



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO**

---

**INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**“ESTANDARIZACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA HARINA DE MAÍZ  
NIXTAMALIZADA PARA LA ELABORACIÓN DE TAMALES DEL MOLINO  
DE CHILES Y HARINAS OTOMÍ”**

**T E S I S**

**Que para obtener el título de:**

**Ingeniero Agroindustrial**

**Presenta:**

**Ofir Hernández Lobato**

**Dirección: M. en A. Elizabeth Pérez Soto**

**Tulancingo de Bravo Hidalgo., 2014.**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO  
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
Programa Educativo de Ingeniería Agroindustrial

**M. en C. JULIO CÉSAR LEINES MEDÉCIGO**  
Director de Administración Escolar

Tulancingo de Bravo Hidalgo, a 27 de Febrero de 2013

Por medio del presente nos dirigimos a Usted para informarle que después de haber revisado la Tesis titulada **“ESTANDARIZACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA HARINA DE MAÍZ NIXTAMALIZADA PARA LA ELABORACIÓN DE TAMALES DEL MOLINO DE CHILES Y HARINAS OTOMÍ”** presentada por la **P.D.I.A Ofir Hernández Lobato** con número de cuenta **173392** consideramos que cumple con los elementos suficientes de contenido y forma para su réplica mediante examen recepcional. Por las razones anteriores, otorgamos nuestra aprobación para la impresión del trabajo y sigan los trámites académicos y administrativos correspondientes.

No habiendo otro particular por el momento, nos despedimos de usted enviándole un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**

**Comité Revisor**

M. en A. Elizabeth Pérez Soto

Dra. Norma Güemes Vera

M. en C. Sergio Soto Simental

M. en A. Melitón Jesús Franco Fernández

Dr. Juan Pablo Hernández Uribe

## *Dedicatoria*

*Nunca digas: ¿Qué es la causa que los tiempos pasados fueron mejores que éstos? Porque nunca de esto preguntarás con sabiduría.*

*Buena es la ciencia con herencia; y más a los que ven el sol.*

*Porque escudo es la ciencia, y escudo es el dinero: más la sabiduría excede en que da vida a sus poseedores. **Eclesiastés. 7:10-12.***

*A Dios, gracias porque me permites terminar una etapa más de mis estudios.*

*A mis Padres, por sus oraciones, su ejemplo, su cariño, su apoyo, su confianza depositada y por sus sabios consejos; principales factores que me impulsaron para desarrollarme como profesionista.*

*A mis Hermanos y Familia, que continuamente me apoyaron para seguir adelante.*

*A mi Novia, por sus oraciones, su cariño, su confianza y siempre me apoya en todo lo que emprendo (**Prínchíkita**).*

## *Agradecimientos*

*A la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, por darme la oportunidad de ser un Universitario comprometido con la sociedad.*

*Al Instituto de Ciencias Agropecuarias, porque sin duda alguna es un honor haber ingresado de sus aulas.*

*Agradezco a la M. en A. Elizabeth Pérez Soto por el infinito apoyo, confianza, brindada en la tesis. Gracias por los conocimientos impartidos en el aula y fuera de ella, por esos pequeños regaños que me hicieron ser una persona con mayor preparación. Sé que nunca tendré como agradecerle, solo me queda decir **“MUCHAS GRACIAS Y DIOS LE BENDIGA EN TODOS SUS CAMINOS.”***

*A la Dra. Norma Güemes Vera, al Dr. Sergio Soto Símental, al M. en A. Melitón Jesús Franco Fernández y al Dr. Juan Pablo Hernández Uribe., por sus valiosas críticas, sugerencias y todo su apoyo en la realización del presente trabajo.*

*A todos y cada uno de mis compañeros y amigos que tuve durante la carrera, que sin duda fueron muchos, que para no dejar de mencionar a nadie decidí englobarlos en una sola palabra (ICAP).*

# CONTENIDO

CONTENIDO.....	i
Tabla de figuras.....	iv
Tabla de cuadros.....	iv
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
2. Antecedentes.....	3
2.1 Origen del maíz.....	4
2.1.1. Taxonomía y Morfología.....	4
2.1.1.1. Propagación.....	5
2.1.1.1.1. Ciclo vegetativo del maíz.....	5
2.2. Composición química de las partes del grano.....	8
2.2.1. Carbohidratos.....	9
2.2.1.2. Carbohidratos complejos (polisacáridos).....	9
2.2.1.3. Almidón.....	10
2.2.1.4. Otros hidratos de carbono.....	10
2.2.1.5. Fibra dietética.....	11
2.2.1.6. Fibra soluble.....	12
2.2.1.7. Fibra insoluble.....	12
2.3. Proteínas.....	13
2.4. Lípidos.....	13
2.5. Vitaminas.....	14
2.5.1. Vitaminas liposolubles.....	14
2.5.2. Vitaminas hidrosolubles.....	15
2.6. Minerales.....	15
2.7. Pigmentos.....	17
2.8. Compuestos Fenólicos.....	18
2.9. Valor nutricional.....	18

2.10.	Estadísticas de producción Mundial y Nacional .....	18
2.10.1.	Principales países productores de maíz en el Mundo .....	18
2.10.2.	Principales estados productores de maíz en México .....	19
2.11.	Nixtamalización .....	20
2.12.	Harina de maíz.....	22
2.13.	Noma Oficial Mexicana para Harina de Maíz Nixtamalizada .....	27
2.14.	Reología de masas .....	28
2.14.1.	Fundamentos de las pruebas instrumentales de textura .....	28
2.14.2.	Análisis de Perfil de Textura .....	29
2.14.3.	Prueba de Adhesividad.....	31
2.14.4.	Protocolo de prueba.....	33
2.16.	Tamales .....	37
III.	OBJETIVOS .....	39
3.1.	Objetivo general.....	39
3.2.	Objetivos específicos .....	39
3.3.	Hipótesis .....	39
IV	JUSTIFICACIÓN.....	40
V	MATERIALES Y MÉTODOS .....	41
5.1.	Materias Primas .....	41
5.2.	Localización del Experimento.....	41
5.3.	Especificaciones del Proceso de Nixtamalización de las muestras .....	41
5.4.	Determinación de Parámetros Fisicoquímicos .....	42
5.4.1.	Humedad.....	42
5.4.3.	Concentración de Carbohidratos (°Bx) .....	43
5.4.4.	Potencial de Hidrogeno (pH) .....	44
5.4.5.	Grasa.....	44
5.4.6.	Proteína.....	45
5.4.7.	Capacidad de Retención de Agua (CRA) .....	46

5.4.8. Fibra Cruda.....	46
5.5. Pruebas texturales para las masas .....	47
5.5.1. Prueba de adhesividad .....	48
VI RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
VII CONCLUSIONES.....	66
VIII BIBLIOGRAFIA.....	67

## TABLA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Principales partes estructurales del grano de maíz (Zea mayz L)</i>	7
<b>Figura 2. Producción Mundial de Maíz (FAO, 2012)</b>	19
<i>Figura 3. Principales Estados Productores de Maíz, (SAGARPA-SIAP, 2012)</i>	19
<i>Figura 4. Diagrama de Flujo del Proceso de Nixtamalización</i>	21
<i>Figura 5. Diagrama de flujo del proceso de la harina de maíz nixtamalizada</i>	25
<i>Figura 6. Curva típica para prueba de ATP (Bourne, 1982)</i>	29
<i>Figura 7. Harina de maíz perdiendo humedad dentro de la estufa</i>	42
<i>Figura 8. Quema de la muestra antes de la calcinación en la mufla</i>	43
<i>Figura 9. Digital refractometer PR-101</i>	43
<i>Figura 10. Sistema de extracción de grasa Buchi Bul36681</i>	44
<i>Figura 11. Unidad de destilación Buchii K-350</i>	45
<i>Figura 12. Determinador de fibra Labconco Lac300001-00</i>	46
<i>Figura 13. Texturometro TTXA2</i>	48

## TABLA DE CUADROS

<b>Cuadro 1. Composición físico-química proximal de las principales partes de los granos de maíz (%)</b>	9
<b>Cuadro 2. Distribución proteica en el maíz</b>	13
<b>Cuadro 3. Contenido de minerales del maíz (promedio de cinco muestras)</b>	16
<b>Cuadro 4. Composición Química de la Harina de Maíz</b>	22
<b>Cuadro 5. Composición físico-química de la masa de maíz nixtamalizado</b>	23
<b>Cuadro 6. Composición físico-química de la Harina de Maíz de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NMX-F-046-S-1980</b>	28
<b>Cuadro 7. Especificación del Proceso de Nixtamalización de las muestras de harina de maíz</b>	42
<b>Cuadro 8. Composición físico-química de la muestra 1</b>	52
<b>Cuadro 9. Composición físico-química de la muestra 2</b>	53
<b>Cuadro 10. Composición físico-química de la muestra 3</b>	54
<b>Cuadro 11. Composición físico-química de la muestra 4</b>	55
<b>Cuadro 12. Composición físico-química de la muestra 5</b>	56
<b>Cuadro 13. Composición físico-química de la muestra 6</b>	57
<b>Cuadro 14. Composición físico-química de la muestra 7</b>	58
<b>Cuadro 15. Valores de pH en las muestras de Harina</b>	59
<b>Cuadro 16. Composición microbiológica de la Muestra Testigo y la Muestra 1</b>	60
<b>Cuadro 17. Dureza en Harina de Maíz Nixtamalizada de Metate Otomí</b>	60
<b>Cuadro 18. Adhesividad en Harina de Maíz Nixtamalizada de Metate Otomí</b>	61
<b>Cuadro 19. Cohesividad en Harina de Maíz Nixtamalizada de Metate Otomí</b>	62
<b>Cuadro 20. Elasticidad en Harina de Maíz Nixtamalizada de Metate Otomí</b>	63
<b>Cuadro 21. Dureza en Harina de Maíz Nixtamalizada</b>	64
<b>Cuadro 22. Adhesividad en Harina de Maíz Nixtamalizada</b>	64
<b>Cuadro 23. Cohesividad en Harina de Maíz Nixtamalizada</b>	64
<b>Cuadro 24. Elasticidad en Harina de Maíz Nixtamalizada</b>	65



## I. INTRODUCCIÓN

Las evidencias arqueológicas demuestran que el maíz es originario de México, desde la época prehispánica hasta nuestros días fue sustento, religión y arte; ocupa el primer lugar de la producción agrícola del país, el 70% aproximadamente se destina al consumo humano y el resto se utiliza en la industria y como forraje.

México es el consumidor más importante de maíz, su consumo per cápita se calcula en 300 g/día, aportando el 46% de las calorías y el 47% proteínas de la alimentación. En las áreas rurales estos porcentajes son de 56 y 70% respectivamente (González, 1995). Este cereal se consume principalmente en forma de tortillas, frituras y tamales que se consumen de forma cotidiana y son populares en las fiestas y celebraciones.

Con el desarrollo de nuevas tecnologías, se han encontrado alternativas para la obtención de diversos productos alimenticios, se industrializa para la obtención de aceites, biocombustibles, sazónadores, pastas de maíz o de almidón, jarabes, saborizantes, fructosa, dextrosa, sémola, cereales para el desayuno, alimentos botana, harinas precocidas, galletas, cerveza, whisky, harinas entre otros, convirtiéndose así en el grano de mayor preferencia e importancia en México (Véles, 2004).

La harina de maíz se define como el polvo fino que se obtiene moliendo el cereal mediante diferentes métodos, es parte fundamental de las cocinas de México, Colombia, Perú y Venezuela, está formada fundamentalmente por almidón y zeína (proteína).

La producción industrial de harina nixtamalizada está basada en el método tradicional de nixtamalización, sistematizado a una producción a gran escala. El proceso incluye básicamente las etapas de recepción, selección, limpieza, almacenamiento del grano, cocimiento alcalino, molienda del grano cocido y la obtención de la masa que es secada, cernida, clasificada, y envasada (Flores *et al.*, 2002).

Todas las operaciones de recepción, transporte, empaque, preparación, procesamiento y almacenamiento de alimentos deben seguir principios sanitarios para evitar una probable contaminación en el producto ya terminado y listo para el consumo humano. La harina de maíz nixtamalizada ya procesada debe cumplir con la Norma Oficial Mexicana para Harina de Maíz Nixtamalizada NMX-F-046-S-1980, que garantice un producto de calidad e inocuo, libre de cualquier contaminación.

Para determinar la calidad de la Harina de Maíz Nixtamalizada del Molino de Chiles y Harinas Otomí se realizó el análisis fisicoquímico para medir porcentaje de proteína, fibra cruda, grasa, cenizas, humedad, pH, CRA y °Brix. Un análisis microbiológico para cuantificar hongos y levaduras. Del análisis del perfil de textura se midió dureza, adhesividad, cohesividad y elasticidad, todos estos parámetros fueron analizados en base los métodos establecidos por la AOAC y la Norma Oficial Mexicana NMX-F-046-S-1980 y se efectuó una comparación de estas variables con muestras comerciales de Harinas de Maíz Nixtamalizada de la Empresa MASECA.

Todos los análisis realizados estuvieron basados en las metodologías utilizadas por la AOAC (Asociación de Comunidades Analíticas) Internacional. La AOAC Internacional realiza contribuciones sobre la creación, validación y publicación mundial de métodos fiables de pruebas analíticas, principalmente para evaluar la seguridad de los alimentos, bebidas, suplementos dietéticos y materiales similares consumidos por los seres humanos y los animales, o para evaluar la pureza de los materiales utilizados en fabricación de productos alimenticios y de sus ingredientes. Estos métodos de ensayo son de dos categorías: las pruebas químicas y las pruebas microbiológicas (Torres, 2012).

## II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2. Antecedentes

En todas partes del mundo la historia de los alimentos está ligada a la agricultura, las evidencias arqueológicas demuestran que el maíz es originario de México, desde la época prehispánica hasta nuestros días fue sustento, religión y arte. Su dispersión se atribuye cuando inició el comercio, el cultivo se difundió en Mesoamérica y Sudamérica, y después de la colonización que se expandió alrededor del mundo. Debido a su excelente capacidad para adaptarse a diversos ambientes, es capaz de desarrollarse tanto en latitudes altas que varían desde el ecuador ligeramente a 50° al norte y sur así como también al nivel del mar hasta 3000 metros de altura, bajo condiciones de fuertes lluvias y condiciones semiáridas, en climas frescos y calientes, y con ciclos de cultivos que van desde 3 a 13 meses (Véles, 2004).

El maíz es de los granos básicos más importantes que se producen en México, ocupa el primer lugar de la producción agrícola del país, el 70% aproximadamente se destina al consumo humano y el resto se utiliza en la industria y como forraje. Su cultivo representa alrededor de una tercera parte del valor de la producción de granos; se estiman cerca de 3 millones de productores y es el cuarto productor mundial después de Estados Unidos, China y Brasil. En México, en la actualidad se cosechan aproximadamente 23,301,878.48 Tn (SAGARPA-SIAP, 2012).

México es uno de los consumidores más importantes de maíz, su consumo per cápita se calcula en 300 g/día, aportando el 46% de las calorías y el 47% proteínas de la alimentación. En las áreas rurales estos porcentajes son de 56 y 70% respectivamente (González, 1995), tiene una gran cantidad de usos y en la actualidad se conocen cerca de 300 productos que de una forma u otra son derivados del maíz o lo incluyen en su composición. Se utiliza en mayor parte en la elaboración de tortillas y tamales, por lo cual es necesario que los granos se sometan al proceso de nixtamalización moliéndose posteriormente para obtener la harina o masa para elaborar los tamales (Hernández, 2008).

## 2.1 Origen del maíz

El maíz (*Zea mays* L.) es originario de América donde es ampliamente cultivado, y de ahí pasó a África, Australia y a las partes más templadas de Europa. Se cultiva en regiones que poseen un periodo libre de heladas no inferior a 90 días. La pluviosidad necesaria puede variar desde 25 a 500 cm/año, pero existen tipos adecuados que permiten su cultivo en esas condiciones tan diferentes. Constituyó la dieta fundamental de las primitivas civilizaciones de los indios Aztecas, Mayas, Incas y hoy en día también es fundamental en los países hispanoamericanos y en algunas partes de África (Takeo, *et al.*, 2008).

### 2.1.1. Taxonomía y Morfología

El maíz (*Zea mays* L.) pertenece a la familia de las gramíneas, es la única especie del género *Zea*, es una planta anual de gran desarrollo vegetativo (puede alcanzar 4 m de altura), cuyo tallo lleva de 12 a 20 hojas de limbo bien desarrollado (35 a 50 cm de longitud; 4 a 10 cm de ancho). El tallo puede emitir varios brotes. El sistema radicular de tipo fasciculado está formado por tres tipos de raíces: las raíces seminales (nacidas de la semilla), las raíces secundarias (que constituyen la casi totalidad del sistema radicular), y las raíces adventicias que aparecen en el último lugar, a nivel de los primeros nudos situados por encima de la superficie del suelo (Fleury *et al.*, 1979).

La inflorescencia femenina (mazorca) puede formar alrededor de 400 a 1000 granos arreglados en promedio de ocho a 24 hileras por mazorca; todo esto encerrado en numerosas brácteas o vainas de las hojas (totomoxtle), los estilos largos saliendo de la punta del raquis como una masa de hilo sedoso se conocen como pelo de elote; el jilote es el elote tierno. El maíz es una planta de polinización abierta (anemófila) propensa al cruzamiento, la gran mayoría de los granos de polen viajan de 100 a 1000 m (Reyes, 1990; Jugenheimer, 1988).

En la mazorca cada grano o semilla es un fruto independiente llamado cariósido que está insertado en el raquis cilíndrico u olote; la cantidad de grano producido por mazorca está limitada por el número de granos por hilera y

de hileras por mazorca. Como cualquier otro cereal, las estructuras que constituyen el grano del maíz (pericarpio, endospermo y embrión) le confieren propiedades físicas y químicas (color, textura, tamaño, etc.) que han sido importantes en la selección del grano como alimento (Kato *et al.*, 2009).

#### 2.1.1.1. Propagación

El maíz es una planta monóica, es decir, posee 2 tipos de inflorescencias. Las flores masculinas están agrupadas en una panícula terminal al extremo del tallo; las flores femeninas están reunidas en una o varias espigas, se desarrollan en la axila de las hojas del tercio medio de la planta (Fleury *et al.*, 1979), cubiertas por varias cáscaras que en realidad son hojas modificadas.

A pesar de que la planta puede auto fecundarse, la fecundación es alogámica: la proporción de fecundación cruzada o polinización cruzada es por lo menos del 95%, en parte debido a la separación de los sexos en el espacio (monoecia) y también por una madurez precoz de las flores masculinas (protandria) (Sprague *et al.*, 1968; Fleury *et al.*, 1979). La fecundación o polinización se presenta cuando es abundante y es disperso por el viento, algunos caen sobre los estigmas para iniciar la fecundación. Vientos secos durante la polinización dañan seriamente los granos de polen, estigmas y tubo polínico (Sprague *et al.*, 1968).

##### 2.1.1.1.1. Ciclo vegetativo del maíz

**Nascencia:** Comprende el período que transcurre desde la siembra hasta la aparición del coleótilo, cuya duración aproximada es de 6 a 8 días.

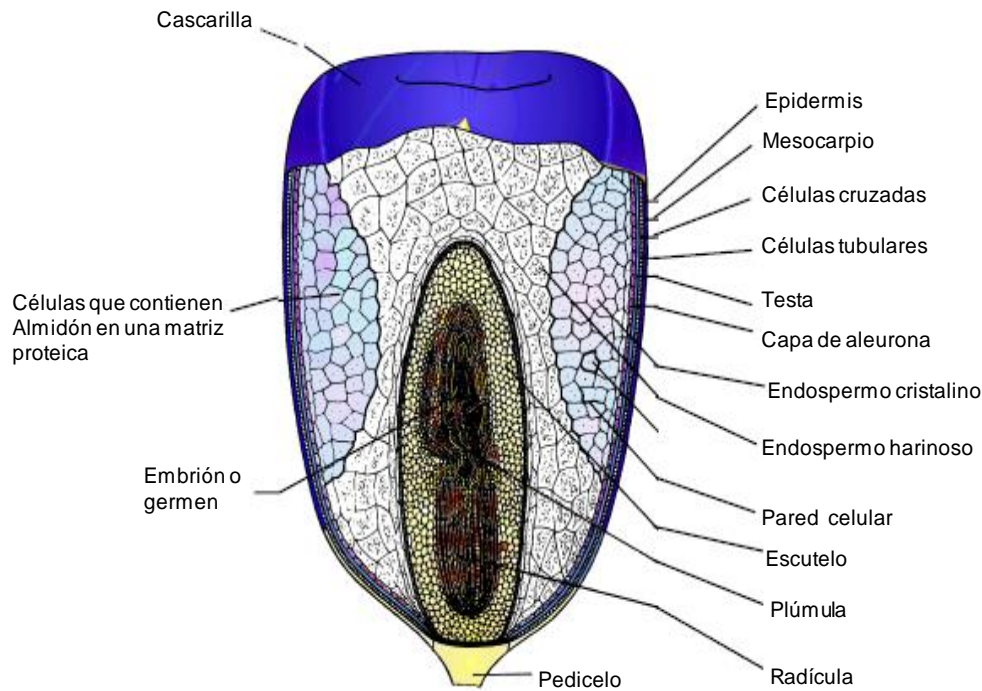
**Crecimiento:** Una vez nacido el maíz, aparece una nueva hoja cada tres días si las condiciones son normales. A los 15-20 días siguientes a la nascencia, la planta debe tener ya cinco o seis hojas, y en las primeras 4-5 semanas la planta deberá tener formadas todas sus hojas.

**Floración:** A los 25-30 días de efectuada la siembra se inicia la panoja en el interior del tallo. Transcurridas de 4 a 6 semanas desde este momento se inicia la liberación del polen y el alargamiento de los estilos.

Se considera como floración el momento en que la panoja se encuentra emitiendo polen y se produce el alargamiento de los estilos. La emisión de polen dura de 5 a 8 días, pudiendo surgir problemas si las temperaturas son altas o se provoca en la planta una sequía por falta de riego o lluvias.

**Fructificación:** Con la fecundación de los óvulos por el polen se inicia la fructificación. Una vez realizada la fecundación, los estilos de la mazorca, vulgarmente llamados sedas, cambian de color, tomando un color castaño. Transcurrida la tercera semana después de la polinización, la mazorca toma el tamaño definitivo, se forman los granos y aparece en ellos el embrión. Los granos se llenan de una sustancia leñosa, rica en azúcares, los cuales se transforman al final de la quinta semana en almidón.

**Maduración y secado:** Hacia el final de la octava semana después de la polinización, el grano alcanza su máximo de materia seca, pudiendo entonces considerarse que ha llegado a su madurez fisiológica. Entonces suele tener alrededor del 35% de humedad, a medida que se va perdiendo se aproxima el grano a su madurez comercial, influyendo en ello más las condiciones ambientales de temperatura, humedad ambiente, entre otras, que las características varietales. Está compuesta principalmente de cuatro partes anatómicas que son: el pericarpio y la aleurona, el pedicelo, el endospermo y el germen. En la Figura 1 se muestra las principales partes estructurales del grano (Hernández, 2008).



**Figura 1.** Principales partes estructurales del grano de maíz (*Zea mays L*)

**Pericarpio.** Cubierta o cáscara del grano, compuesta por todas las capas exteriores. El pericarpio está compuesto por una capa de cutícula cerosa que cubre a la epidermis, ambas retardan la absorción de humedad al interior del grano por el mesocarpio, compuesto por células alargadas y estrechamente adheridas con numerosas cavidades que proveen interconexiones capilares entre todas las células y facilitando la absorción de agua. La porción más interna del peso seco del grano. Todas las partes del pericarpio están compuestas por células muertas que son de forma tubular (Earle *et al.*, 1946; Watson, 1988; Jackson *et al.*, 1995).

**Pedicelo.** Representa aproximadamente el 0.8% del grano y es la estructura celular con la que el grano se encuentra unida al olote, está compuesto de haces vasculares que terminan en la porción basal del pericarpio, consta de una capa exterior de abscisión que sella la punta del grano maduro. A esta capa le sigue una serie de células parenquimatosas en forma de estrellas, ligadas por sus puntas, formando una estructura frágil y porosa, conectada con la capa de células cruzadas del pericarpio. Esta estructura es responsable de la absorción de líquidos del pedicelo al pericarpio (Earle *et al.*, 1946; Jackson *et al.*, 1995).

**Endospermo.** Está compuesto por células alargadas con delgadas paredes de material celulósico, empacadas con gránulos de almidón (de 5 a 30 m) sumergidos en una continua matriz proteica (almidón-proteína), es depositada y contenida en grandes estructuras celulares. La unión e integridad estructural entre la proteína y los gránulos de almidón hace completamente duro al grano de maíz. El endospermo está compuesto de dos regiones: una harinosa y otra córnea, generalmente en una relación de 2 a 1. La región harinosa del endospermo es caracterizada por células grandes, por gránulos grandes y redondos y una delgada matriz proteica. El endospermo córneo tiene pequeñas células, pequeños gránulos de almidón y una densa matriz proteica. El endospermo constituye aproximadamente el 82.3% del grano en peso seco y está compuesto principalmente por almidón (86.4%), (Earle *et al.*, 1946; Watson, 1988; Jackson *et al.*, 1995).

**Germen.** Es el embrión u órgano reproductor del grano y está compuesto por plúmula, radícula y escutelo. El escutelo constituye el 90% del germen y funciona como un órgano o almacén de nutrientes y hormonas que son movilizados por enzimas sintetizadas durante la etapa inicial de germinación hacia la plúmula (Earle *et al.*, 1946; Watson, 1988; Jackson *et al.*, 1995). Todas las células del embrión y el escutelo son potencialmente activadas metabólicamente durante una hidratación (Watson, 1988).

## 2.2. Composición química de las partes del grano

Como se muestra en el Cuadro 1, las partes principales del grano de maíz difieren considerablemente en su composición química, la cubierta seminal o pericarpio se caracteriza por un elevado contenido de fibra cruda, aproximadamente el 87%, la que a su vez está formada fundamentalmente por hemicelulosa (67%), celulosa (23%) y lignina (0,1%). Burge *et al.*, 1989 menciona que el endospermo, en cambio, contiene un nivel elevado de almidón (87%), aproximadamente 8% de proteínas y un contenido de grasas crudas relativamente bajo.



**Cuadro 1.** Composición físico-química proximal de las principales partes de los granos de maíz (%)

<b>Componente Químico</b>	<b>Pericarpio (%)</b>	<b>Endospermo (%)</b>	<b>Germen (%)</b>
Proteínas	3.7	8.0	18.4
Extracto etéreo	1.0	0.8	33.2
Fibra cruda	86.7	2.7	8.8
Cenizas	0.8	0.3	10.5
Almidón	7.3	87.6	8.3
Azúcar	0.34	0.62	10.8

**Fuente:** Watson, 1987

### 2.2.1. Carbohidratos

Al igual que todos los cereales, el maíz es una fuente importante de carbohidratos encontrándose entre los principales tejidos del maíz pero principalmente en el endospermo. Estos compuestos químicos se dividen en simples y complejos.

#### 2.2.1.1. Carbohidratos simples (azúcares)

Los azúcares constituyen aproximadamente el 2% del peso total del grano y cerca del 65% de los azúcares del grano se encuentran en el germen y, de ellos, el 69% son glucosa (Earle *et al.*, 1946; Jackson *et al.*, 1995). Además, contienen monosacáridos (D-fructuosa y D-glucosa en igual proporción) libres del endospermo; disacáridos como sacarosa y maltosa; trisacáridos como rafinosa, y oligosacáridos (Boyer *et al.*, 1988; Jackson *et al.*, 1995).

#### 2.2.1.2. Carbohidratos complejos (polisacáridos)

Los polisacáridos de mayor importancia en el maíz son los estructurales y los de reserva, forman parte de la estructura de las paredes celulares del grano, representan aproximadamente el 71.5% del peso total del grano. Estos carbohidratos son sustancias como las pectinas, hemicelulosa, celulosa y lignina (Jackson y Shandera, 1995). Los carbohidratos de reserva (almidón)

son polisacáridos de almacenamiento energético de gran importancia en el maíz, constituyen aproximadamente del 72 al 73% del grano, encontrándose principalmente en el endospermo (86 a 89%) y, en menor cantidad, en el germen, pericarpio y pedicelo. Aunque éste está formado de un sólo azúcar, glucosa, y dos diferentes ligaduras,  $\alpha(1\rightarrow4)$  y  $\alpha(1\rightarrow6)$ , el gránulo de almidón está compuesto de dos polímeros, amilosa y amilopectina. Los gránulos de almidón contienen aproximadamente un 73% de amilopectina y un 27% de amilosa (Senti, 1967; Boyer *et al.*, 1988; Jackson *et al.*, 1995).

#### 2.2.1.3. Almidón

El componente químico principal del grano de maíz es el almidón, al que corresponde hasta el 72-73% del peso del grano, está formado por dos polímeros de glucosa: amilosa y amilopectina. La amilosa es una molécula esencialmente lineal de unidades de glucosa, que constituye hasta el 25-30% del almidón. El polímero amilopectina también consiste de unidades de glucosa, pero en forma ramificada y constituye hasta el 70-75% del almidón. La composición del almidón viene determinada genéticamente. En el maíz común, ya sea con un endospermo de tipo dentado o córneo, el contenido de amilosa y amilopectina del almidón es tal como se ha descrito anteriormente, pero el gen que produce maíz ceroso contiene un almidón formado totalmente por amilopectina. Un mutante del endospermo, denominado diluyente de la amilosa, hace aumentar la proporción de amilosa del almidón hasta el 50% y más. Otros genes, solos o combinados, pueden modificar la composición del almidón al alterar la proporción entre la amilosa y la amilopectina (Boyer *et al.*, 1988).

#### 2.2.1.4. Otros hidratos de carbono

El grano maduro contiene pequeñas cantidades de otros hidratos de carbono, además de almidón. El total de azúcares del grano varía entre el 1 y el 3% y la sucrosa, el elemento más importante, se halla esencialmente en el germen. En los granos en vías de maduración hay niveles más elevados de

monosacáridos, disacáridos y trisacáridos. Doce días después de la polinización, el contenido de azúcar es relativamente elevado, mientras que el de almidón es bajo. Conforme madura el grano, disminuyen los azúcares y aumenta el almidón. Se ha determinado que, en granos de 16 días de vida, los azúcares alcanzan un nivel del 9.4% del peso en seco del grano, pero que su nivel disminuye considerablemente con el paso del tiempo.

La concentración de sucrosa a los 15-18 días de la polinización asciende a una cantidad situada entre el 4 y el 8% del peso en seco del grano. A estos niveles relativamente elevados de azúcar y sucrosa reductores se debe posiblemente el hecho de que el maíz común verde y en mayor medida aún, el maíz dulce sean tan apreciados por la gente (Véles, 2004).

#### 2.2.1.5. Fibra dietética

La fibra dietética es el citoesqueleto de los vegetales, de naturaleza aparentemente inerte, ya que no puede ser atacada por las enzimas digestivas, y por lo tanto absorbida en el intestino, pero con la capacidad de ser fermentada por algunas bacterias colónicas, y con características diferentes según la especie vegetal de procedencia. De esto se puede deducir que la fibra no es una única sustancia o producto químico, sino un conjunto de compuestos, que agrupados y dependiendo de la proporción en que se encuentren, tienen propiedades específicas (Vázquez *et al.*, 2003). La fibra es un conjunto de productos que, a excepción de las ligninas, que son polímeros de alcoholes aromáticos, están constituidos por polisacáridos no degradables. Hay dos tipos de fibras, la soluble y la insoluble. Los alimentos ricos en fibra, como pueden ser las frutas y verduras, contienen ambos tipos en mayor o menor proporción, por lo que la respuesta fisiológica dependerá del tipo de fibra que predomine (Vázquez *et al.*, 2003).

#### 2.2.1.6. Fibra soluble

Las fibras solubles como son las pectinas, gomas y mucílagos, se caracterizan por formar geles y por su gran capacidad de captar agua, formando una masa gelatinosa que hace aumentar la viscosidad del contenido gastrointestinal, retrasando el vaciamiento gástrico y proporcionando mayor volumen y lubricación a las heces. A su paso por el intestino delgado atrapan sales biliares y triglicéridos, dificultando la absorción de las grasas, el colesterol y la glucosa.

Entre los efectos metabólicos que posee la fibra soluble está el retardar y dificultar la absorción de glucosa, debido por una parte al enlentecimiento del vaciamiento gástrico y por otro lado al aumento del espesor de la capa estática que recubre las paredes del intestino delgado, reduciendo los requerimientos de insulina y mejorando el control de la glucemia (Véles, 2004).

#### 2.2.1.7. Fibra insoluble

La fibra insoluble, constituida por celulosa, hemicelulosa y ligninas, no posee la capacidad de formar geles, por lo que no producen retraso en el vaciamiento gástrico, ni tienen los efectos metabólicos producidos por las fibras solubles, no actuando sobre la absorción de la glucosa ni influye sobre el transporte y absorción de los ácidos biliares y el colesterol. Su efecto fundamental es el de incrementar el volumen fecal y la frecuencia de los movimientos intestinales, regulando el tiempo de tránsito colónico. En el cáncer colorrectal la fibra tiene un efecto beneficioso; al disminuir el tiempo de tránsito intestinal, los carcinógenos potenciales están menos tiempo en contacto con las paredes intestinales. Al aumentar el volumen de las heces, los carcinógenos están más diluidos y por último al disminuir la fibra el pH fecal se impide la transformación por parte de las bacterias, de los constituyentes fecales normales en posibles carcinógenos (Vázquez *et al.*, 2003).

### 2.3. Proteínas

Las proteínas (Cuadro 2), representan aproximadamente el 10.3% del grano integral, encontrándose principalmente en el endospermo (74%) y el germen (26%) (Earle *et al.*, 1946; Jackson *et al.*, 1995; Martínez, 1997). La distribución de las proteínas en el maíz es de 8% albúminas (proteínas solubles en agua), 9% de globulinas (solubles en soluciones salinas), 40% de glutelinas (solubles en hidróxido de sodio) y 39% de prolaminas (zeína) (Paredes-López *et al.*, 1983).

**Cuadro 2.** Distribución proteica en el maíz

<b>Componentes</b>	<b>Grano entero (%)</b>	<b>Endospermo (%)</b>	<b>Germen (%)</b>	<b>Pericarpio y Pedicelo (%)</b>
Proteína	9.8	8.8	19.0	5.1
Fracción proteica				—
Albúminas	8.0	4.0	30.0	—
Globulinas	9.0	4.0	30.0	—
Zeína	39.0	47.0	6.0	—
Glutelina	40.0	39.0	25.0	—

**Fuente:** Paredes-López *et al.*, 1983

### 2.4. Lípidos

Constituyen aproximadamente el 4.8% del peso total del grano. Se encuentran en mayor proporción en el germen, conteniendo el 84% de los lípidos del grano y el 16% restante se encuentra en el endospermo. Casi todos los lípidos del maíz son triacilglicéridos libres y los principales ácidos grasos que los componen son el linoléico (18:2) con 50% de los lípidos del grano, el oléico (18:1) con 35%, palmítico (16:0) 13%, el esteárico (18:0) menos del 4% y el linolénico (18:3) menos del 3%. Aunque el maíz no es considerado una oleaginosa, es una excelente fuente de ácidos grasos. Aunque altamente poliinsaturados, los lípidos en maíz son muy estables porque contienen altos niveles de antioxidantes naturales y muy poco ácido linolénico (Watson, 1988; Weber, 1988; Jackson *et al.*, 1995).

## 2.5. Vitaminas

El maíz contiene dos vitaminas liposolubles, la vitamina A ( $\beta$ -caroteno) con un contenido promedio de 2.5 mg/Kg y la vitamina E con 36 mg/Kg, aunque es deficiente en niacina, porque no se encuentra en forma disponible para animales monogástricos. Sin embargo en tratamientos con álcali, la niacina se vuelve biodisponible. Las vitaminas tiamina ( $B_1$ ) y piridoxina están presentes en concentraciones suficientes para ser importantes en raciones para animales (Watson, 1988) y la vitamina C en concentraciones muy bajas (Dickerson, 1996).

### 2.5.1. Vitaminas liposolubles

El grano de maíz contiene dos vitaminas solubles en grasa, la vitamina E, la pro-vitamina A, o carotenoides que se hallan sobre todo en el maíz amarillo, en cantidades que pueden ser reguladas genéticamente, en tanto que el maíz blanco tiene un escaso o nulo contenido de ellos, la mayoría se encuentra en el endospermo duro del grano y únicamente pequeñas cantidades en el germen. El beta-caroteno es una fuente importante de vitamina A, aunque no totalmente aprovechada pues los seres humanos no consumen tanto maíz amarillo como maíz blanco. (Squibb *et al.*, 1957) determinaron que el beta-caroteno equivalía aproximadamente al 22% del total de carotenoides (11.3  $\mu$ g/g) de tres muestras de maíz amarillo. El contenido de criptoxantina equivalía al 51% del total. La proporción de vitamina A, varía de 1.5 a 2.6  $\mu$ g/g. Los carotenoides del maíz amarillo pueden destruirse durante el almacenamiento; (Watson, 1962) encontró en el maíz recién cosechado valores de 4.8 mg/Kg, que al cabo de 36 meses de almacenamiento habían disminuido a 1.0 mg/Kg. Lo mismo sucedió con las xantofilas. Según estudios recientes, si se mejora la calidad proteínica del maíz aumenta la transformación de beta-caroteno en vitamina A.

La otra vitamina liposoluble, la vitamina E, que es objeto de cierta regulación genética, se halla principalmente en el germen, la fuente de esta son cuatro tocoferoles; el más activo biológicamente es el tocoferol-alfa; aunque el tocoferol-gamma es probablemente más activo como antioxidante.

### 2.5.2. Vitaminas hidrosolubles

Las vitaminas solubles en agua se encuentran sobre todo en la capa de aleurona del grano de maíz, y en menor medida en el germen y el endospermo, esta distribución tiene importancia al elaborar el cereal sin embargo, la elaboración da lugar a pérdidas considerables de vitaminas. Se han encontrado cantidades variables de tiamina y riboflavina en el grano del maíz; su contenido está determinado en mayor medida por el medio ambiente y las prácticas de cultivo que por la estructura genética. La vitamina soluble en agua a la cual se han dedicado más investigaciones es el ácido nicotínico, a causa de su asociación con la deficiencia de niacina, o pelagra, fenómeno muy difundido en las poblaciones que consumen grandes cantidades de maíz (Christianson *et al.*, 1968). Una característica propia de la niacina es que está ligada y por lo tanto, el organismo animal no la puede asimilar; sin embargo existen algunas técnicas de elaboración que hidrolizan la niacina, permitiendo su asimilación.

La asociación de la ingesta de maíz con la pelagra se debe a los bajos niveles de niacina del grano, aunque se ha demostrado experimentalmente que también son importantes los desequilibrios de aminoácidos, por ejemplo la proporción entre la leucina y la isoleucina, y la cantidad de triptófano asimilable (Gopalan *et al.*, 1975; Patterson *et al.*, 1980).

El maíz no tiene vitamina B<sub>12</sub> y el grano maduro contiene sólo pequeñas cantidades en caso de que las haya de ácido ascórbico (Yen, *et al.*, 1976) hallaron un contenido de aproximadamente 2.69 mg/Kg de piridoxina asimilable. Otras vitaminas, como la colina, el ácido fólico y el ácido pantoténico, se encuentran en concentraciones pequeñísimas.

### 2.6. Minerales

La mayor parte (78%) de los minerales del maíz se encuentran en el germen, probablemente porque estos son esenciales para el desarrollo del embrión. El más abundante es el fósforo que representa el 0.08% del grano integral, este mineral se encuentra principalmente almacenado en forma de sal fósforo-

magnesio del ácido fítico y es liberado por la enzima fitasa. El azufre es uno de los cuatro elementos más abundantes en el grano, se encuentra en forma inorgánica como un constituyente de los aminoácidos metionina y cistina. Otro elemento inorgánico que constituyen al grano es el potasio, que se encuentra en forma orgánica como componente de los aminoácidos azufrados. Metales de alta toxicidad se encuentran presentes en cantidades por abajo del nivel que causan toxicidad, a menos que el maíz se encuentre en la etapa de maduración o que el maíz sea cultivado en tierras que son expuestas a lodos de aguas residuales con un contenido alto de estos minerales (Watson, 1988) (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Contenido de minerales del maíz (promedio de cinco muestras)

<b>Minerales</b>	<b>Concentración ((mg/100g)g)</b>
P	299.6 ± 57.8
K	324.8 ± 33.9
Ca	48.3 ± 12.3
Mg	107.9 ± 9.4
Na	59.2 ± 4.1
Fe	4.8 ± 1.9
Cu	1.3 ± 0.2
Mn	1.0 ± 0.2
Zn	4.6 ± 1.2

**Fuente:** Bressan *et al.*, 1989

Es importante destacar el contenido de calcio en el maíz, el cual se puede encontrar entre 0.01 y 0.1% del peso seco del grano (Watson, 1988), ya que es fundamental en el consumo humano, por el hecho de que el calcio es reconocido como un importante componente del cuerpo humano, constituyendo aproximadamente el 2% del peso total del cuerpo; aproximadamente el 99% del calcio está presente en el esqueleto (Ranhotra, 1985). Las recomendaciones diarias de calcio permitidas para adultos y en mujeres embarazadas o en estado de lactancia es de 800 y 1200 mg/día, respectivamente (U. S. Food and Nutrition Board, 1974). Estudios que se ha llevado a cabo muestran que una ingesta adecuada de calcio durante los años cruciales del crecimiento, provee de un máximo desarrollo de la masa ósea y esto retarda la aparición y severidad de la osteoporosis (una enfermedad multifactorial) (Berner *et al.*, 1990; Renner, 1994; Ulrich *et al.*, 1996; Nordin, 1997 y Carter *et al.*, 1997). Una adecuada ingesta también puede reducir el riesgo de hipertensión y cáncer colorectal (McCarron *et al.*, 1984; Lapre *et al.*,



1992; Osborne *et al.*, 1996; Hambly *et al.*, 1997 y McCarron *et al.*, 1998). La deficiencia de calcio causa osteoporosis, en Estados Unidos afecta a aproximadamente 24 millones de Estadounidenses anualmente (NIH, 1991).

La concentración de cenizas en el grano de maíz es aproximadamente del 1.3%, sólo ligeramente menor que el contenido de fibra cruda. El germen es relativamente rico en minerales, con un valor medio del 11%, frente a menos del 1% en el endospermo. El mineral que más abunda es el fósforo, en forma de fitato de potasio y magnesio, encontrándose en su totalidad en el embrión con valores de aproximadamente 0.90% en el maíz común y cerca del 0.92% en el maíz opaco. Como sucede con la mayoría de los granos de cereal, el maíz tiene un bajo contenido de calcio y de oligoelementos.

## 2.7. Pigmentos

El grano de maíz puede diferir significativamente en color de blanco a amarillo, anaranjado, rojo, púrpura (azul o negro) y café. Las diferencias del color pueden ser debido a diferencias genéticas en pericarpio, aleurona, germen y endospermo. El pericarpio puede ser transparente, anaranjado, rojo, rojo fresa, rojo oscuro, café o variado; la capa de aleurona puede ser transparente, rojo púrpura, púrpura o café; el germen puede ser transparente, amarillo, rojo anaranjado o púrpura; el endospermo es igualmente incoloro o amarillo, anaranjado o rojo anaranjado, por lo que el pericarpio y la aleurona deben ser transparentes para que el verdadero color del endospermo pueda ser visto (Watson, 1987).

Los pigmentos responsables de las coloraciones en los denominados maíces pigmentados (azul o rojo) son las antocianinas, que en el grano se encuentran principalmente en el pericarpio, en la capa aleurona o en ambas estructuras (Salinas *et al.*, 1999).

## 2.8. Compuestos Fenólicos

Comprenden un amplio grupo de sustancias que tienen en común la presencia de un anillo aromático al que se haya ligado uno o más sustituyentes hidroxilo. Entre sus características destacan la solubilidad que presentan en medio acuoso y el hecho de que se hallan comúnmente combinados a azúcares (Plascencia, 1998).

## 2.9. Valor nutricional

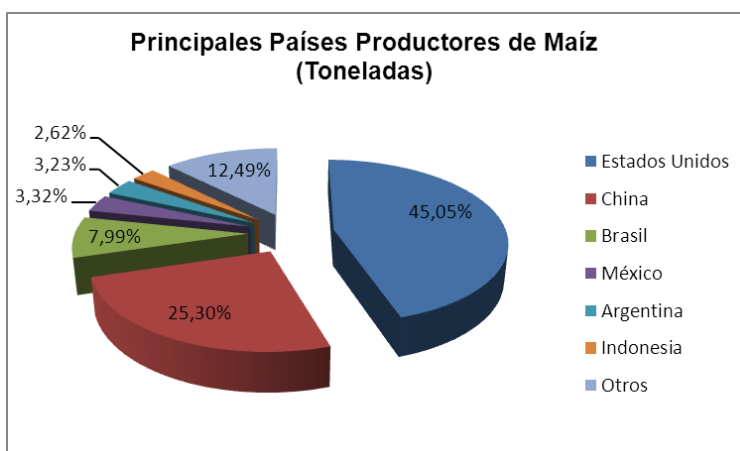
El maíz representa cerca de la mitad del volumen total de alimentos que se consumen cada año en nuestro país, principalmente en forma de tamales y tortillas; y ha generado una industria que aun cuando se encuentra en miles de pequeños establecimientos, es de enorme importancia. Además de los tamales y las tortillas, se tiene una gran variedad de alimentos preparados con harinas o masa de maíz y que forman parte de la dieta doméstica y comercial. A nivel regional el maíz constituye la fuente de energía más importante en la alimentación del pueblo de México; así en los estados del norte, el maíz aporta en promedio el 30% del valor total calórico de la dieta, mientras que en el centro representa el 39% y en el sur el 38%. La población mexicana satisface entre el 60 y 75% de sus necesidades de energía, el 60% de las proteínas y 87% del calcio total de la dieta cuando el maíz se consume en forma de tortilla (Velas, 2004).

## 2.10. Estadísticas de producción Mundial y Nacional

### 2.10.1. Principales países productores de maíz en el Mundo

Los principales países productores de maíz a nivel mundial son los Estados Unidos, China, Brasil y México.

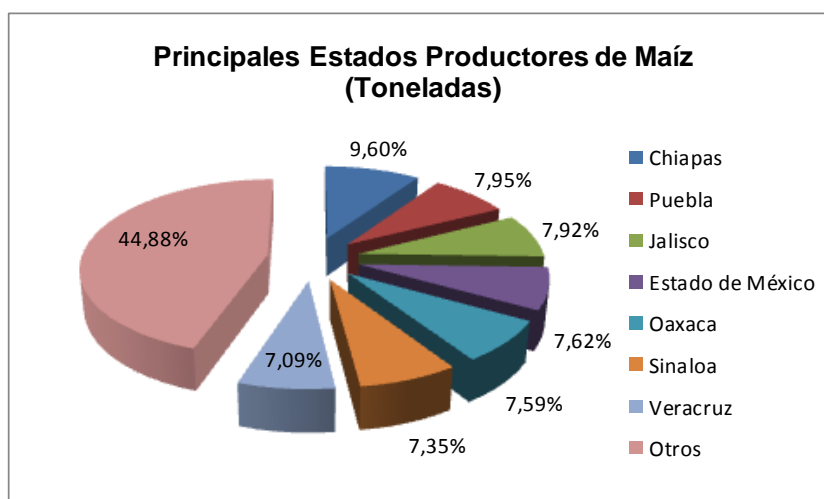
La producción mundial de maíz en el año 2010 fue de 701,775,008 Ton. Estados Unidos participó con el 45.05% de la producción mundial total, seguido de China con el 25.30%, como se puede ver en la Figura 2.



**Figura 2.** Producción Mundial de Maíz (FAO, 2012)

#### 2.10.2. Principales estados productores de maíz en México

Las estadísticas en el año 2010 por parte del SIAP indican que el volumen total de la producción nacional, fue de 23,301,878.48 Ton. Los Estados de la republica que mayor producción obtuvieron se muestran en la Figura 3.



**Figura 3.** Principales Estados Productores de Maíz, (SAGARPA-SIAP, 2012)

## 2.11. Nixtamalización

La nixtamalización del maíz (*Zea mays* L.) es un proceso muy antiguo desarrollado por los aztecas (ver Figura 4), el cual todavía se utiliza para obtener tamales, tortillas, alimentos para niños y otros productos alimenticios. Después de cocer el maíz con hidróxido de calcio  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  llamado comúnmente cal, el producto obtenido, llamado nixtamal, se lava con agua para eliminar el exceso de cal, éste se moltura en molinos de piedra para obtener una pasta suave y cohesiva conocida como masa, o se deshidrata para la obtención de harina y utilizarla para la elaboración de tamales. La nixtamalización produce cambios que mejoran la calidad nutricional del maíz (Kent, 1987).

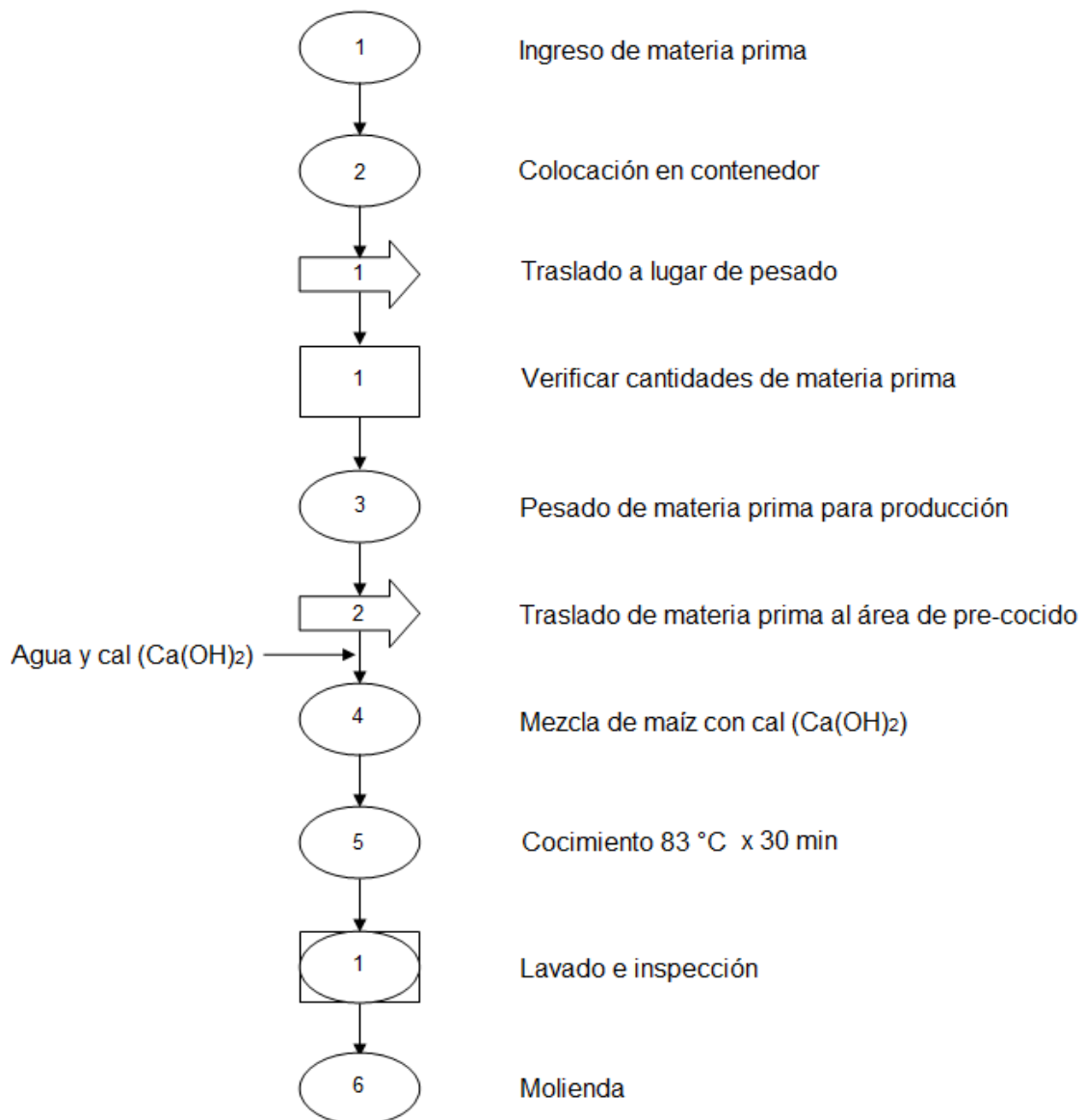
El nixtamal que se obtiene contiene polímeros de almidón (amilosa y amilopectina) mezclados con gránulos de almidón parcialmente gelatinizados, gránulos intactos, partes de endospermo y lípidos. Todos estos componentes forman una malla compleja heterogénea dentro de una fase acuosa continua (Gómez *et al.*, 1987). Además, la reasociación de la amilosa y amilopectina, que depende del tiempo y la temperatura, modifica constantemente el contenido total de agua (Pflugfelder *et al.*, 1988) y su distribución dentro de esta matriz. Este proceso tiene la mayor repercusión en las propiedades reológicas y de textura de los productos elaborados a partir de masa y harina de maíz.

La cal  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  actúa en los componentes de la pared celular del grano de maíz y convierte la hemicelulosa en gomas solubles. De esta forma, el tratamiento térmico-alcálico gelatiniza el almidón, saponifica parte de los lípidos, libera la niacina y solubiliza parte de las proteínas que rodean los gránulos de almidón. Adicionalmente, debido al pH las cadenas de glucosa a partir de la amilosa y la amilopectina se cargan, lo cual ayuda a disminuir la retrogradación (Pérez *et al.*, 1987).

### 2.11.1. Factores críticos del procesamiento

Los factores de control de la nixtamalización se encuentran a través de todo el proceso incluyendo: a) el perfil de tiempo temperatura empleado durante el cocimiento y reposo, b) el tipo de lavado del nixtamal, c) las condiciones de molienda, y d) el perfil del tiempo temperatura en el deshidratado para la obtención de la harina.

Las condiciones de proceso deben promover los cambios físicos y químicos necesarios en el maíz para obtener la funcionalidad de textura y humedad deseadas para el manejo y procesamiento del nixtamal, masa, harina y calidad del producto final obtenido (tamales) (Almeida *et al.*, 1996).



**Figura 4.** Diagrama de Flujo del Proceso de Nixtamalización

## 2.12. Harina de maíz

La harina de maíz se define como el polvo fino que se obtiene moliendo el cereal mediante diferentes métodos, como cultivo tradicional de los pueblos originarios de América es en esta parte del mundo donde se consume más asiduamente, especialmente en Latinoamérica donde es parte fundamental de las cocinas de Colombia, México, Perú y Venezuela. La harina de maíz está formada fundamentalmente por almidón y zeína. La industria de harina de maíz nixtamalizada en el país data de 1949, año en que inicio sus actividades el grupo industrial Molino Azteca, S. A., en 1951 Maíz Industrializado, S. A. (MINSA) registró la primera patente para la producción de esta harina, la cual fue desarrollada por el Instituto Mexicano de Investigaciones Tecnológicas (IMIT) (Flores *et al.*, 2002).

**Cuadro 4.** Composición Química de la Harina de Maíz

<b>Composición</b>	<b>Integral Amarilla</b>	<b>Blanca Enriquecida</b>
Agua	10.9 g	9.03 g
Energía	361 Kcal	365 Kcal
Grasa	3.8 g	3.78 g
Proteínas	6.9 g	9.34 g
Hidratos de carbono	76.8 g	76.02 g
Fibra	13.4 g	9.6 g
Potasio	315 mg	298 mg
Fosforo	272 mg	223 mg
Hierro	2.3 mg	7.21 mg
Sodio	5 mg	5 mg
Manganeso	0.46 mg	0.48 mg
Magnesio	93 mg	110 mg
Calcio	7 mg	141 mg
Zinc	1.7 mg	0.7 mg
Selenio	15.4 mcg	15 mcg
Vitamina C	0	0
Vitamina A	468 UI	0 UI
Vitamina B <sub>1</sub> (Tiamina)	0.246 mg	1.42 mg
Vitamina B <sub>2</sub> (Riboflavina)	0.080 mg	0.75 mg
Vitamina E	0.25 mg	0.25 mg
Niacina	1.9 mg	9.8 mg

**Fuente:** Bello, 2002

La producción industrial de harina nixtamalizada está basada en el método tradicional de nixtamalización, sistematizado a una producción a gran escala. El proceso incluye básicamente las etapas de recepción, selección, limpieza, almacenamiento del grano, cocimiento alcalino, molienda del grano cocido y la

obtención de la masa que es secada, cernida, clasificada, y envasada (Flores *et al.*, 2002).

Las etapas más importantes para la obtención de la harina después de la nixtamalización son:

- Molienda

Terminada la etapa de nixtamalización, el lavado y el reposo, el nixtamal pasa inmediatamente a la etapa de molienda. Esta etapa se puede realizar en molino de martillo, de piedras, de cuchillas o de discos; por efecto de corte, impacto y/o fricción. El molino de nixtamal opera en el circuito abierto cuando no se recircula el material molido, y trabaja en circuito cerrado cuando las partículas gruesas son eliminadas en un separador para reciclarlas al molino (Flores, 1997).

El molino de piedras, que consta de un par de piedras dispuestas una frente a la otra, de las cuales una gira y la otra permanece estática. El grado de molido del maíz puede ser determinado por la abertura existente entre las piedras.

La molienda del nixtamal produce una masa de maíz compuesta por varios tipos de partículas que incluyen fragmentos del grano, pericarpio y germen, así como proteína y fibras hidratadas y grasas en mezcla con alrededor de 50-60% de humedad. La condición del nixtamal, el tipo de piedra, la separación entre las piedras y el agua adicionada son factores a controlar durante la molienda (Gómez, 1998).

**Cuadro 5.** Composición físico-química de la masa de maíz nixtamalizado

<b>Composición</b>	<b>(%)</b>
Proteína	10.5
Grasa	4.2
Ceniza	1.9
Almidón	72.6
Fibra	10.8

**Fuente:** Gómez, 1988

- Secado

El producto resultante de la molienda del nixtamal se descarga en una tolva de alimentación múltiple que la distribuye u un sistema de secadores de tambor o tipo “flash”, donde se reduce su humedad al 10%, (Flores, 1997). Bedolla *et al.*, 1982, citan que el cocimiento del maíz debe ser a menos de 100 °C hasta que este alcance una humedad de 35-50%, y el secado de una masa con esta humedad debe ser a una temperatura menor a la de gelatinización del almidón del maíz (variable dependiendo del tipo del maíz), ya que el secado causa una gelatinización adicional en la masa.

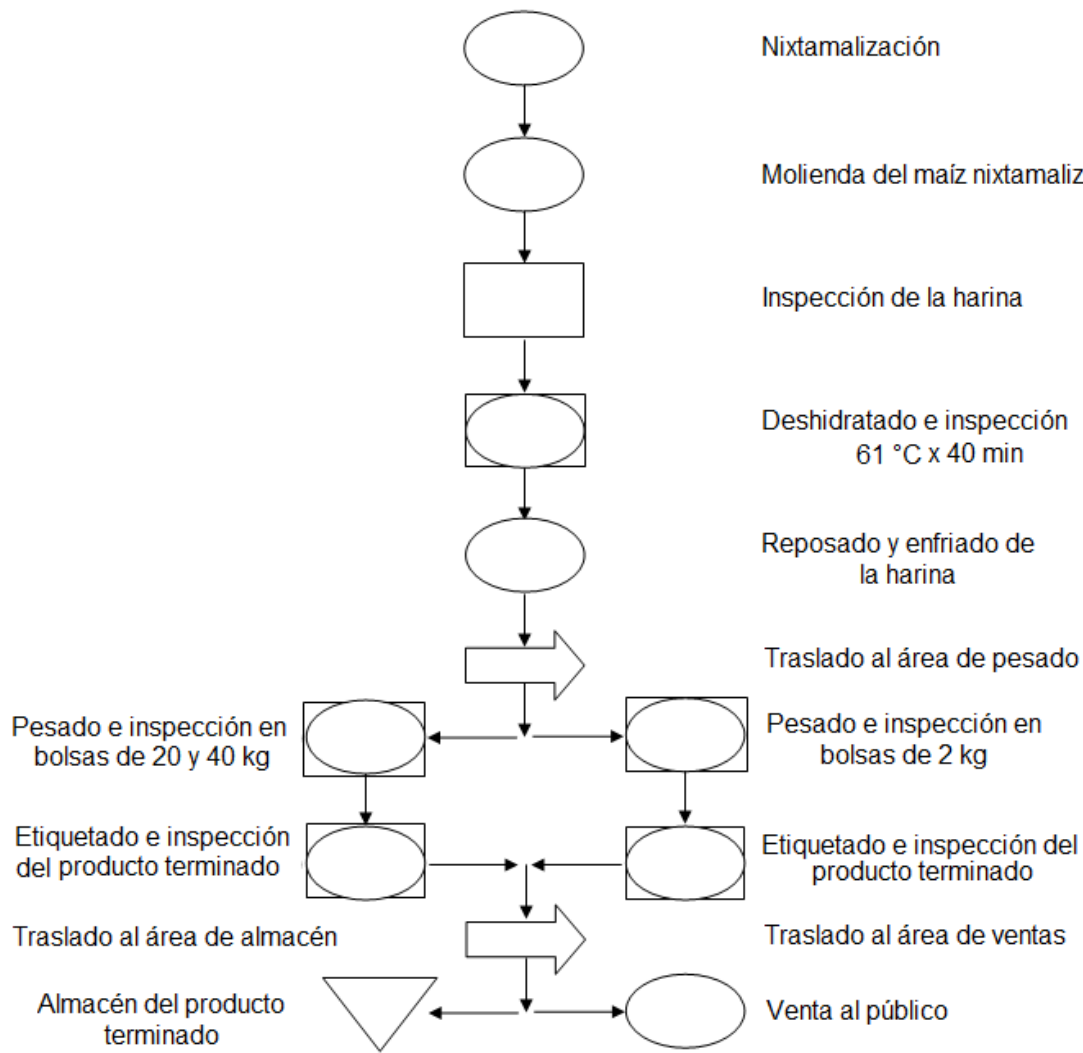
- Cernido

El material deshidratado pasa a los cernidores para separar las partículas gruesas de las finas. Las gruesas retornan a los molinos y las finas constituyen al producto final. De las harinas obtenidas de varios cernidores se pueden hacer mezclas para obtener un producto con propiedades homogéneas.

- Envasado

En México, la harina es envasada en tres presentaciones básicas: paquetes de 1 kg, en ventas al menudeo, para el consumo doméstico, y sacos de 20 y 40 kg en ventas al mayoreo. El material de empaque empleado en todos los casos, es papel en forma de doble envase. Una tercera presentación es la de los paquetes consistentes en 10 a 20 unidades de 1 kg.





**Figura 5.** Diagrama de flujo del proceso de la harina de maíz nixtamalizada

La operación unitaria más importante para la obtención de harina de maíz nixtamalizada es la etapa de secado o deshidratación debido a los cambios físicos, químicos y bioquímicos que tienen lugar durante la deshidratación ya que depende en gran manera del sistema empleado y de la naturaleza del producto. Las características de la harina de maíz desecada al sol, deshidratado al vacío, por deshidratación osmótica, deshidratado al aire o liofilizado, son muy diferentes, debido a los distintos factores de estrés a los que es sometido durante el proceso. Los sistemas de deshidratación lentos, como la desecación al sol, resultan a veces adecuados, por ejemplo, cuando los cambios físicos y químicos que durante esta tienen lugar mejoran la calidad del producto. Sin embargo, en la mayor parte de los casos conviene mantener

la calidad original del producto, por lo que los sistemas de deshidratación “artificiales” resultan más adecuados.

- Textura: La textura de un producto deshidratado depende principalmente del sistema de deshidratación empleado, puesto que en la mayor parte de los casos ésta se deteriora durante el proceso. Si la deshidratación se realiza a una temperatura elevada se genera a veces, en la superficie del producto, una capa impermeable que confiere a este una textura gomosa. El estado nativo de las macromoléculas, como proteínas y polisacáridos, depende de las condiciones del medio acuoso circulante por lo consiguiente, cuando se utilicen métodos de deshidratación rudimentarios, se producirán cambios sustanciales y en cierto grado, irreversibles.
- Aroma: Durante la deshidratación convencional se produce una pérdida considerable de compuestos aromáticos volátiles y como consecuencia de la reacción de Maillard y de otras reacciones químicas, se generan sustancias nuevas.

#### 2.12.1. Ventajas y desventajas de utilizar una harina de maíz nixtamalizada

La ventaja práctica de utilizar harina de maíz nixtamalizada es que únicamente se debe de hidratar con agua para obtener la masa, esto reduce considerablemente el costo de mano de obra, la inversión para equipo, los problemas asociados con la adquisición del maíz y la generación de desechos durante la elaboración del nixtamal. Por esto, la producción de harina de maíz nixtamalizada se ha incrementado significativamente en los últimos 10 años.

Las dos compañías más grandes de México MINSA y MASECA, han expandido sus operaciones a Estados Unidos, Centroamérica y Europa (Almeida-Domínguez *et al.*, 1996).

Las desventajas del uso de la harina de maíz nixtamalizada son mayor precio, el sabor y textura de los tamales, comparada con la masa tradicional para la elaboración de tamales, por ello los productores de harina de maíz nixtamalizada intentan optimizar los procesos con mejoras en la calidad.

Aunque las características fisicoquímicas de las harinas de maíz nixtamalizadas producidas industrialmente son más consistentes, pequeñas variaciones en el proceso afectan significativamente la calidad del producto elaborado con esta (Almeida-Domínguez *et al.*, 1996).

### 2.13. Norma Oficial Mexicana para Harina de Maíz Nixtamalizada

La Norma Oficial Mexicana NMX-F-046-S-1980 establece que la harina de maíz nixtamalizada en su único tipo y grado de calidad debe de cumplir con las siguientes especificaciones:

- Sensoriales

Color: Debe ser blanco amarillento o característico de la variedad de grano empleado.

Olor: Debe ser característico y no presentar signos de rancidez u otro olor extraño.

Sabor: Debe ser característico del producto y no tener ningún sabor extraño.

Aspecto: Debe ser granuloso con una finura tal que le 75% como mínimo pase a través de un tamiz de 0.250 mm de abertura de malla, tamiz NOM No.24 M.-60 US.

- Físicas y Químicas

La harina de maíz nixtamalizada debe cumplir con las especificaciones físicas y químicas (las especificaciones correspondientes se refieren sobre base seca) anotadas en la tabla:

**Cuadro 6.** Composición físico-química de la Harina de Maíz de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NMX-F-046-S-1980

<b>Especificaciones</b>	<b>Mínimas %</b>	<b>Máximas %</b>
Proteínas (Nitrógeno x 6.25)	8.0	—
Fibra cruda	—	2.0
Extracto etéreo	4.0	—
Cenizas	—	1.5
Humedad	—	11.0

**Fuente:** Norma Oficial Mexicana NMX-F-046-S-1980

- Microbiológicas

El producto objeto de esta Norma no debe contener microorganismos patógenos, ni más de 1000 UFC/g de hongos, ni biotoxinas fuera de los límites que la Secretaria de Salubridad y Asistencia.

#### 2.14. Reología de masas

La reología de masas estudia la deformación y el flujo de materia, esta definición se puede expresar también como el estudio de la relación entre el esfuerzo aplicado a un material y la deformación que sufre dicho material. Si un material se deforma pero no fluye cuando se aplica un esfuerzo, se tiene un material sólido; si el material fluye cuando se aplica un esfuerzo muy pequeño (en términos matemáticos: un diferencial de esfuerzos), entonces se trata de un fluido.

Definida como la ciencia de la deformación y el flujo de materia que describe las propiedades materiales de fluidos y semisólidos principalmente. Las propiedades reológicas de una pieza de masa, se basan en cómo responderá ésta a los pasos mecánicos del proceso (Faridi *et al.*, 2001).

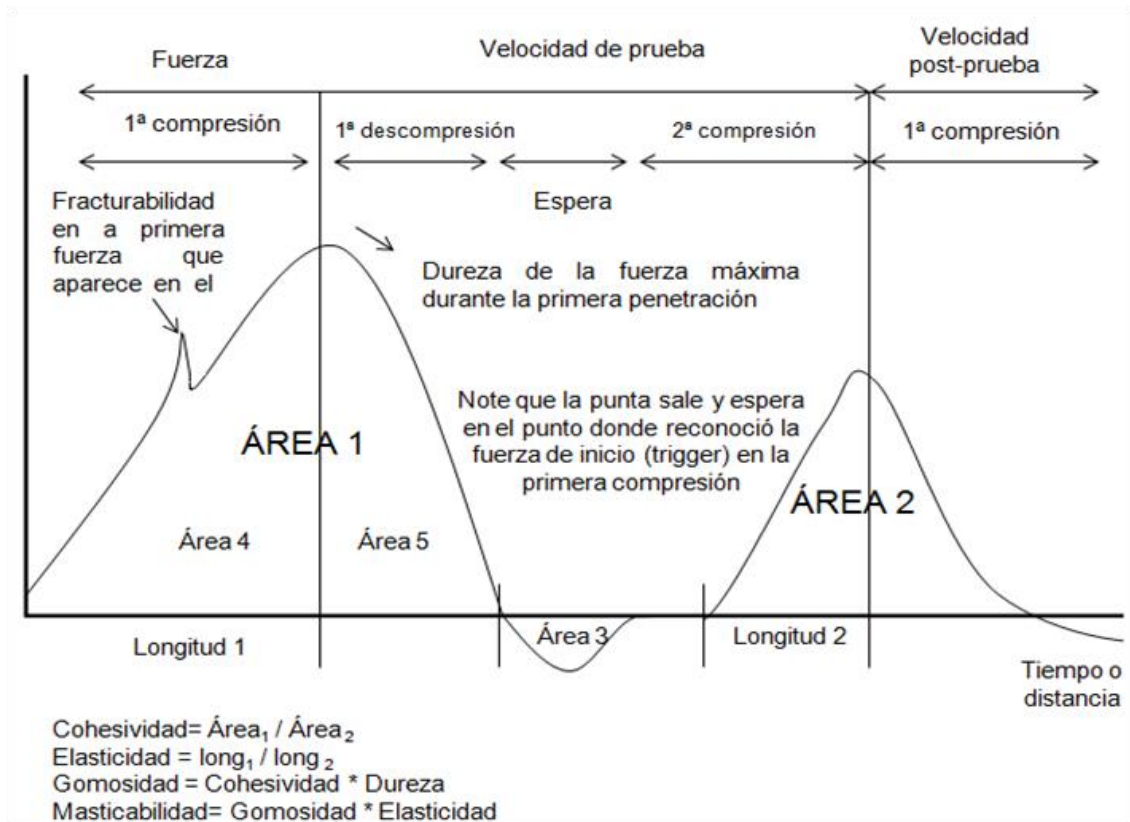
##### 2.14.1. Fundamentos de las pruebas instrumentales de textura

Independientemente de los variados instrumentos utilizados en las pruebas de textura, todos tienen principios comunes, como el empleo de dispositivos (cilindros, placas, cuchillos, esferas, etc.) tiempos y velocidad de prueba, y un

modo de operación de los equipos para el desarrollo de la prueba (en tensión o compresión). Debido a las variadas posibilidades para desarrollar una prueba se requiere especificar claramente las condiciones en el que se lleva a cabo. Para tener una mayor posibilidad de comparar y reproducir pruebas, a este conjunto de especificaciones se le denomina protocolo de prueba (Bourne, 1982).

### 2.14.2. Análisis de Perfil de Textura

Una curva típica de Análisis de Perfil de Textura es como se muestra en la siguiente figura que consiste básicamente en lo siguiente:



**Figura 6.** Curva típica para prueba de ATP (Bourne, 1982)

Se le indica al instrumento que la punta ofensor comprima el alimento cierta distancia (dada en mm o en % con respecto a la altura de la muestra) a una velocidad dada. La prueba se inicia cuando la punta o sensor detecta la superficie de la muestra, regresa a la posición de inicio de la prueba (distancia

de referencia). En esta posición espera el tiempo indicado. Efectúa el segundo ciclo de compresión, bajando nuevamente la distancia indicada. Regresa a la posición original antes de iniciar la prueba (Texture Technologies, 2002).

Las fuerzas positivas indican la resistencia que ofrece la muestra a la penetración o compresión por parte de la punta en el proceso de bajada. Las fuerzas negativas, indican la fuerza debido a la muestra que se adhiere al retirarse el sensor.

De la curva se calculan los siete parámetros texturales característicos que se mencionan a continuación (Szczesniak, 1963):

- Dureza: La fuerza máxima en el primer ciclo de compresión (H).
- Fracturabilidad: El primer pico significativo en la curva del primer ciclo de compresión (F).
- Cohesividad: La relación entre el área positiva durante el segundo ciclo de compresión y el primero ( $A4/A1+A2$ ).
- Adhesividad: El área negativa del primer ciclo de compresión (A3). Representa el trabajo necesario para retirar el sensor de la muestra.
- Elasticidad (Springiness, Resorteo): La altura que la muestra recupera entre el término del primer ciclo de compresión y el inicio del segundo (c). Otros autores la refieren como la relación  $c/a$ . Cabe aclarar que aun cuando la elasticidad es una relación de distancia sus valores se pueden obtener de la curva fuerza-tiempo, si se considera la velocidad a que se efectúa la prueba.
- Gomosidad: El producto de la dureza y la cohesividad.
- Masticabilidad: Producto de gomosidad y elasticidad.

Algunos autores (Bourne y Cumstock, 1981, Pons y Fiaszman, 1997), reportan otros parámetros como:

- 1) Módulo: También conocido como firmeza, se refiere a que tan firme se siente un producto cuando se comprime ligeramente, y es la pendiente inicial de la curva fuerza-distancia en el primer ciclo de compresión.

- 2) Fragilidad: Es la distancia a la que ocurre la fractura, puede reportarse en mm o en % en relación a la deformación máxima en el primer ciclo de compresión. Entre mayor sea el valor, menos frágil es el material.
- 3) Extensibilidad: La distancia que el producto se extiende durante la descompresión antes de romperse (b). También se puede considerar la del segundo ciclo (d).
- 4) Elasticidad: Relación entre el área positiva de bajada del primer ciclo de compresión y el área de subida del mismo  $A2/A1$ .
- 5) Fuerza negativa máxima: Relación entre la primera y segunda área de adhesión  $A3/A5$ . La recuperación en la porción de adhesión entre el segundo y primer ciclo de descompresión  $A3/A5$ .
- 6) Índice de Aplastibilidad: Relación entre la diferencia del área de compresión y descompresión del primer ciclo es decir el área de descompresión  $(A1/A2)/A2$ .

Los parámetros antes mencionados se calculan a partir de la curva de fuerza-tiempo con ayuda de los programas computacionales que cada equipo proporciona.

#### 2.14.3. Prueba de Adhesividad

Si bien al APT proporciona información de varias características texturales de un alimento, cuando se desea comparar una propiedad en particular, como la adhesividad, puede que la información aportada por esta prueba no sea lo suficientemente sensible. Para este fin, se ha diseñado una prueba específica para evaluar las propiedades adhesivas de materiales como cajeta, mayonesa, caramelos fluidos, masas, geles, etc. (Texture Technologies, 2002).

La prueba consiste en lo siguiente: el material es colocado sobre la base del texturometro o en un recipiente cilíndrico; el dispositivo (generalmente un cilindro o placa circular) baja a una velocidad especificada hasta que detecta la superficie de la muestra, enseguida aplica una fuerza al material, misma que mantiene por un tiempo determinado después del cual, el dispositivo se retira a una distancia especificada por encima de la superficie en la que detectó

originalmente la muestra (Texture Technologies, 2002). Durante el proceso de compresión y retirada, se obtiene la curva de fuerza en función de la distancia o tiempo. La forma de la curva depende de las propiedades cohesivas y adhesivas del material. Se pueden extraer varios parámetros que a continuación se mencionan (Texture Technologies, 2002).

- Fuerza adhesiva: Pico de fuerza máximo.
- Resistencia adhesiva inicial: Pendiente inicial de la curva durante la retirada del pico máximo (curva fuerza-tiempo).
- Área de trabajo adhesivo: Área bajo la curva después de la retirada al pico máximo (curva fuerza-tiempo).
- Área de trabajo cohesivo: Área bajo la curva después de la retirada al pico máximo (curva fuerza-tiempo).
- Estiramiento del producto: Distancia desde el inicio de la retirada del dispositivo hasta que la fuerza cae a un valor constante o hasta cero.

También pueden extraerse parámetros secundarios como la relación de áreas adhesiva/cohesiva o viceversa: la relación entre las fuerzas adhesivas y el estiramiento o viceversa, que puede ser una medida de la untabilidad del producto. Un producto altamente cohesivo se mantiene unido y el material se romperá cerca de la base o de la superficie de la muestra. Un producto pobre en cohesión, se deformara tomando la forma de un reloj de arena si su adhesividad es mayor que su cohesividad. La ruptura en un producto con pobre cohesión ocurrirá en el centro del “reloj de arena” y el material adhesivo se quedara pegado tanto en la base como en el dispositivo (Bourne, 1982).



#### 2.14.4. Protocolo de prueba

Se refiere al procedimiento a seguir para efectuar una prueba en una muestra determinada. Se establece en base al tipo de instrumento, la muestra y la información que se desea obtener de la misma.

Comprende los siguientes puntos:

- Selección del dispositivo.
- Selección de las dimensiones de la muestra.
- Historia de la muestra.
- Velocidad de la muestra.
- Tiempo.
- Número de veces que se repite la muestra.
- Temperatura a la que se efectuará la prueba.
- Otros específicos del instrumento.

Las variables antes mencionadas son las más comunes en la mayoría de los instrumentos y generalmente, el operario determina las variables a controlar y sus magnitudes en función del tipo de alimento y el atributo de textura que se desea evaluar (dureza, fracturabilidad, adhesividad, untabilidad, etc.).

#### 2.15. Buenas Prácticas de Manufactura

Todas las operaciones de recepción, transporte, empaque, preparación, procesamiento y almacenamiento de alimentos deben seguir principios sanitarios, a continuación se describen los aspectos que deben verificarse:

1. Las materias primas deben ser inspeccionadas y separada de los productos procesados.
2. Los contenedores de la materia prima deben ser sometidos a inspección.
3. El equipo para procesamiento de alimentos debe ser sometido a inspección y limpiado con regularidad.

4. Los factores de procesamiento como tiempo, temperatura, humedad, presión y otras variables relevantes deben ser adecuadamente controlados y documentados.
5. Deben establecerse los procesamientos que se seguirán para las pruebas que se utilizarán para la revisión de calidad y seguridad de los productos terminados.
6. Los materiales de empaque deben ser aprobados y proporcionar protección adecuada.
7. Los productos terminados deben ser codificados para brindar información como lugar y fecha de producción.
8. Los registros de producción deben ser llevados correctamente y guardados por un lapso de tiempo apropiado.
9. Los productos deben ser almacenados y transportados bajo condiciones sanitarias y lejos de sustancias nocivas.

Para obtener una excelente calidad en la obtención de la harina se deben tomar en cuenta diferentes factores que influyen en su realización.

1. Higiene en el personal

Toda persona que esté en contacto con el alimento deberá de tener las manos y uñas limpias, los dientes perfectamente lavados, se presentara a laborar bañado, el cabello limpio y afeitado en caso de hombres.

- a) La persona que se encargue del procesamiento de la nixtamalización y obtención de la harina utilizara jabón, agua y desinfectante para asearse.
- b) El aseo de manos se hará antes de que la persona empiece el procesamiento.
- c) Las manos se lavaran por lo menos 30 segundos desde las uñas hasta los codos con un masaje constante y se enjuagaran con agua, después se secaran con un paño limpio y seco o con aire.

d) Cada vez que la persona tenga contacto directo, tendrá que lavarse las manos.

## 2. Lo que no se debe hacer

a) Por ningún motivo la persona toserá o escupirá en el área de proceso, no se presentara a laborar alcoholizado, drogado o enfermo.

b) Está prohibido fumar, mascar chicle, comer mientras se está elaborando, no utilizara alhajas u objetos en las manos.

## 3. Enfermedades que pueden ser transmitidas por los alimentos

a) Todo aquello que no es propio del alimento y que puede ser o no detectable sean estos físicos, biológicos y químicos; así mismo son capaces de provocar enfermedades en las personas que la consumen.

b) Estas pueden ser producidas por el operario, almacenista y distribuidor.

c) Las condiciones físicas están delimitadas por:

- El aire donde hay polvo o heces fecales, huevecillos en los locales abiertos
- El agua que es un excelente vehículo de contaminación.
- La tierra que se encuentra en el suelo.
- El material extraño como el vidrio, plástico, madera, patas o alas de insectos, esmalte de uñas, cabello, etc.

d) En las condiciones biológicas están consideradas por:

- El hombre es un elemento importante en este tipo de contaminación.
- Los microorganismos también son considerados.
- Fauna nociva como los roedores, cucarachas, hormigas y moscas.

e) El ciclo de manos sucias, manipulación, preparación, consumo, persona enferma.

f) Los factores que influyen el crecimiento de los microorganismos son:

- Humedad.
- Agua.
- Acidez, pH.
- Temperatura.
- Tiempo.
- Oxígeno.

g) Factores químicos:

- Plaguicidas.
- Fertilizantes.
- Animales enfermos.

h) Transporte.

i) Material de aseo y limpieza.

4. Como se presenta la contaminación.

Directa: esta es de origen pues el maíz ya viene contaminado.

Cruzada: es el paso de microorganismos de un alimento contaminado a otro que no lo está.

5. El edificio en donde se elabore el producto deberá de contar con instalaciones hidráulicas eficientes así como tarjas o tinas amplias para poder lavar todos los materiales que se van a utilizar en el procesamiento. Todos los exteriores deberán de estar debidamente limpios y lavados con agua y jabón para evitar la contaminación por algún agente físico.

Las instalaciones contarán con un piso de loseta o pintado que se lavara antes y después de laborar, las paredes limpias, puertas pintadas y perfectamente limpias, ventanas cerradas y limpias (Méndez, 2007).

## 2.16. Tamales

El tamal (del náhuatl *tamalli*, que significa *envuelto*) es de origen indígena preparado generalmente con masa de maíz cocida normalmente al vapor, envuelta en hojas de la mazorca de la misma planta de maíz o de plátano, bijao, maguey, aguacate o incluso papel aluminio o plástico. Pueden llevar o no relleno, el cual puede contener carne, vegetales, chile, frutas, salsa, etc. Además pueden ser con sabor dulce o salado.

En México, algunos otros nombres para tamales son zacahuil, corundas, pata de burro, nacatamales, chak chak wah, buuilil wa, kehil uah, chanchamitos, uchepos, canarios, juacané y xocotamales, se clasifican de cuatro maneras: por su envoltura, por su tamaño, por sus ingredientes y por su relleno.

**Por su envoltura:** Es más común envolver los tamales en hoja de plátano para la cocción en el sur y sureste del país (por ejemplo, en los estados de Oaxaca, Yucatán, Chiapas y Tabasco), mientras que en el resto del país es más común envolverlos en hoja de maíz. El zacahuil no se envuelve, sino que se prepara en una tina de metal.

**Por su tamaño:** Casi todos los tamales tienen el mismo tamaño, que depende del tamaño de la hoja de maíz. Sin embargo, las corundas son más pequeñas. y el zacahuil mucho más grande que un tamal normal.

**Por sus ingredientes:** Existe una gran cantidad de variedades de tamal, entre 500 y 5000. La diferencia más clara existe entre los tamales dulces y los salados, pero existe una gran diferencia en los ingredientes de los tamales, como por ejemplo los chiles que se usan, las carnes, las frutas o verduras del interior del tamal.

**Por su relleno:** Algunos tamales solo llevan masa aderezada con sal, azúcar, chile, especias o salsa, mientras que otros llevan un relleno muy amplio y rico de carne, verduras, frutas, etc., en donde la masa solo va alrededor de este relleno. Incluso algunos tamales no llevan masa de ningún tipo, solo el relleno envuelto en la hoja de maíz, pero también se consideran tamales (Hoyer *et al.*, 2008).

### **III. OBJETIVOS**

#### 3.1. Objetivo general

Estandarizar y caracterizar la harina de maíz nixtamalizada para la elaboración de tamales.

#### 3.2. Objetivos específicos

- Estandarización del proceso de nixtamalización, evaluando parámetros físico-químicos microbiológicos y reológicos, para definir el mejor proceso.
- Evaluar los parámetros físico-químicos y microbiológicos que contribuyan a la calidad de la harina de maíz nixtamalizada para la elaboración de tamales.
- Analizar las propiedades reológicas de la harina de maíz nixtamalizada para la elaboración de tamales.

#### 3.3. Hipótesis

La estandarización de los parámetros físico-químicos, microbiológicos y reológicos de la harina de maíz nixtamalizada para la elaboración de tamales, van a depender del control de las variables del proceso como son: tiempo y temperatura de cocimiento, proceso de deshidratación y las buenas prácticas de manufactura.

## IV JUSTIFICACIÓN

El maíz es uno de los cereales de mayor consumo en México, forma parte esencial de la dieta tanto de zonas rurales como urbanas no sólo de México sino también de algunos países de Latinoamérica. Aun cuando el proceso de la nixtamalización es muy antiguo, esta técnica precolombina poco ha cambiado, industrialmente y para autoconsumo este método es utilizado para la obtención de tamales, tortillas, tostadas, nachos, fritos y totopos.

La harina de maíz nixtamalizada procesada en el Molino Otomí conserva las características originales del proceso tradicional de nixtamalización por ello es muy importante controlar las variables de proceso como son el tiempo y temperatura de cocimiento durante la nixtamalización puesto que si el tiempo y la temperatura son bajas el nixtamal obtenido tendrá un pericarpio más duro y por lo tanto cuando se realice el cernido de la harina habrá partículas más grandes que otras; y si el tiempo y la temperatura es mayor se puede llegar a deshacer el grano de maíz, así como perder propiedades nutrimentales en el proceso de nixtamalización. El proceso de secado es una de las variables más importantes a controlar porque es la etapa final para obtener la harina y se debe ser bien cuidadoso en la temperatura que se maneja y el tiempo que se deja a esta, puesto que si no son controladas pueden influir en la proliferación de microorganismos como hongos y levaduras los cuales se desarrollan en alimentos que tienen una buena cantidad de humedad. Las buenas prácticas de manufactura en la empresa son esenciales para evitar cualquier tipo de contaminación, la cual pueda influir en las características finales del producto.

En este trabajo se estandarizara el proceso mediante el control de las variables mencionadas para obtener harina para elaborar tamales con la misma calidad que cumpla con las características establecidas en la norma oficial mexicana y prolongar la vida de anaquel.



## V MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. Materias Primas

La materia prima utilizada para este experimento fue harina de maíz (*Zea mays*) nixtamalizada, de la empresa “Molino de Chiles y Harinas Metate Otomí”, que se ubica en la ciudad de Huichapan Hidalgo, propiedad del Sr. Carmen Ariel López Monter productor cooperante. Se realizaron trabajos pilotos en la empresa “Molino de Chiles y Harinas Metate Otomí”, para la obtención de las muestras de harinas las cuales se analizaron posteriormente.

También se realizaron análisis de perfil de textura a la Harina de Maíz Nixtamalizada del Molino Metate Otomí (HMNMMO) (testigo) y a las muestras de Harina de Maíz Nixtamalizada de la Empresa MASECA las cuales fueron: Harina de Maíz Nixtamalizada del Centro (HMNC), Harina de Maíz Nixtamalizada del Sur (HMNS) y Harina de Maíz Nixtamalizada Norteño (HMNN).

### 5.2. Localización del Experimento

La investigación se llevó a cabo en el Laboratorio Multidisciplinario de Tecnología de Alimentos y de Análisis Especiales del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Las pruebas que se realizaron fueron físico-químicos, microbiológicos y de textura.

### 5.3. Especificaciones del Proceso de Nixtamalización de las muestras

El proceso de nixtamalización de las muestras de harina de maíz (*Zea mays*) nixtamalizada de la empresa “Molino de Chiles y Harinas Metate Otomí” analizadas, fue modificado en alguna etapa del proceso como se puede observar en el Cuadro 7, la muestra 1 fue la testigo.

**Cuadro 7.** Especificación del Proceso de Nixtamalización de las muestras de harina de maíz

Especificaciones	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7
Maíz Cocido	10 kg	10 kg	10 kg	10 kg	10 kg	10 kg	10 kg
Agua	28 L	19 L	19 L	19 L	19 L	19 L	19 L
Ca(OH) <sub>2</sub>	150 g	100 g	100 g	100 g	100 g	100 g	100 g
Tiempo de Cocción	50 min	55 min	33 min	65 min	60 min	40 min	60 min
Temperatura de Cocción	83 °C	83 °C	83 °C	83 °C	83 °C	83 °C	83 °C
Reposo	3:30 hrs	2:00 hrs	3:20 hrs	2:05 hrs	2:30 hrs	1:40 hrs	3:00 hrs
Deshidratado	45 min	40 min	45 min	40 min	40 min	40 min	40 min
Harina Fresca Entra	13.72 kg	13.52 kg	13.52 kg	13.82 kg	13.82 kg	13.72 kg	13.80 kg
Harina Deshidratada obtenida	8.47 kg	8.62 kg	8.38 kg	8.36 kg	8.97 kg	8.47 kg	8.00 kg
Temperatura de Deshidratado	61 °C	61 °C	61 °C	61 °C	61 °C	61 °C	61 °C
Molienda	2 Pasadas	2 Pasadas	3 Pasadas	3 Pasadas	2 Pasadas	3 Pasadas	3 Pasadas

En el Cuadro 7 se puede ver que en el proceso de nixtamalización para cada una de las muestra fue modificado, obteniendo harinas con diferentes cantidades de proteína, fibra cruda, grasa, cenizas, humedad, CRA, °Brix y pH., diferentes parámetros reológicos en cuanto a dureza, cohesividad, adhesividad y elasticidad, de igual manera diferentes cantidades de microorganismos hongos y levaduras. Determinando cual es la harina de mejor calidad entre la testigo y las demás muestras analizadas.

#### 5.4. Determinación de Parámetros Fisicoquímicos

##### 5.4.1. Humedad



**Figura 7.** Harina de maíz perdiendo humedad dentro de la estufa

Para la determinación de humedad se colocaron 5 g de harina de maíz nixtamalizada en una charola de aluminio previamente seca y se colocó en la estufa a una temperatura de 100 °C durante un periodo de 24 h, una vez transcurrido el tiempo se pasó la muestra a un desecador para que esta

alcanzara la temperatura ambiente y se registró su peso, se volvieron a colocar las charolas en la estufa por un periodo de 1 h, y se registró el peso final.

#### 5.4.2. Cenizas



**Figura 8.** Quema de la muestra antes de la calcinación en la mufla

Se colocaron 5 g de muestra en un crisol previamente tarado., se procedió a carbonizar la muestra con la ayuda de un mechero y de un triángulo de porcelana, posteriormente se incinero la muestra en la mufla a una temperatura de 525-550 °C, hasta que las muestras se encontraron libres de carbono, se retiraron de la mufla, se dejaron enfriar en el desecador, y se procedió a pesarla.

#### 5.4.3. Concentración de Carbohidratos (°Bx)



**Figura 9.** Digital refractometer PR-101

1 mL de cada muestra fue centrifugado a 9000 rpm durante 3 min (Centrifuga Digital Mini Spin Plus); posteriormente, 200  $\mu$ L de sobrenadante se colocaron en el refractómetro (Digital Refractometer PR-101) obteniéndose la lectura en °Bx. El equipo previamente fue calibrado a cero con agua destilada.

#### 5.4.4. Potencial de Hidrogeno (pH)

Se preparó una solución con 1 g de muestra de harina en 9 mL de agua destilada, se homogenizó utilizando el bortex, posteriormente se realizó la medida con la ayuda del potenciómetro, previamente calibrado.

#### 5.4.5. Grasa



**Figura 10.** Sistema de extracción de grasa Buchi Bul36681

Para esta determinación se utilizó el Soxhlet.

Se pesaron 5 g de muestra libre de humedad y se vació en un cartucho de extracción el cual se tapó con algodón, posteriormente se situó en el extractor, colocando en la parte inferior los vasos Buchii previamente tarados, con un contenido de 80 mL de éter de petróleo, hasta que la muestra queda totalmente libre de grasa la cual fue cuantificada mediante la Ec. 1 donde:

$W_1$  = Peso del vaso con grasa

$W_2$  = Peso del vaso solo

$W$  = Peso de la muestra

$G_c$  = Grasa cruda

$$\%G_c = \left( \frac{W_1 - W_2}{W} \right) * 100 \dots \dots Ec.1$$

#### 5.4.6. Proteína



**Figura 11.** Unidad de destilación Buchii K-350

Preparación de reactivos:

##### Mezcla digestora

Para la mezcla digestora se utilizó sulfato de potasio ( $K_2SO_4$ ), sulfato cúprico pentahidratado ( $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ) y dióxido de selenio ( $SeO_2$ ). Se molió el sulfato cúprico ( $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ) y el sulfato de potasio ( $K_2SO_4$ ) los cuales posteriormente fueron mezclados junto con el dióxido de selenio ( $SeO_2$ ).

##### Rojo de metilo

Fue preparado disolviendo 0.1 g de rojo de metilo en 60 mL de alcohol etílico ( $C_2H_6O$ ) y se aforo a 100 mL con agua destilada.

Una vez preparados los reactivos se procedió a realizar la determinación de proteína la cual se divide en tres etapas:

##### Digestión

Se pesaron 0.5 g de muestra, la cual fue colocada en el tubo Kjeldahl posteriormente se le agregó 5 g de mezcla digestora y 15 mL de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) concentrado. Se colocan los tubos en el equipo y se enciende, una vez que estos toman un color transparente se dejan 30 min. Se enfrían y procede a realizar la destilación.

##### Destilación

En el equipo destilador se colocó el tubo, y un matraz que contenía 50 mL de ácido bórico ( $H_3BO_3$ ) y dos gotas de rojo de metilo. Y se procedió a destilar cada uno de los tubos.

## Titulación

Se tituló el líquido destilado con ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 0.1 N, y se registró la cantidad de ácido una vez que el líquido había tornado de amarillo a rosa, para realizar la cuantificación de proteína mediante la Ec. 2 en donde se utilizó un factor de 6.25 que es el más apto para harinas.

$$\%N = \left[ \frac{(mL \text{ problema} - mL \text{ Blanco})(Normalidad \text{ del ácido sulfúrico})(0.014) \times 100}{Peso \text{ de la muestra}} \right] * 100$$

$$\% \text{ Proteína} = (\%N)(6.25) \dots \dots \dots Ec2$$

### 5.4.7. Capacidad de Retención de Agua (CRA)

La capacidad de retención de agua (CRA) se determinó utilizando el método de Bryant y Hamaker (1997). Se pesaron 0.25 g de muestra y se adicionaron 5 mL de agua desionizada en un tubo de centrifuga previamente pesado. Los tubos se calentaron a temperaturas de 60, 70, 80 y 90 °C durante 15 min con agitación cada 5min. Posteriormente los tubos se centrifugaron (1000 x g durante 15 min) y se separó el sobrenadante inclinando los tubos durante 10 min a 45 °C. Los tubos se pesaron y el aumento en peso se utilizó para calcular la CRA en porcentaje.

### 5.4.8. Fibra Cruda



**Figura 12.** Determinador de fibra Labconco Lac300001-00

Se pesó 1 g de muestra en matraces, se les añadieron 50 ml de buffer de fosfatos pH 6, se le agregó 0.10 mL de alfa amilasa a cada tratamiento, se taparon con papel aluminio y se colocaron en un baño de agua a 95 °C por 15 minutos. Posteriormente se enfriaron a temperatura ambiente, se ajustó el pH a 7.5 agregando 10 ml de hidróxido de sodio (NaOH) 0.275 N., enseguida se le agregó 0.10 mL de proteasa, se taparon los matraces y se incubaron en agua a 60 °C por 30 minutos.

Se enfriaron a temperatura ambiente, una vez más se ajustó el pH a 4-4.6 agregando 10 ml de HCL 0.325 M, posteriormente se agregó 0.10 mL de aminoglucosidasa, se cubrieron los matraces e incubaron a 60 °C por 30 minutos. Después se les agregaron 4 volúmenes de etanol al 95% a cada matraz y se dejaron reposar toda una noche.

Se filtró y lavó con 20 mL de etanol al 78%, dos veces con 20 ml al 95% y por ultimo dos veces con 20 mL de acetona.

Se secaron los crisoles en estufa a 100 °C, se enfriaron y se registró su peso.

En seguida se metieron los crisoles en la mufla a 500 °C para la obtención de cenizas, las cuales se enfriaron y pesaron.

Se hicieron los cálculos como se describe a continuación.

$$TDF= (R \text{ muestra} - A \text{ muestra} / SW) \times 100$$

Dónde:

TDF= Fibra dietética total

R= Peso promedio del residuo, en mg.

A= Peso promedio de cenizas, en mg.

SW= Peso promedio de la muestra, en mg.

## 5.5. Pruebas texturales para las masas

Las mediciones de las variables de estudio se llevaron a cabo en el texturómetro TXTA2, con una geometría de cilindro de 2 pulgadas, realizando

pruebas de: extensibilidad y adhesividad de Hosseney. Las condiciones de las pruebas fueron velocidad de prueba, velocidad de retirada, fuerza, tiempo y distancia. Las variables de estudio fueron: Análisis de perfil de Textura (APT) incluyendo elasticidad, firmeza, cohesividad, adhesividad

#### 5.5.1. Prueba de adhesividad



**Figura 13.** Texturometro TTA2

Para efectuar la prueba se utilizara un accesorio cilíndrico de 2 in (5.08 cm) de diámetro, una base y tapa con perforación cilíndrica de 5 in (12.7 cm).

Procedimiento.

Se colocó en la base de acrílico una cantidad de masa suficiente (250-500 g) para cubrir el volumen de la perforación de la tapa, esta se coloca y se elimina la masa que rebase los límites de la base, posteriormente se realizó la prueba de compresión con un cilindro de acrílico con 2 in (5.08 cm) de diámetro.

Para obtener los cálculos correspondientes se analizó la curva de fuerza vs distancia o fuerza vs tiempo (Texture Technologies, 2002). Durante el proceso de compresión y retirada, se obtiene la curva de fuerza en función de la distancia o tiempo. La forma de la curva depende de las propiedades cohesivas y adhesivas del material.

Se pueden extraer varios parámetros que a continuación se mencionan (Texture Technologies, 2002):

- Fuerza adhesiva: Pico de fuerza máxima.



- Resistencia adhesiva inicial de la curva durante la retirada de dispositivo.
- Área de trabajo adhesivo: Área bajo la curva del inicio de retirada de dispositivo.
- Área de trabajo cohesivo: Área bajo la curva después de la retirada pico máximo (curva fuerza-tiempo).
- Estiramiento del producto: Distancia desde el inicio de la retirada del dispositivo hasta que la fuerza cae a un valor constante o hasta cero.

También pueden extraerse parámetros secundarios como la relación de áreas adhesivo/cohesivas o viceversa: la relación entre la fuerza adhesiva y el estiramiento o viceversa: la relación entre la fuerza adhesiva y el estiramiento o viceversa, que puede ser una medida de untabilidad del producto. Un producto altamente cohesivo se mantiene unido y el material se romperá cerca de la base o de la superficie de la muestra. Un poco pobre en cohesión, se deformara tomando la forma de un reloj de arena si su adhesividad es mayor que su cohesividad. La ruptura en un producto con pobre cohesión ocurrirá en el centro del “reloj de arena” y el material adhesivo se quedara pegado tanto en la base como en el dispositivo.

#### 5.5.2. Determinación de Parámetros Microbiológicos

El recuento de hongos y levaduras se llevaron a cabo utilizando las técnicas 926.86 de la AOAC (1990).

##### Preparación y Dilución de la Muestra

##### Solución Stock

Para la preparación de esta solución, se disolvieron 34 g de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  en 500 ml de agua destilada, ajustando el pH a 7.2 con NaOH 1 N, cuando se logró estabilizar, se aforo a 1 L y se esterilizó.

##### Solución de Trabajo

Se tomaron .125 ml de solución stock y se aforó a 100 ml con agua destilada y se distribuyó en 3 porciones de 9 ml y se esterizaron.

## Procedimiento

Se pesó 1 g de muestra (harina) obteniéndola de diferentes zonas de la bolsa y se agregó a la solución de trabajo, esta fue la primera dilución  $10^{-1}$ .

Para la segunda dilución  $10^{-2}$ , se tomó 1ml de la primera dilución  $10^{-1}$  que se agregó a 9ml de solución de trabajo y así la tercera dilución  $10^{-3}$ .

Los equipos y materiales utilizados para la realización de estas pruebas fueron:

- Autoclave, con termómetro o manómetro.
- Balanza Analítica.
- Utensilios estériles para la preparación de las muestras, como: cuchillos, pinzas, tijeras, espátulas, etc.
- Tubos de ensaye 6x150 mm conteniendo 9 ml de solución buffer diluyente.
- Frascos de boca angosta con tapón de rosca conteniendo 90 ml de solución buffer diluyente, en ambos casos (tubos y frascos)  $\pm 1\%$  del volumen señalado después de la esterilización.
- Pipetas bacteriológicas estériles de 10 ml y 1 ml.
- Cajas de petri.
- Tubos de cultivo de 22 x 175 mm.
- Tubos de cultivo de 13 x 100 mm.
- Asa de platino o nicromel.
- Campanas Durham.

## Cuenta de Hongos y Levaduras

El agar utilizado para realizar esta prueba fue: Agar papa dextrosa.

### Procedimiento.

- Las cajas estériles se distribuyeron en la mesa de trabajo de manera que su inoculación, la adición de los medios de cultivo y su rotación, se pudieran realizar cómoda y libremente. Se marcaron las cajas en sus tapas con los datos pertinentes previo a su inoculación.

- La muestra fue preparada y diluida tres veces en el buffer (solución de trabajo).
- Se transfirió 1 ml de muestra y de cada una de sus diluciones a cajas petri estériles por triplicado evitando todo tipo de contaminación durante la maniobra y aplicando la punta de la pipeta al fondo de la caja mientras escurre el líquido.
- Fue agregado de 12 a 15 ml de medio de cultivo fundido (45-48 °C) a las cajas petri donde se encuentra la muestra diluida. Se mezcló con la muestra (6 movimientos de derecha a izquierda, 6 en el sentido de las manecillas del reloj, 6 en sentido contrario y 6 de atrás hacia adelante) sobre una superficie lisa y horizontal, cuidando que el medio de cultivo no mojara la cubierta de la caja. Se dejó solidificar.
- La incubación de las cajas fue en posición invertida (la tapa hacia abajo) a una temperatura de 35-40 °C, durante 48-72 hrs.
- Las placas fueron revisadas a las 72 hrs. y se realizó el conteo de las colonias de hongos encontradas.

## VI RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la obtención de la harina en cada una de las muestras fue modificado el proceso de nixtamalización en alguna etapa, la cantidad de agua con la que se coció, la cantidad de  $(Ca(OH)_2)$  agregada, el tiempo de cocción, el tiempo de reposo, las moliendas realizadas a cada una de las muestras y el tiempo de secado de la masa para obtener la harina final (ver Cuadro 8).

**Cuadro 8.** Composición físico-química de la muestra 1

Componentes	Media (%)
Proteína	7.66
Fibra Cruda	0.95
Grasa	2.53
Cenizas	1.35
Humedad	6.06
CRA	1.70
°Brix	0.37

En el Cuadro 8 se presentan los resultados del análisis fisicoquímico del tratamiento uno de la Harina de Maíz Nixtamalizada, el contenido de proteína obtenida fue de 7.66% y de grasa de 2.53%, estos datos son diferentes a los reportados por Flores-Farias *et al* (2002) debido a que en una investigación realizada en tres marcas comerciales de harina de maíz de México se obtuvieron valores de proteína del 9.20% al 10.49%; de grasa del 3.9% al 5.1%.

Bressani *et al* (2001) reportan valores similares en muestras de harinas nixtamalizadas adquiridas de un supermercado en Guatemala pero con valores menores de proteína que los resultados obtenidos en comparación del tratamiento uno de la harina de Molino Otomí, estos autores presentaron valores en proteína de 6.68% al 8.11%, en cuanto a grasa obtuvieron valores de 2.16% al 3.83%. La fibra cruda reportada fue de 0.95% estando por debajo de lo reportado por Flores-Farias *et al* (2002).

Del contenido de cenizas se obtuvo el 1.35%, igual a los resultados de Flores-Farias *et al* (2002) en la muestra analizada de MASECA y mayor que la de MINSa con 1.23%. Se puede observar también que el porcentaje de humedad

fue de 6.06%, siendo diferentes los resultados de Flores-Farias *et al* (2002), debido a que la humedad que reporta es de 9.4% al 11.7%, sin embargo, Bello *et al* (2002), en su investigación obtuvo resultados de humedad de 6.7%, similares a los del tratamiento uno.

La Norma Oficial Mexicana NMX-F-046-S-1980 establece la composición físico-química con la que debe cumplir la Harina de Maíz Nixtamalizada como se puede ver en el Cuadro 7, tiene que presentar un mínimo de 8% de proteína y 4% de grasa, siendo menor la cantidad obtenida en el tratamiento uno, lo cual indica que esta muestra no cumple con lo establecido por dicha norma en estos parámetros.

**Cuadro 9.** Composición físico-química de la muestra 2

<b>Componentes</b>	<b>Media (%)</b>
Proteína	7.69
Fibra Cruda	0.87
Grasa	1.88
Cenizas	1.33
Humedad	6.81
CRA	1.59
°Brix	0.37

En el Cuadro 9 se muestran los resultados del análisis físicoquímico del tratamiento dos, el contenido de proteína obtenida fue de 7.69% y de grasa de 1.88%, estos datos son diferentes a los reportados por Flores-Farias *et al* (2002); presentaron valores de proteína del 9.20% al 10.49%; de grasa del 3.9% al 5.1%, Bressani *et al* (2001), encontraron valores similares en proteína de 6.68% al 8.11%, en cuanto a grasa los valores son del 2.16% al 3.83%. La fibra cruda reportada fue de 0.87%, menor a la presentada por Flores-Farias *et al* (2002).

El contenido de cenizas de 1.33%, es similar a los resultados de Flores-Farias *et al* (2002) en la muestra analizada de MASECA y mayor que la de MINSA con 1.23%. Se puede ver también que el porcentaje de humedad fue de 6.81%, siendo diferentes los resultados de Flores-Farias *et al* (2002), debido a que la humedad que reportan es de 9.4% al 11.7%, sin embargo, Bello *et al* (2002), en su investigación obtuvo resultados de humedad de 6.7%, menor a los del tratamiento dos.

La Norma Oficial Mexicana NMX-F-046-S-1980 establece la composición físico-química con la que debe cumplir la Harina de Maíz Nixtamalizada como se puede ver en el Cuadro 7, tiene que presentar un mínimo de 8% de proteína y 4% de grasa, siendo menor la cantidad obtenida en el tratamiento dos, lo cual nos indica que esta muestra no cumple con lo establecido por dicha norma en estos parámetros.

**Cuadro 10.** Composición físico-química de la muestra 3

<b>Componentes</b>	<b>Media (%)</b>
Proteína	7.45
Fibra Cruda	0.75
Grasa	2.84
Cenizas	1.34
Humedad	7.47
CRA	1.65
°Brix	0.23

El Cuadro 10 presenta los resultados del análisis físicoquímico del tratamiento tres de la Harina de Maíz Nixtamalizada, el contenido de proteína reportada fue de 7.45% y de grasa de 2.84%, estos datos son diferentes a los reportados por Flores-Farias *et al* (2002), obtuvieron valores de proteína del 9.20% al 10.49%; de grasa del 3.9% al 5.1%, Bressani *et al* (2001) reportan valores similares en proteína de 6.68% al 8.11%, de grasa de 2.16% al 3.83%. La fibra cruda reportada fue de 0.75% estando por debajo de lo reportado por Flores-Farias *et al* (2002).

Del contenido de cenizas fue de 1.34%, similar a los resultados de Flores-Farias *et al* (2002) en la muestra analizada de MASECA y mayor que la de MINSA con 1.23%. También el porcentaje de humedad fue de 7.47%, siendo diferentes los resultados de Flores-Farias *et al* (2002) que reporta una humedad de 9.4% al 11.7%, sin embargo, Bello *et al* (2002), en su investigación alcanzó resultados de humedad de 6.7%, menores a los del tratamiento tres.

La Norma Oficial Mexicana NMX-F-046-S-1980 establece la composición físico-química con la que debe cumplir la Harina de Maíz Nixtamalizada como se puede ver en el Cuadro 7, tiene que presentar un mínimo de 8% de proteína y 4% de grasa, siendo menor la cantidad obtenida en el tratamiento tres, lo cual

indica que esta muestra no cumple con lo establecido por dicha norma en estos parámetros.

**Cuadro 11.** Composición físico-química de la muestra 4

<b>Componentes</b>	<b>Media (%)</b>
Proteína	8.19
Fibra Cruda	0.59
Grasa	2.32
Cenizas	1.35
Humedad	7.78
CRA	1.65
°Brix	0.30

En el Cuadro 11 se muestran los resultados del análisis fisicoquímico del tratamiento cuatro de la Harina de Maíz Nixtamalizada, el contenido de proteína es de 8.19% y de grasa de 2.32%, estos datos difieren a los alcanzados por Flores-Farias *et al* (2002), los autores reportan valores de proteína del 9.20% al 10.49%; de grasa del 3.9% al 5.1%. Bressani *et al* (2001) consiguieron valores menores de proteína de 6.68% al 8.11% y en cuanto a grasa lograron valores de 2.16% al 3.83%. La fibra cruda reportada fue de 0.59%, siendo menor a lo reportado por Flores-Farias *et al* (2002).

De cenizas fue 1.35%, similar a los resultados de Flores-Farias *et al* (2002) en la muestra analizada de MASECA y mayor que la de MINSA con 1.23%. Se puede ver que el porcentaje de humedad fue de 7.78%, siendo diferentes los resultados de Flores-Farias *et al* (2002), debido a que la humedad que reporta es de 9.4% al 11.7%, sin embargo, Bello *et al* (2002), muestran resultados de humedad de 6.7%, menores a los del tratamiento cuatro.

La Norma Oficial Mexicana NMX-F-046-S-1980 establece la composición físico-química con la que debe cumplir la Harina de Maíz Nixtamalizada según el Cuadro 7, tiene que presentar un mínimo de 4% de grasa, siendo menor la cantidad obtenida en el tratamiento cuatro, lo cual indica que esta muestra no cumple con lo establecido por dicha norma en este parámetro.

**Cuadro 12.** Composición físico-química de la muestra 5

<b>Componentes</b>	<b>Media (%)</b>
Proteína	7.67
Fibra Cruda	0.75
Grasa	2.93
Cenizas	1.44
Humedad	4.64
CRA	1.82
°Brix	0.30

Se presentan los resultados, en el Cuadro 12, del análisis físicoquímico del tratamiento cinco de la Harina de Maíz Nixtamalizada, el contenido de proteína fue de 7.67% y de grasa de 2.93%, estos datos son diferentes a los reportados por Flores-Farias *et al* (2002) debido a que obtuvieron valores de proteína del 9.20% al 10.49%; de grasa del 3.9% al 5.1%. Bressani *et al* (2001) reportan valores similares en proteína de 6.68% al 8.11%, en cuanto a grasa lograron obtener 2.16% al 3.83%. La fibra cruda reportada fue de 0.75% menor a la alcanzada por Flores-Farias *et al* (2002).

El contenido de cenizas de 1.44% es similar a los resultados de Flores-Farias *et al* (2002) en la muestra analizada de Agroinsa y mayor que la de MINSa con 1.23%. El porcentaje de humedad fue de 4.64%, siendo diferentes los resultados de Flores-Farias *et al* (2002), debido a que la humedad que reporta es de 9.4% al 11.7%, sin embargo, Bello *et al* (2002), en su investigación obtuvo resultados de humedad de 6.7%, mayores a los del tratamiento cinco.

La Norma Oficial Mexicana NMX-F-046-S-1980 establece la composición físico-química con la que debe cumplir la Harina de Maíz Nixtamalizada, en el Cuadro 7, se observa que tiene que presentar un mínimo de 8% de proteína y 4% de grasa, siendo menor la cantidad que en el tratamiento cinco, lo cual indica que esta muestra no cumple con lo establecido por dicha norma en estos parámetros.



**Cuadro 13.** Composición físico-química de la muestra 6

<b>Componentes</b>	<b>Media (%)</b>
Proteína	7.74
Fibra Cruda	0.57
Grasa	3.08
Cenizas	1.46
Humedad	7.96
CRA	1.59
°Brix	0.33

En el Cuadro 13 se indican los resultados del análisis físicoquímico del tratamiento seis de la Harina de Maíz Nixtamalizada, el contenido de proteína reportada fue de 7.74% y de grasa de 3.08%, estos datos son diferentes a los mostrados por Flores-Farias *et al* (2002) puesto que obtuvieron valores de proteína del 9.20% al 10.49%; de grasa del 3.9% al 5.1%. Bressani *et al* (2001) reportan valores similares en proteína de 6.68% al 8.11%, en cuanto a grasa obtuvieron valores de 2.16% al 3.83%. La fibra cruda fue de 0.57% siendo menor a lo reportado por Flores-Farias *et al* (2002).

El contenido de cenizas fue de 1.46%, mayor a los resultados de Flores-Farias *et al* (2002) en la muestra analizada de Agroinsa con 1.4% y a la de MINSa con 1.23%. Se puede ver también que el porcentaje de humedad fue de 7.96%, siendo diferentes los resultados de Flores-Farias *et al* (2002), debido a que la humedad que reporta es de 9.4% al 11.7%, sin embargo, Bello *et al* (2002), en su investigación obtuvo resultados de humedad de 6.7%, menor a los del tratamiento seis.

La Norma Oficial Mexicana NMX-F-046-S-1980 establece la composición físico-química con la que debe cumplir la Harina de Maíz Nixtamalizada según el Cuadro 7 tiene que presentar un mínimo de 8% de proteína y 4% de grasa, siendo menor la cantidad obtenida en el tratamiento seis, lo cual indica que esta muestra no cumple con lo establecido por dicha norma en estos parámetros.

**Cuadro 14.** Composición físico-química de la muestra 7

<b>Componentes</b>	<b>Media (%)</b>
Proteína	7.88
Fibra Cruda	0.70
Grasa	3.08
Cenizas	1.35
Humedad	8.36
CRA	1.61
°Brix	0.27

En el Cuadro 14 se presentan los resultados del análisis físico-químico del tratamiento siete de la Harina de Maíz Nixtamalizada, el contenido de proteína fue de 7.88% y de grasa de 3.08%, estos datos son diferentes a los reportados por Flores-Farias *et al* (2002) debido a que los valores de proteína del 9.20% al 10.49%; de grasa del 3.9% al 5.1%. Bressani *et al* (2001) reportan valores similares en proteína de 6.68% al 8.11%, en cuanto a grasa obtuvieron valores de 2.16% al 3.83%. La fibra cruda reportada fue de 0.70% estando por debajo de lo reportado por Flores-Farias *et al* (2002).

El contenido de cenizas es de 1.35%, igual a los resultados de Flores-Farias *et al* (2002) en la muestra analizada de MASECA y mayor que la de MINSA con 1.23%. El porcentaje de humedad fue de 8.36%, siendo diferentes los resultados de Flores-Farias *et al* (2002), debido a que la humedad que reporta es de 9.4% al 11.7%, sin embargo, Bello *et al* (2002), en su investigación obtuvo resultados de humedad de 6.7%, menores a los del tratamiento siete.

La Norma Oficial Mexicana NMX-F-046-S-1980 establece la composición físico-química con la que debe cumplir la Harina de Maíz Nixtamalizada, en el Cuadro 7 establece que el mínimo es de 8% de proteína y 4% de grasa, siendo menor la cantidad obtenida en el tratamiento siete, lo cual indica que esta muestra no cumple con lo establecido por dicha norma en estos parámetros.

**Cuadro 15.** Valores de pH en las muestras de Harina

<b>Muestras</b>	<b>Promedio de pH</b>
1	7.2
2	7.46
3	7.61
4	7.54
5	7.43
6	7.42
7	7.57

En el Cuadro 15 se presentan los valores de pH de todas las muestras analizadas, como se puede observar todos los valores de pH son similares encontrándose en un rango neutral, lo cual indica que no son acidas, ni alcalinas. La muestra 1 presento un valor de pH de 7.2, siendo menor que todos los demás y la muestra que presento un pH mayor fue la muestra 3 con un valor de 7.61., estos datos son diferentes a los reportados por Flores-Farias *et al* (2002) debido a que en una investigación realizada en tres marcas comerciales de harina de maíz de México se obtuvieron valores de 6.1 a 7.1.

### 6.1. Análisis Microbiológicos

En este apartado se muestran los resultados obtenidos de los análisis microbiológicos realizados a las diferentes muestras de harina de maíz nixtamalizada.

#### 6.1.2. Muestra Testigo y Muestra 2

La muestra testigo de Harina de Maíz Nixtamalizada fue tomada de una bolsa de 2 kg, al azar de un lote preparado para la venta al público.

En el Cuadro 16 se muestra el análisis microbiológico proximal de las harinas de maíz Nixtamalizadas analizadas.

**Cuadro 16.** Composición microbiológica de la Muestra Testigo y la Muestra 1

<b>Muestra Testigo</b>	<b>Muestra 2</b>
Hongos y Levaduras (Log UFC/g)	Hongos y Levaduras (Log UFC/g)
3,000	4,000

El recuento de hongos y levaduras de la muestra testigo y la muestra 2 analizadas se encontraron fuera de los parámetros establecidos por la Norma Oficial Mexicana NMX-F-046-S-1980, la cual indica que el producto no debe contener microorganismos patógenos, ni más de 1000 UFC/g de hongos (ver Cuadro 6 y 16).

### 6.1.3. Muestra 3 a la 7

Estas muestras presentaron mayor cantidad de microorganismos (hongos y levaduras) que la muestra testigo y la muestra 2, lo cual indica que también se encuentran fuera de los parámetros establecidos.

## 6.2 Perfil de Textura en Harina de Maíz Nixtamalizada

### 6.2.1 Análisis de perfil (APT) de Textura a diferentes muestras de Harina de Maíz Nixtamalizada del Molino Metate Otomí.

En el Cuadro 17 se presenta la dureza obtenida del APT de las masas elaboradas con diferentes muestras de Harina de Maíz Nixtamalizada del Molino Metate Otomí, entendiendo como dureza a la fuerza necesaria para lograr una deformación determinada, Hansen *et al* (1990).

**Cuadro 17.** Dureza en Harina de Maíz Nixtamalizada de Metate Otomí

<b>Muestra</b>	<b>Dureza (Kgf)</b>
M2	0.709±0.012 <sup>a</sup>
M4	0.619±0.018 <sup>a</sup>
M7	0.418±0.003 <sup>b</sup>
M5	0.288±0.023 <sup>c</sup>
M3	0.274±0.065 <sup>c</sup>
M6	0.238±0.003 <sup>dc</sup>
M1 (Testigo)	0.130±0.008 <sup>d</sup>

El superíndice que aparece en los valores, indica la diferencia significativa según la ANOVA (prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ))

En el Cuadro 17 la muestra 6 con 0.238 Kgf es la más parecida al testigo la cual tuvo 0.130 Kgf, no habiendo una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre estas, también se puede observar que las muestras más lejanas del testigo fueron la muestra 4 y la muestra 2 con 0.619 y 0.709 Kgf respectivamente, teniendo una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) con el testigo.

El almidón retrogradado es la razón más importante que provoca la pérdida de textura, generando principalmente el endurecimiento Román (2006). El testigo presento menor dureza que todas las demás muestras (ver Cuadro 17).

La adhesividad de las masas se entiende como el trabajo necesario para vencer la fuerza de atracción entre el espécimen y una superficie, además se puede interpretar también como la pegajosidad de estas (Flores, 2008).

**Cuadro 18.** Adhesividad en Harina de Maíz Nixtamalizada de Metate Otomí

<b>Muestra</b>	<b>Adhesividad (cm<sup>2</sup>) (-)</b>
M1 (Testigo)	337.3±1.336 <sup>a</sup>
M4	519.1±116.347 <sup>a</sup>
M7	603.1±55.550 <sup>ba</sup>
M2	761.2±292.382 <sup>ba</sup>
M5	1167.7±195.522 <sup>b</sup>
M6	1887.2±156.801 <sup>c</sup>
M3	4211.9±124.967 <sup>d</sup>

El superíndice que aparece en los valores, indica la diferencia significativa según la ANOVA (prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ))

En el Cuadro 18 se observa que la muestra testigo tuvo una adhesividad de 337.3 cm<sup>2</sup>, no teniendo diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) con la muestra 4 con 519.1 cm<sup>2</sup>, puesto que es la más parecida, la muestra 6 y 3 presentaron valores mayores que los del testigo siendo de 1887.2 cm<sup>2</sup> y 4211.9 cm<sup>2</sup>, teniendo una gran diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

La adhesividad de la masa está influenciada por la capacidad de absorción de agua (CAA) de las harinas. Una masa muy seca presenta una adhesividad muy baja Rivelino (1997). La muestra tres presento una mayor adhesividad que el testigo y todas las demás muestras, su tiempo de cocción durante la nixtamalización fue menor que todas las demás (ver Cuadro 7).

La cohesividad es la propiedad que tienen las masas para deformarse antes de que se rompan Hansen *et al* (1990).

**Cuadro 19.** Cohesividad en Harina de Maíz Nixtamalizada de Metate Otomí

<b>Muestra</b>	<b>Cohesividad</b>
M1 (Testigo)	0.845±0.019 <sup>a</sup>
M7	0.595±0.052 <sup>b</sup>
M2	0.585±0.096 <sup>b</sup>
M5	0.570±0.017 <sup>b</sup>
M6	0.560±0.044 <sup>cb</sup>
M4	0.485±0.081 <sup>cb</sup>
M3	0.330±0.015 <sup>c</sup>

El superíndice que aparece en los valores, indica la diferencia significativa según la ANOVA (prueba de Tukey (p<0.05))

Como se puede ver en el Cuadro 19, la muestra testigo presentó diferencias significativas de cohesividad con todas las demás muestras (p<0.05), teniendo un valor de 0.845., también se puede observar que la muestra 3 fue la que presentó más diferencias significativas (p<0.05) que las demás con un valor de 0.330.

La capacidad de absorción de agua (CAA) de las harinas influye en la cohesividad de la masa. Una masa muy seca presentará una cohesividad mayor, por ello es necesario que la masa tenga la cantidad de agua óptima para que la cohesividad refleje las características de una masa adecuadamente condicionada Rivelino (1997). El testigo presentó una mayor cohesividad que la muestra 3, debido que en el proceso de la nixtamalización el tiempo de cocción fue mayor (ver Cuadro 7), la muestra 3 fue la que presenta la menor cohesividad en comparación con las demás muestras.

La elasticidad es la habilidad de un material deformado a regresar a su forma original después de retirarle la fuerza que originó su deformación Hansen *et al* (1990).

**Cuadro 20.** Elasticidad en Harina de Maíz Nixtamalizada de Metate Otomí

<b>Muestra</b>	<b>Elasticidad</b>
M6	0.945±0.062 <sup>a</sup>
M1 (Testigo)	0.925±0.019 <sup>a</sup>
M5	0.915±0.089 <sup>a</sup>
M2	0.905±0.054 <sup>a</sup>
M4	0.760±0.041 <sup>ba</sup>
M7	0.600±0.058 <sup>ba</sup>
M3	0.380±0.243 <sup>b</sup>

El superíndice que aparece en los valores, indica la diferencia significativa según la ANOVA (prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ))

En el Cuadro 20 se observa que el testigo presento un valor de 0.925 mm, no presentando diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) con las muestras 6, 5 y 2 con valores de 0.945 mm, 0.915 mm y 0.905 mm., la muestra 3 presento una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) con respecto al testigo, con un valor de 0.380 mm.

La harina de maíz rehidratada es menos elástica que la masa fresca por el proceso adicional de secado y de molienda llevado a cabo, los cuales producen un daño mecánico, gelatinización y retrogradación del almidón en las fracciones de partículas de tamaño más pequeñas Román (2006). La muestra 6 presento mayor elasticidad que el testigo debido que el tiempo de cocción fue menor (ver Cuadro 7).

Análisis de perfil (APT) de Textura a la Harina de Maíz Nixtamalizada del Molino Metate Otomí y de la Harina de Maíz Nixtamalizada de la Empresa MASECA.

En este apartado se realizaron análisis de perfil de textura a la Harina de Maíz Nixtamalizada del Molino Metate Otomí (HMNMMO) (testigo) y a las muestras de Harina de Maíz Nixtamalizada de la Empresa MASECA las cuales fueron: Harina de Maíz Nixtamalizada del Centro (HMNC), Harina de Maíz Nixtamalizada del Sur (HMNS) y Harina de Maíz Nixtamalizada Norteño (HMNN).

**Cuadro 21.** Dureza en Harina de Maíz Nixtamalizada

<b>Muestra</b>	<b>Dureza (Kgf)</b>
HMNC	0.396±0.008 <sup>a</sup>
HMNN	0.159±0.006 <sup>b</sup>
HMNMMO (Testigo)	0.102±0.010 <sup>c</sup>
HMNS	0.063±0.001 <sup>d</sup>

El superíndice que aparece en los valores, indica la diferencia significativa según la ANOVA (prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ))

**Cuadro 22.** Adhesividad en Harina de Maíz Nixtamalizada

<b>Muestra</b>	<b>Adhesividad (cm<sup>2</sup>) (-)</b>
HMNN	4256.85±8.132 <sup>a</sup>
HMNC	1780.80±65.153 <sup>b</sup>
HMNMMO (Testigo)	398.11±0.495 <sup>c</sup>
HMNS	219.60±1.527 <sup>d</sup>

El superíndice que aparece en los valores, indica la diferencia significativa según la ANOVA (prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ))

En los Cuadros 21 y 22 se presentan los resultados obtenidos de dureza y adhesividad mediante el ATP en las Harinas de Maíz Nixtamalizadas analizadas, se observa que existieron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), puesto que todas la muestras tuvieron comportamientos diferentes al testigo, tanto en dureza como en adhesividad.

La muestra HMNC presento una dureza de 0.396 Kgf, mayor al testigo la cual tuvo un valor de 0.102 Kgf, la muestra HMNS fue la que presento el menor valor con 0.063 Kgf como se puede ver en el Cuadro 22, también se puede observar que la muestra HMNN presento una adhesividad de 4256.85 cm<sup>2</sup> y la HMNC de 1780.80 cm<sup>2</sup>, valores mayores a la harina testigo con 398.11 cm<sup>2</sup>, presentando una gran diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre estas.

**Cuadro 23.** Cohesividad en Harina de Maíz Nixtamalizada

<b>Muestra</b>	<b>Cohesividad</b>
HMNMMO (Testigo)	0.835±0.037 <sup>a</sup>
HMNS	0.800±0.026 <sup>ba</sup>
HMNC	0.710±0.026 <sup>bc</sup>
HMNN	0.645±0.023 <sup>c</sup>

El superíndice que aparece en los valores, indica la diferencia significativa según la ANOVA (prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ))

Como se puede ver en el Cuadro 23, la muestra testigo presento una cohesividad de 0.835, no habiendo diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) con la muestra HMNS con valor de 0.800., las muestras HMNC y HMNN con valores



de 0.710 y 0.645 respectivamente, presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) con respecto al testigo,

La harina de maíz nixtamalizada forma una masa con propiedades cohesivas; este tipo de masa alcanza su máxima cohesividad cuando los espacios entre las partículas se llenan de agua Rodríguez *et al* (2005). El testigo presentó mayor cohesividad que todas las demás muestras (ver Cuadro 23).

**Cuadro 24.** Elasticidad en Harina de Maíz Nixtamalizada

<b>Muestra</b>	<b>Elasticidad</b>
HMNS	0.965±0.217 <sup>a</sup>
HMNN	0.950±0.031 <sup>a</sup>
HMNMMO (Testigo)	0.920±0.042 <sup>a</sup>
HMNC	0.760±0.039 <sup>a</sup>

El superíndice que aparece en los valores, indica la diferencia significativa según la ANOVA (prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ))

Se puede observar en el Cuadro 24 que no hubo diferencias significativa ( $p < 0.05$ ) entre el testigo con valor de 0.920 mm y todas las demás muestras, las cuales presentaron valores de 0.965 mm la muestra HMNS, 0.950 la muestra HMNN y 0.760 mm la muestra HMNC.

Altas concentraciones de almidón y bajas concentraciones de grasa, son responsables del rápido incremento en el endurecimiento, lo cual provoca una menor elasticidad Román (2006). La HMNS presentó mayor elasticidad que todas las demás muestras (ver Cuadro 24).

## VII CONCLUSIONES

El proceso de nixtamalización en la Empresa Metate Otomí, se realiza correctamente como un proceso tradicional, en las operaciones de cocimiento, lavado, molido y obtención de la harina se debe de controlar la temperatura de debido a que en estas etapas se pierden características físico-químicas y reológicas que le confieren propiedades a la masa para la elaboración de tamales.

La presencia de hongos y levaduras en las harinas de maíz nixtamalizadas se debió a que las buenas prácticas de manufactura no se realizan correctamente, ocasionando una contaminación en el producto ya terminado.

Los parámetros reológicos entre muestras de harina de la empresa Metate Otomí fueron diferentes al testigo por las etapas que se modificaron durante el proceso de nixtamalización y obtención de la harina.

Las propiedades reológicas de las harinas analizadas en comparación con el testigo fueron diferentes debido a que la preparación de la masa ya terminada varía entre harinas, porque la forma en que se preparan las harinas de maíz nixtamalizadas de la empresa MASECA y la muestra testigo de la empresa Metate Otomí son diferentes.

## VIII BIBLIOGRAFIA

1. Bedolla S., Rooney L. W. 1982. Cooking maize for masa production. *Cereal Foods World*. pp 214.
2. Bello Pérez L. A., Osorio D. P., Agama A. E., Núñez S. C., Paredes L. O. 2002. Propiedades Químicas, Fisicoquímicas y Reológicas de Masas y Harinas de Maíz Nixtamalizado. Artículo en *Agrociencia*. 36:319-328.
3. Berner, L. A., McBean, L. D., Lofgren P. A. 1990. Calcium and Chronic Disease Prevention: Challenges to the Food Industry. *Food Techno.* 44(3):50-69.
4. Bressani R., Breuner M., Ortiz M. A. 1989. Contenido de Fibra Ácido y Neutrodetergente y de Minerales Menores en Maíz y su Tortilla. *Arch. Latinoam. Nutr.* 39:382-391.
5. Brouillard, R. 1982. Chemical Structure of Anthocyanins. Anthocyanins as Foods Colors. (P. Markakis) ed. *Academic Press*. pp. 1-38.
6. Boyer, C. D. and Shannon, J. C. 1988. Carbohydrates of the Kernel, Corn and technology. Published by the American Association of Cereal Chemists, Inc. ST. Paul, Minesota, USA. Pp. 253-272.
7. Burge R. M., Duensing W. J. 1989. Processing and dietary fiber ingredient applications of corn bran. *Cereal Foods World* 34: 535-538.
8. Bustillos, E. P. 1997. Cuantificación y Elucidación Estructural de Compuestos Pigmentados Presentes en Maíces Criollos Azul y Rojo. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Chihuahua. México. pp. 101.
9. Caldwell, E. E. O., and P. A. Peterson. 1992. HPLC Identification of Anhocyanins in Maize Endosperm. *Maize Genetics Coopertiva New Letters*, 66:2.

10. Cámara de Diputados. H. Congreso de la Unión. Centro de Estudios de las Finanzas Públicas. México: El Mercado del Maíz y la Agroindustria de la Tortilla. Palacio Legislativo de San Lázaro, Febrero 2007.
11. Carter, M. L., and Whittings, S. J. 1997. Effect of Calcium Supplementation is Greater in Prepubertal Girls With Low Calcium Intake. *Nutr. Rev.* 55:371-373.
12. Christianson, D. D., Wall, J. S., Dimler, R. J., Boorh, A. N. 1968. Nutritionally Available Niacini, in Corn. Isolation and Biological Activity. *J. Agric. Food Chem.*, 16:100-104.
13. Coe, E. H. 1955. Anthocyanin Síntesis in Maite, the Interaction of A2 and Prin Leucoanthocyanin Accumulation. *Genetics.* 40:568.
14. Dickerson, G.W., and Holocomb, G.B. 1992. A Small-scale Agriculture Alternative: Specialty Corns. USDA Cooperative State Research Service.
15. Dickerson, G. W. 1996. Nutritional Analysis of New Mexico Blue Corn and Dent Corn Kernels, Extension Horticulture Specialist. Internet.
16. Dougall, D. K., Baker, D. C., Gakh, E., Redus, M. 1997. Biosynthesis and Stability of Monoacylated Anthocyanins. *Food Technology* 15(11):69-71.
17. Earle F. R., Curtis J. J., Hubbard J. E. 1946. *Cereal chemistry*, vol. 23, pp. 504.
18. Faragher, J. D. 1983. Temperatura Regulation of Anthocyanin accumulation. *Journal of Experimental Botany.* pp. 34, 1291-1298.
19. Fleury, A., Pons, Y., Roncin, F., and Buré, J. 1979. *Cereales*, Gran Larousse Univerrsal. Vol. 9:2621-2622. Plaza & Janes, S.A., USA.
20. Flores F. R. 1997. Caracterización Físico-Química y Reológica de Harinas Comerciales de Maíz (*Zea mays L.*) Nixtamalizado. Tesis Profesional de Licenciatura. Ingeniería Agroindustrial. Universidad Autónoma Chapingo.

21. Flores F. R., Martínez B. F., Salinas M. Y., Ríos E. 2002. Caracterización de Harinas Comerciales de Maíz Nixtamalizado. Colegio de Posgraduados. Texcoco, México. pp. 557-567.
22. Gómez, M. H. 1988. Physicochemical characteristics of fresh masa from alkaline process corn and sorghum y corn dry masa flour. Ph. D. dissertation, Texas A&M University. College Station. pp.105.
23. Gonzales A.U. 1995. El maíz y su conservación. Ed. Trillas. México D.F.
24. Gopalan, C., Rao, K. S. J. 1975. Pellagra and amino acid imbalance. Vitam. Horm., 33: 505-528.
25. Gross, J. 1987. Pigments in Fruits. Academic Press. pp. 5963.
26. Hambly, R. J., Rumney, C. J., Cunninghame, M., Fletcher, J. M. E., Rijken, P.J., and Rowland, I. R. 1997. Influence of Diets Containing High and Low Risk Factors for Colon Cancer on Early Stages of Carcinogenesis in Human Floraassociated (HFA) Rats. Carcinogenesis 18:1535-1539.
27. Hansen L. M., Setter C. S. 1990. Texture evaluation of baked products using descriptive sensory analysis. In dough rheology and baked products texture. Ed. AVI. USA.
28. Harborne J. B., Gabazzi G. 1969. Effect of Pr. and Alleles on Anthocyanin Biosynthesis en Zea Mays L. 8:99-101.
29. Harborne, J. B., and Self, R. 1987. Malonated Cyanidin 3 Glucosides en *Zea mays* and Other Grasses. Phytochemistry. 26(8):2417-2418.
30. Hernández U. 2008. Tortillas de Maíz Pigmentado: digestibilidad del Almidón, Aspectos Fisicoquímicos y Moleculares. Instituto Politécnico Nacional. Yautepec, Morelos México.
31. Hoyer D., Marty S. 2008. Tamales. Editor Gibbs Smith ISBN 1423603192, 9781423603191.

32. Jakson, D. S., and Shandera, J. R. 1995. Corn Wet Milling: Separation Chemistry and Tecnology, *Advances in Food and Nutrition Research*. Vol. 38: 271-297
33. Johnson, D. L., and Jha, M. N. 1993. Blue Corn. In: Janick, J. and Simon J. E. (eds.), *New Crops*. Wiley, New York. p. 228-230.
34. Jugenheimer, R. W. 1988. Maíz, variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semillas. Limusa. México. pp. 841.
35. Kato, T. A., Mapes, C., Mera, L. M., Serretos, J. A., Bye R. A. 2009. Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. pp. 116. México, D.F.
36. Kent N. L. 1987. *Tecnología de los Cereales. Introducción para Estudiantes de Ciencias de los Alimentos y Agricultura*. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza (España). pp. 200-201.
37. Lapre J. A., and Van D. M. R. 1992. Dietary Modulation of Colon Cancer Risk: The Roles of Fat, Fiebre and Calcium. *Trends Food Sci. Technol.* 3:320-324.
38. Marina T. 2012. Meeting y Exposition of AOAC International-Latin America and Caribbean Section "Food Safety: International Standards and Innovative Analytical Methodologies" Santiago de Chile.
39. Markakis, P. 1982. Stability of Anthocyanins in Foods. En: *Anthocyanins as Foods Colors*. P. Markakis (ed). Academic Press. pp 163-178.
40. Martínez, F. H. 1997. *Estudios Bioquímicos y Nutricionales en Tortillas de Maíz Elaboradas por un Proceso de Extrusión*. Tesis de Doctorado. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Departamento de Biotecnología y Bioingeniería. México, D.F. pp. 7-35.

41. Marrs, K. A., Alfenito M. R., Lloyd, A. M., and Walbot, V. 1995. A Glutathione Stransferase Involved in Vacuolar Transfer Encoded by the Maíze Gene Bronze. *Nature*. 375:397-400.
42. McCarron, D. A., Metz J. A., and Hatton, D. C. 1998. Mineral Intake and Blood Pressure in African Americans. *Am. J. Clin. Nutr.* 68:517-518.
43. McCarron, D. A., Morris, C. D., Henry H. J., and Stanton, J. L. 1984. Blood Pressure and Nutrient Intake in the United States. *Science* 224:1392-1398.
44. Méndez E. 2007. Análisis de Operaciones y Estudio de Tiempo en las Lineas de Producción de Tamales de una Empresa Dedicada a Productos Alimenticios. Tesis Universidad San Carlos Guatemala.
45. Nakatani, N., Fukuda, H., and Fuwa, H. 1979. Major Anthocyanin of Bolivian Purple Corn (*Zae mays L.*). *Agric. Biol. Chem.*, vol. 43(2):389-391.
46. Nordin, B. E. C. 1997. Calcium and Osteoporosis. *Nutrition*, 13:664-686.
47. Osborne, C. G., McTyre, R. B., Dudek, J., Roche, K. E., Scheuplein, R., Silverstein, B., Weinberg, M. S., and Salkeld, A. A. 1996. Evidence for the Relationship of Calcium to Blood Pressure. *Nutr Rev.* 54:365-381.
48. Paredes L. O., and Saharópulos P. M. E. 1983. Maize, a review of tortilla production technology. *Bakers Digest*. Step: 16-25.
49. Patterson, J. I., Brown, R. R., Linkswiler, H., Harper, A. E. 1980. Excretion of Tryptophan-niacin Metabolites by Young Men: Effects of Tryptophan, Leucina and Vitamin B6 Instakes. *Am. J. Clin. Nutr.* 33:2157-2167.
50. Plascencia, G. G. 1998. Comportamiento de Maíz Pigmentado en la Elaboración de Frituras, Empleando el Método de Nixtamalización Tradicional y Harina Instantánea Preparada por un Proceso

- Hidrotérmico, Tesis Profesional, Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Chapingo México. pp. 7-22.
51. Ranhotra, G. S. 1985. Nutritional Profile of Corn and Flour Tortillas. *Cereal Foods World*. 30:703-704.
  52. Renner, E. 1994. Dairy Calcium, Bone Metabolism and Prevention of Osteoporosis. *J. Dairy Sci.* 77:3498-3505.
  53. Reyes C. P. 1990. El maíz y su cultivo. AGT-EDITOR S.A. México, D.F.
  54. Salinas, M. Y., Soto, H. M., Martínez B. F., González, H. V., Engleman, E. M., and Ortega, P. R. 1999. Anthocyanin Analysis in Blue and Red Corn Grain Samples From Four Different Strains. No Published Data at this Time.
  55. Sarni M. P., Fulcrand H., Souquet J. M., Cheynier V., and Moutounet M. 1996. Stability and Color of Unreported Wine Anthocyanin-derived Pigments. *J. of Foods Science* 61(15), 938-941.
  56. Senti, F. R. 1967. *Starch: Chemistry and Technology*, ed. by R. L. Whistler and E. F. Paschall, Ed. Academic Press, New York. pp. 232.
  57. Serna, S. S. O., and Rooney, L. W. 1987. Food uses of whole corn and dry-milled fractions. Chapter 13. In: *Corn: Chemistry and Technology* edited by
  58. Stanley A., Watson., and Paul E. R. 1987. Published by the American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, MN, USA.
  59. Sprague, G. F., and Weatherwax, P. 1968. Cereal, Chambers's Encyclopedia. Vol. VIII: 848-849, Publish by International Learning Systems Corporations Limite. London.
  60. Squibb, R. L., Bressani, R., and Scrimshaw, N. S. 1957. Nutritive Value of Central Ameritan Corns. V. Carotene Content and Vitamin A Activiti of Three Guatemala Yellow Corns. *Food Res.*, 22:303-307.



61. Staus, J. 1959. Anthocyanin Synthesis in Corn Endosperm Tissue Culture I. Identity of the Pigments and General Factors. *Plant Physiology*. pp. 536-540
62. Styles, E. D., and Ceska, O. 1972. Flavonoid Pigments in Genetic Strains of Maize. *Phytochemistry*, vol. 11:3019-3021.
63. Takeo A., Mapes S. C., Mera O. L. M., Serratos H. J. A., Bye B. R. A. 2008. Origen y Diversificación del Maíz, Revisión Analítica. Instituto de Biología, UNAM. México.
64. Ulrich, C. M., Georgiou, C. C., Snow, H. C. M., and Gillis D. E. 1996. Bone Mineral Density in Mother-Daughter Pairs: Relations to Life-Time Exercise, Lifetime Milk Consumption, and Calcium Supplements. *Am. J. Clin. Nutr.* 63:72-79.
65. U. S. Food and Nutrition Board. 1974. Recommended Dietary Allowances. 8<sup>th</sup>. Rev. ed. National Academy of Sciences/National Research Council: Washington, D. C.
66. Vázquez, C. A., Jiménez, A. I. 2003. <http://www.hup.es/ecl/far/pdf5n4.htm#2>
67. Véles, M. J. J. 2004. Caracterización de tostadas elaboradas con maíces pigmentados y diferentes métodos de nixtamalización. Tesis profesional. Departamento de Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada. Instituto Politécnico Nacional. Santiago de Querétaro, Querétaro.
68. Von-Elbe, J. H., and Schawartz. 1996. Colorants, *Food Chemistry*, Edited by Owen R. Fenema, 3ed ed., pp. 651-718, Ed. Marcel Dekker, Inc. Nex York, USA.
69. Watson, S. A. 1962. The Yellow Carotenoid Pigments of Corn. En W. Hechendorf y J. J. Sutherland, eds. *Proc. Corn. Res. Conf.* 17<sup>th</sup>. Washington, D. C., Am. Seed Trade Assoc.

70. Watson, A. S., and Ramstad, E. D. 1987. Structure and Composition. In Corn: Chemistry and Technology. Ed. Published by the American Association of Cereal Chemists. Inc St. Paul, MN.
71. Watson, S. A. 1988. Structure and Composition. Corn: Chemistry and Technology. Published by the American Association of Cereal Chemists, Inc. ST. Paul, Minesota, USA. pp. 53-82.
72. Weber, E. J. 1988. Lipids of the Kernel. Corn: Chemistry and Technology. Published by the American Association of Cereal Chemists, Inc. ST. Paul, Minesota, USA. pp. 311-349.
73. Yen, J. T., Jensen, A. H., and Baker, D. H. 1976. Assessment of the Concentration of Biologically Available Vitamin B6 in Corn and Soybean Meal. 1. Anim. Sci., 42:866870.