grano de maíz fue de 8.68 % y estadísticamente no existió diferencia significativa con respecto a los valores de proteína a las tres diferentes concentraciones de hidróxido de calcio evaluadas; los valores de proteína para este caso estuvieron en el rango de 8.55 a 8.57 %. Por el contrario, las tortillas elaboradas con harina comercial Maseca presentaron un valor de proteína de 8.4 %. En general existió un ligero decremento en la concentración de proteína debido al proceso de nixtamalización en aproximadamente 0.13 %, este comportamiento ha sido reportado previamente por otros investigadores quienes han sugerido pérdidas en la concentración de proteínas de hasta 1.8 % por efecto de la nixtamalización (Figuroa-Cárdenas *et al.*, 2001). En esta investigación los valores de pérdida de proteína fueron menores, lo cual puede deberse en gran manera a las condiciones del proceso de nixtamalización utilizado, es decir tiempos de cocción menos prolongados, concentraciones de cal ligeramente más bajas, y temperaturas de nixtamalización cercanas a los 80°C, entre otras. En lo que se refiere a las tortillas

elaboradas con harina comercial Maseca, el valor de proteína obtenido es similar a lo reportado por Milián-Carrillo *et al.* (2006), quienes analizaron las propiedades químicas en las tortillas elaboradas con harina comercial Maseca, reportando valores en la concentración de proteína de 8.5 %.

Tabla 9. Propiedades químicas de las tortillas

Tratamientos	Proteína (%)	Cenizas (%)	Fibra (%)	Carbohidratos (%)	Lípidos (%)	Triptófano g/kg proteína
Maíz	8.68 ± 0.023a	1.79 ± 0.04a	2.23 ± 0.023a	81.48 ± 0.013a	5.82 ± 0.028a	7.6 ± 0.123a
Control	8.41 ± 0.636b	1.63 ± 0.08b	1.50 ± 0.001b	83.36 ± 0.002b	5.10 ± 0.093b	5.5 ± 0.112b
0.125	8.57 ± 0.006a	1.78 ± 0.04a	2.18 ± 0.003a	81.91 ± 0.010a	5.56 ± 0.090c	7.5 ± 0.133ac
0.25	8.57 ± 0.011a	1.76 ± 0.03a	2.19 ± 0.006a	81.94 ± 0.090a	5.54 ± 0.079c	7.4 ± 0.142c
0.5	8.55 ± 0.020a	1.76 ± 0.03a	2.18 ± 0.210a	82.00 ± 0.007a	5.51 ± 0.084c	7.1 ± 0.111d

Control (harina de Maseca); 0.125, 0.25 y 0.5 % de hidróxido de calcio.

* Valor promedio de al menos tres repeticiones ± desviación estándar

** Medias con la misma letra en la misma columna, no son significativamente diferentes (Dunnet >0.05).

6.6.2. Cenizas

En la Tabla 9 se muestran los valores de la concentración de cenizas. Como puede observarse el contenido de cenizas no difirió estadísticamente con respecto al maíz y las tortillas elaboradas con las tres concentraciones de cal, el promedio en la concentración de cenizas fue de 1.77 %. Por el contrario, para el caso de las tortillas elaboradas con harina comercial Maseca, la concentración de cenizas fue de 1.63 %. Estos valores en la concentración de cenizas son similares a los reportados por Figueroa-Cárdenas *et al.* (2001) quienes elaboraron tortillas a partir de nixtamal reportando valores de 1.74 % en la concentración de cenizas. Otros autores han reportado valores de 1.75 % para el caso de la concentración de cenizas en tortillas elaboradas con harina comercial Maseca (Ayala-Rodríguez *et al.*, 2009).

6.6.3. Fibra

En la Tabla 9 también se muestran los contenidos de fibra para las tortillas elaboradas a partir del proceso alterno de nixtamalización por microondas. Como se puede observar, el contenido de fibra no difirió estadísticamente entre el maíz y los tratamientos con diferentes concentraciones de cal. El valor promedio en la concentración de fibra fue de 2.18 % para las tortillas elaboradas con el proceso de microondas, estadísticamente similar al valor obtenido para el grano de maíz (2.23 %). Con relación a este parámetro, es importante señalar que en el proceso de nixtamalización por microondas se utiliza el grano integral, consecuentemente, no hay pérdida de ningún componente de la estructura del grano, ya que es bien sabido que en el proceso tradicional de nixtamalización gran parte del pericarpio se desecha en el nejayote y en el agua de lavado del nixtamal. Por esta razón el contenido de fibra cruda no difirió en las tortillas en comparación con el grano de maíz, ya que el pericarpio es la fuente principal de fibra en los productos a base de maíz (Sugawara *et al.*, 1994). Por el contrario, el valor de fibra de las tortillas elaboradas con harina de Maseca fue de 1.5%, valor similar a lo reportado por Ayala-Rodríguez *et al.* (2009) y Flores-Farías *et al.* (2002) en tortillas elaboradas con harina de Maseca.

6.6.4. Carbohidratos

En relación al contenido de carbohidratos, los valores obtenidos se muestran en la Tabla 9 para las tortillas elaboradas con harina comercial Maseca y las elaboradas con el proceso de nixtamalización por microondas. Las tortillas elaboradas con la harina comercial Maseca presentaron la mayor concentración de carbohidratos (83.36 %), y no se encontraron diferencias significativas con relación al maíz y a las tortillas elaboradas con las tres diferentes concentraciones de cal. En este contexto Milián-Carrillo *et al.* (2006) reportaron valores similares para el contenido de carbohidratos en tortillas elaboradas con harina comercial Maseca. Por otra parte, Ayala-Rodríguez *et al.* (2009) reportaron valores en el contenido de carbohidratos de 79.21 % para harinas nixtamalizadas de maíz transgénico. Estos valores son comparables con los aquí reportados; sin embargo, hay que considerar la variabilidad intrínseca a los materiales.

6.6.5. Lípidos

Los resultados de lípidos se muestran en la Tabla 9, tanto de las tortillas provenientes de harina comercial, así como las provenientes del proceso de nixtamalización por microondas. Como se puede observar, existió diferencia estadística significativa en las tortillas provenientes de harina comercial y las del proceso alterno de nixtamalización. El grano de maíz presentó una concentración de lípidos de 5.82 %, mientras que las tortillas elaboradas con el proceso de microondas presentaron un valor promedio de 5.53 %. Por otra parte, las tortillas elaboradas con la harina comercial Maseca presentaron valores en la concentración de lípidos de 5.10 %. En relación a la disminución en el contenido de lípidos en las tortillas elaboradas con el proceso de microondas, es importante señalar que esta reducción es debida al proceso de saponificación e hidrolisis alcalina de los ácidos grasos durante la nixtamalización, todo esto favorecido por el pH alcalino ocasionado por la adición de hidróxido de calcio en el proceso (Bello-Pérez *et al.*, 2002). Referente a los valores reportados para el caso de la concentración de lípidos en las tortillas elaboradas con harina comercial Maseca,

éstos se encuentran en el rango señalado por diferentes autores (Ayala-Rodríguez *et al.*, 2009; Milián-Carrillo *et al.*, 2006; Aguilar-Miranda *et al.*, 2002).

6.6.6. Triptófano

El triptófano es uno de los aminoácidos más sensibles al tratamiento térmico-alcalino, siendo este el primer aminoácido limitante para el proceso de nixtamalización del maíz. De acuerdo a los valores obtenidos para las tortillas elaboradas con harina comercial (Maseca), se encontró diferencia significativa con respecto a las tortillas elaboradas mediante el proceso alterno de microondas. En general, las tortillas elaboradas con la masa de harina comercial presentaron un valor de triptófano de 5.5 g/kg proteína, por el contrario en el caso de las tortillas elaboradas con el proceso de microondas se obtuvieron valores de 7.5, 7.4 y 7.1 g/kg proteína, para los tratamientos con 0.125, 0.25 y 0.5 % (p/p) de hidróxido de calcio. En general, a medida que se incrementó la concentración de calcio en el proceso valores más bajos en el contenido de triptófano fueron registrados (Tabla 9).

El contenido de triptófano en el caso del maíz fue de 7.6 g/kg proteína, y debido al proceso de nixtamalización por microondas se redujo hasta en un 6.57 % para las muestras procesadas con 0.5 % de hidróxido de calcio. Cuevas-Martínez *et al.* (2010) reportaron reducciones en el contenido de triptófano de 52.6 % por efecto de nixtamalizar maíz con el método tradicional empleando una concentración de calcio de 1.5 (p/p). Como puede observarse el proceso de nixtamalización por microondas parece ser menos severo en cuanto a la degradación de este aminoácido, posiblemente debido a las bajas concentraciones de hidróxido de calcio empleadas durante el procesamiento, así como por las condiciones menos drásticas en cuanto a la temperatura y a los tiempos de cocción.

En esta investigación, las tortillas elaboradas con el proceso de cocción por microondas empleando una concentración de 0.5 % de hidróxido de calcio, presentaron un contenido de triptófano de 7.1 g/kg proteína, valor muy similar a lo reportado por Cuevas-Martínez *et al.* (2010), al procesar mezclas de maíz-frijol blanco en una relación 80-20. Estos autores reportaron un contenido de triptófano

de 6.90 g/kg proteína en estas tortillas, lo que indica que la adición de esta leguminosa rica en triptófano puede compensar en gran manera las pérdidas ocasionadas por el mismo proceso de nixtamalización. En general, las tortillas obtenidas con el proceso de nixtamalización por microondas presentaron una calidad superior de la proteína en comparación con las elaboradas con la harina comercial Maseca. Al respecto Ayala-Rodríguez *et al.* (2009) reportaron valores en el contenido de triptófano de 5.5 g/kg proteína para tortillas elaboradas con harina comercial Maseca, estos resultados son consistentes con los aquí reportados, debido a que en esta investigación se utilizó la misma marca comercial.

Finalmente, en lo que respecta a los requerimientos de triptófano, la FAO estima un nivel de 9.6 g/kg proteína en este tipo de productos (FAO/WHO/UNU, 1985). Con esta información, las tortillas elaboradas con el proceso de cocción por microondas cubren el 78, 77 y 74 %, respectivamente, del perfil sugerido por la FAO, a diferencia de un 36 % reportado para tortillas elaboradas con el proceso tradicional de nixtamalización. En este mismo contexto Mora-Avilés *et al.* (2007) reportaron valores de triptófano en tortillas comerciales de 3.5 g/kg proteína, lo cual representa un 36.5 % de lo recomendado por la FAO para este aminoácido.

Conclusiones

La concentración de hidróxido de calcio no afectó de manera significativa la calidad fisicoquímica, nutricional y textural de las tortillas obtenidas con el proceso de nixtamalización por microondas.

El proceso de nixtamalización por microondas puede tener un mejor rendimiento debido al uso del grano integral, es decir no hay pérdida de sólidos en el nejayote como en el caso del proceso tradicional de nixtamalización.

Debido a las condiciones menos severas de nixtamalización en este proceso (tiempo de cocción de 4 min, concentración de hidróxido de calcio hasta 0.5%), se asegura una mejor calidad nutricional de los productos obtenidos con el proceso de nixtamalización por microondas, debido a que dichas condiciones mejoran el valor nutricional del maíz, incrementando la biodisponibilidad de aminoácidos esenciales como el triptófano, el calcio y la niacina. Al mismo tiempo el proceso permite que no haya pérdidas de algunos nutrientes (grasa, proteína, fibra, vitaminas, y minerales), al no existir producción de nejayote, como sucede en el caso de la nixtamalización tradicional

En conclusión, las tortillas elaboradas con el proceso de nixtamalización por microondas presentaron una mejor calidad tecnológica y nutricional en comparación con las obtenidas con las elaboradas con harinas comerciales de marca Maseca.

Recomendaciones

- Al ser un proceso versátil permite la inclusión de otro tipo de material para mejorar de manera significativa la calidad nutrimental de las tortillas.
- Por otro lado sería interesante evaluar el contenido de calcio, lisina y niacina de las tortillas ya que estos compuestos son sensibles al proceso de nixtamalización.
- Otros estudios que quedan por realizar incluyen el análisis sensorial y la evaluación de la vida de anaquel de las tortillas a diferentes tiempos y condiciones de temperatura: por análisis físicos, químicos y microbiológicos de las tortillas.

Bibliografía

1. Agama-Acevedo E, Rendón-Villalobos R, Tovar J, Paredes-López O, Islas-Hernández JJ, Bello-Pérez LA. 2004. *In vitro* starch digestibility changes during storage of maize flour tortilla. *Nahrung*. 48:38-42.
2. Agama-Acevedo E, Rendón-Villalobos R, Tovar J, Trejo-Estrada SR, Bello-Pérez LA. 2005. Effect of storage time on *in vitro* digestion rate and resistant starch content of tortillas elaborated from commercial corn masa. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 55:86-92.
3. Aguilar-Miranda ED, López GM, Escamilla-Santana C, Barba de la Rosa AP. 2002. Characteristics of maize flour tortilla supplemented with ground *Tenebrio molitor* larvae. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50:192-195.
4. American Association of Cereal Chemists (AACC), 2000. Approved Methods of the AACC. 10th ed. AACC International. St. Paul, MN.
5. Association of Official Analytical Chemists (AOAC), 2000. Official Methods of Analysis of AOAC International, 16th Edition, 5th Rev. Gaithersburg, Md.
6. Arámbula-Villa G, Mauricio SRA, Figueroa-Cárdenas J de D, González-Heernández J, Ordoncia FCA. 1999. Corn masa and tortillas from extruded instant corn flour containing hydrocolloids and lime. *Journal of Food Science*. 64:120-124.
7. Arámbula-Villa G., Barrón-Ávila L., González-Hernández J., Moreno-Martínez E., Luna-Becerril G. 2001. Efecto del tiempo de cocimiento y reposo del grano de maíz (*Zea mays* L.) nixtamalizado sobre las características fisicoquímicas, reológicas, estructurales y texturales del grano, masa y tortillas de maíz. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 51:187-194.
8. Ayala-Rodríguez A. E., Gutiérrez-Dorado R., Milián-Carrillo J., Mora-Rochín S., López-Valenzuela J. A., Valdéz-Ortiz A., Paredes-López O., Reyes-Moreno C. 2009. Nixtamalised flour and tortillas from transgenic maize (*Zea mays* L.) expressing amarantin: Technological and nutritional properties. *Food Chemistry*. 114:50-56.

9. Bedolla S. 1982. Characteristic of US and Mexican instant maize flour for tortilla and snack preparation.
10. Bedolla S. 1983. Development and characterization of instant tortilla flours from sorghum and corn by infra-red baking (micronizing) and extrusion baking. PhD Dissertation. Texas A&M University, College Station.
11. Bell DA. 1990. Methylcellulose as a structure enhancer in bread baking. *Cereal Foods World*. 35:1001.
12. Bender A. 1994. *Diccionario de nutrición y tecnología de los alimentos*. Ed. Acribia. España.
13. Cabrera L. 1972. *Diccionario de Aztequismos*. Colofón, S.A. primera edición México.
14. Christianson DD. 1982. Hydrocolloids interactions whit starch. *Food Carbohydrates*. D.R. Lineback. Avi. Publishing, Westport, CT.
15. Cravioto RO, Anderson RK, Lockhart EE, Miranda F de P Harris RS. 1945. Nutritive value of the Mexican tortilla. *Sciencia*. 102:91-93.
16. Cuevas-Martínez D., Moreno-Ramos C., Martínez-Manrique E., Moreno-Martínez E., Méndez-Albores A. 2010. Nutrition and texture evaluation of maize-white common bean nixtamalized tortillas. *Interciencia* 35:828-832.
17. FAO/WHO/UNU. 1985. Energy and protein requeriments. Report of a joint FAO/WHO/UNU Expert Consulation. WHO Technical Report Series N° 724. Geneva, Switzerland. 206 pp.
18. FAO, 1993. *El maíz en la nutrición humana*. Depósito de documentos de la FAO Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.
19. Figueroa-Cárdenas J.D., Acero-Godinez M. G., Vasco-Méndez N.L., Lozano-Guzmán A., Flores-Acosta L.M., González-Hernández J. 2001. Fortificación y evaluación de tortillas de nixtamal. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 51:293-302.
20. Flores-Farías R., Marínez-Bustos F., Salinas-Moreno Y., Rios E. 2002. Characterization of comercial nixtamalized maize flours. *Agrociencia*, 36:557-567.

21. Gómez-Agramón M M, Serna-Saldívar SO. 1987. Effect of defatted soybean isolate on the nutritional, physical, chemical and organoleptic properties of wheat flour tortillas. *Journal Food Science*. 53:793-797.
22. Gómez, M. H. 1988. Physicochemical characteristics of fresh masa from alkaline process corn and sorghum and corn dry masa flour. Ph. D. dissertation, Texas A&M University, College Station 105p.
23. Gómez, M. H., McDonough, C. M., Rooney, L. W., Waniska, R. D. 1989. Changes in corn and sorghum during nixtamalization and tortilla baking. *J. Food Science*. 53: 330-336.
24. Gutiérrez-Dorado R, Ayala-Rodríguez AE, Milian-Carrillo J, López-Cervantes J, Garzón-Tiznado J A, López-Valenzuela J A. (2007). Technological and nutritional properties of flours and tortillas from nixtamalized and extruded quality protein maize (*Zea mays* L.). *Cereal Chemistry*.
25. Hosney CR. 1986. Principles of cereal science and technology. Ed by the American Association of Cereal Chemist Inc. St Paul MN. USA.
26. Inglett, G. E., 1970. Corn: culture, processing, products. ed. AVI Publishing Company, Inc., London, Eng.
27. Islam M, Lario E, del Valle R. 1984. Mold inhibition in tortilla by dimethyl fumarate. *Journal Food Processing and Preservation*. 8:41-45.
28. Iturriaga, N. J. 1987. De tacos, tamales y tortas. ed. Diana. México, D. F. p. 125.
29. Johnson B, Rooney LW, Khan mN. 1980. Tortilla making characteristics of micronized sorghum and corn flour. *Journal Food Science*. 45:671-673.
30. Klaus J.L. y Karel K. 1991. Handbook of cereal Science and Technology. 23:321-325.
31. Koetz R y Neukom H. 1977. Nature of bound nicotinic acid in cereals and its release by thermal and chemical treatment, in physical, chemical and biological changes in food caused by thermal processing, ed by Hoyden T and Kvale O, applied science publishers, London, p 1315.
32. Martínez-Flores HE, Gaytán-Martínez M, Figueroa-Cárdenas J de D, Martínez-Bustos F, Ryes-vega M de la L, Rodríguez-Vidal A. 2004. Effect of some

- preservatives on shelf-life of corn tortillas obtained from extruded masa. *Agrociencia*. 38:285-292.
33. Milián-Carrillo J, Gutierrez-Dorado R, Perales-Sánchez J. X.K, Cuevas-Rodríguez E.O, Ramírez-Wong B, Reyes-Moreno C. 2006. The optimization of the extrusion process when using maize flour with a modified amino acid profile for making tortillas. *Journal of Food Science and Technology*. 41:727-736.
 34. Méndez-Albores J.A., Villa G.A., Del Río-García J.C., Martínez E. M. 2004. Aflatoxin detoxification achieved with Mexican traditional nixtamalization process (MTNP) is reversible. *Journal of the Science Food Agricultural*. 84:1611-1614.
 35. Mora-Avilés A, Lemus-Flores B, Miranda-López R, Hernández-López D, Pons-Hernández JL, Acosta-Gallegos JA, Guzmán-Maldonado HS. 2007. Effects of common bean enrichment on nutritional quality of tortillas produced from nixtamalized regular and quality protein maize flours. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 87:880-886.
 36. NORMA Oficial Mexicana NOM-187-SSA1/SCFI-2002, Productos y servicios. Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración y establecimientos donde se procesan
 37. Ortega EL, Villegas E, Vassal SK. 1986. A comparative study of protein changes in normal and quality protein maize during tortilla making. *Cereal Chemistry*. 63:446-451.
 38. Paredes-López, O. and Saharópulus-Paredes, M. E., 1983. Scanning electron microscopy studies of limed corn kernels for tortilla making. *Journal of Food Technology*. 17:691-697.
 39. Pérez-Flores G.C., Moreno-Martínez E., Méndez-Albores A. 2011. Effect of microwave heating during alkaline-cooking of aflatoxin contaminated maize. *Journal of Food Science*, 76:48-52.
 40. Plasencia J. 2004. Aflatoxins in maize a Mexican perspective. *Journal Toxicology* 23:155-77

41. Rubio, M. 1989. La industria de la harina y la tortilla. Su modernización. La industria del maíz. Maíz Industrializado Conasupo y grupo Maseca (Ed). p 102-135. ed. Grupo Azabache. México D.F.
42. Rojas-Molina J. 2008. "Relación del grado de fijación del calcio de la proteína para maíz QPM H-368 sometido a un tratamiento térmico alcalino." Tesis, Doctorado en Ciencias, UNAM, 3-9, 42-62.
43. Ramos-Carrillo E. 2007. Análisis comparativo de la fijación de calcio en granos de maíz, durante el proceso de nixtamalización. Tesis, Ingeniería en Alimentos, UNAM, 1-30.
44. Rooney, L. W. and Serna-Saldívar, S. O. 1987. Foods Uses of Whole Corn and Dry- Milled Fraction. Cap. 13. En: Corn: chemistry and technology. S. A. Watson and P. E. Ramstad. 1987. p. 399-429. ed. American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, MN.
45. SAS, 1998. Statistical Analysis System. Introductory Guide for Personal Computers. Ver 6.12 ed. SAS Institute. Cary, NC, USA.
46. Serna-Saldívar SO. 1996. Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. México, DF. A.G.T. editor, S.A. p.519.
47. Serna-Saldívar S.O., Gómez M.H., Rooney L.W., 1990. Technology, chemistry and nutritional value of alkaline cooked corn products. Vol. X of Advances in Cereal Science and Technology. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, pp 243-307.
48. Serna-Saldívar, S. O., Cannet, R., Vargas, J., Gonzalez, M., Bedolla, S. and Medina, C. 1988a. Effect of soybean and sesame addition on the nutritional value of maize and decorticated sorghum tortillas produced by extrusion cooking. Cereal Chemistry. 64: 44-48.
49. Serna-Saldívar, S.,O., Knabe, D. A., Rooney, L.W. and Tanksley, T. O. Jr. 1987. Effect of lime cooking on energy and protein digestibilities of maize and sorghum. Cereal Chemists. 64:247-252.
50. Sproule, A. M., Serna-Saldívar, S. O., Bockholt, A. L., Rooney, L, W. and Knabe, D. A. 1988. Nutritional evaluation of tortilla and tortilla chips from quality protein maize. Cereal Foods World. 32 (3): 233-236.

51. Sugawara M., Susuki T., Totsuka A., Takeuchi M., Ueki K. 1994. Composition of corn hull dietary fiber. *Starch* 46:335-337.
52. Trejo-González, A., Feria-Morales, A. and Wild-Altamirano, C. 1982. The role of lime in the alkaline treatment of corn for tortilla preparation. En: *Modification of proteins: Food Nutritional and Pharmacological Aspects.* ed. *Adv. Chem. Ser.* 198.
53. Vivas NE, Waniska RD, Rooney LW. 1987. Effect of tortilla p'roduction on proteins in sorghum and maize. *Cereal Chemistry.* 64:384-389.
54. Watson, S. A. 1987. *Foods Uses of Whole Corn and Dry-Milled Fraction.* Cap. 13. En: *Corn: chemistry and technology.* S. Watson and P. E. Ramstad. 1987. ed. American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, MN.
55. Wall, J. W. and Carpenter, K. J. 1988. Variation in availability of niacin in grain products. *Food Technology.* 42(10): 198-204.
56. Wall Street Journal. 1993. Flour power. Mexico's campaing to modernize sparks battle over tortilla, September 9.
57. Yáñez-Ortega Y. 2005 *Nixtamalización por extrusión de las fracciones del grano de maíz para la obtención de harinas instantáneas.* Tesis, Maestro en tecnología avanzada. IPN.