

2



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

Trabajo Monográfico de actualización  
Estudio Monográfico de la Tortilla de Maíz  
Nixtamalizado

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
QUIMICA DE ALIMENTOS  
P R E S E N T A :  
María Gabriela Almanza Arjona



MEXICO, D. F.

279688

2000



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

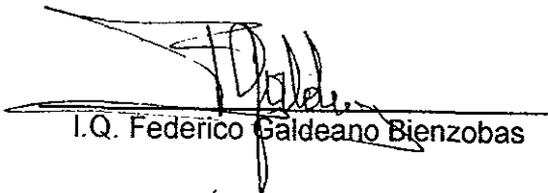
## JURADO ASIGNADO

**Presidente:** Prof. Federico Galdeano Bienzobas  
**Vocal:** Prof. Francisca Iturbe Chiñas  
**Secretario:** Prof. María del Rocío Santillana Hinojosa  
**1er. Suplente:** Prof. Ruth Villaseñor Gutierrez  
**2do. Suplente:** Prof. Bertha Julieta Sandoval Guillén

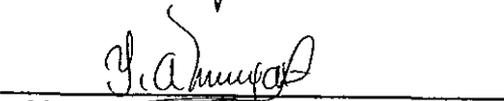
## LUGAR DONDE SE DESARROLLO EL TEMA

Biblioteca de Facultad de Química  
Ciudad Universitaria

ASESOR DEL TEMA:

  
I.Q. Federico Galdeano Bienzobas

SUSTENTANTE:

  
Maria Gabriela Almanza Arjona

## DEDICATORIAS

A Dios, que me da la oportunidad de esta vida.

A mis padres, Carlos y Elsa, por ser amor y apoyo incondicional durante toda mi vida y ahora con ésta meta realizada.

A mi hermana Cecilia, por ser mi amiga y compañera y compartir tantos momentos juntas.

A mi hermano Carlos, que me recuerda todos los días ese lado que nunca se debe perder, *la inocencia y la capacidad de asombro*.

A mis abuelos Efraín y Celia, Antonio y Carlota, quienes me dieron a quienes quiero, me concienten, dan amor y me cuidan (donde quiera que estén).

A mis tíos Laura, Ana María, Leonardo y Alejandro, que siempre están pendiente de mi y de los que quiero.

A todos mis primos Guillermo, Carolina, Evelyn, Arian, Ivan, Oswaldo, Alejandro, Tania, Alan y Osiris por compartir desde un pastel de cumpleaños hasta este momento.

A Victor, por nuestra oportunidad, su paciencia y apoyo.

A los amigos de la Familia Miguel y Lulú, Víctor y Marisela, Yuridia y Alejandro, Gabriel e Isabel, Sarita y Rogelio quienes han compartido conmigo tantas etapas importantes en mi vida, como este.

A todos mis amigos por estar ahí cuando los he necesitado y me han dado comprensión y cariño a cambio de nuestra amistad, a todos gracias por compartir ahora conmigo este logro.

## AGRADECIMIENTOS

Al Profesor Federico Galdeano por tenerme paciencia y confiar en mí para este proyecto.

A toda la gente de Fidelist, Marinela, Minsa, AMCO, Cybercafe y el CENAPRED por su importante ayuda y aportación a este trabajo.

A toda la gente de la Facultad de Química de la UNAM, por su ayuda.

A el Taller Coreográfico de la UNAM.

Al Centro de Estudios de Lenguas Extranjeras.

## INDICE

I.	Introducción.....	1	
II.	Objetivos.....	3	
III.	Antecedentes.....	4	
<b>Capítulo 1</b>			
<b>Maíz.....</b>			<b>5</b>
1.1	Clasificación del maíz.....	5	
1.2	Producción de maíz.....	7	
1.3	Estructura física del grano de maíz.....	9	
1.4	Composición química del grano de maíz.....	10	
1.5	Evaluación de la calidad del maíz para nixtamalización.....	14	
1.6	Factores que afectan el deterioro del maíz.....	16	
1.7	Aflatoxinas.....	17	
<b>Capítulo 2</b>			
<b>Producción de tortillas.....</b>			<b>20</b>
2.1	Nixtamalización.....	21	
2.2	Cambios químicos producidos durante el proceso de nixtamalización.....	24	
2.3	Aspectos nutricionales el el proceso de nixtamalización.....	26	
2.4	Molienda.....	27	
2.5	Aspectos químicos de la tortilla.....	28	
2.6	La tecnología en la industria de la tortilla.....	29	
2.7	Usos de aditivos y enzimas.....	31	
<b>Capítulo 3</b>			
<b>Avances en la manufactura de tortillas con métodos alternativos a la nixtamalización.....</b>			<b>35</b>
3.1	Extrusión.....	35	
Estudios hechos con la tecnología de extrusión.....		39	
Harina de maíz nixtamalizada enriquecida.....		41	
3.2	Proyecto del MANIX.....	44	
Aspectos químicos del MANIX.....		45	
3.3	Obtención de harina de nixtamal por microondas.....	46	
Cambios producidos en los componentes de la harina nixtamalizada.....		48	
3.4	Obtención de harina de nixtamal por micronización.....	50	
<b>Capítulo 4</b>			
<b>Métodos para evaluar la calidad en la tortilla de maíz.....</b>			<b>52</b>
Parámetros involucrados en la evaluación de atributos de calidad de las tortillas.....		52	
Métodos para evaluar la calidad en tortilla de maíz.....		53	
<b>IV. Conclusiones y recomendaciones.....</b>			<b>60</b>
Conclusiones.....		60	
Recomendaciones.....		61	
<b>Bibliografía.....</b>			<b>63</b>

# I. Introducción

Desde el punto de vista de producción y consumo, el maíz es la gramínea más importante en México.

La industria del maíz y la tortilla representan para México la quinta industria en el país y la primera en la rama alimentaria, aportando el 75.2 % del volumen total de la producción agrícola.

El maíz tiene importancia en la alimentación del pueblo mexicano por ser fuente de proteínas y calorías, que otros alimentos no les aportan pues no tienen acceso a ellos por falta de recursos. La manera de obtenerlo es por medio de la tortilla de maíz nixtamalizado. Aproximadamente para 15 millones de mexicanos es la única forma de subsistencia (Fidelist, 1998).

La tortilla diminutivo de torta ("pan de maíz", de acuerdo con las crónicas de Sahagún y Díaz del Castillo [Anónimo, 1979]) es el alimento étnico de mayor crecimiento en el país. Actualmente se consumen 800 millones de tortillas diarias (Bioseau y Chronicle, 1993). En algunas zonas rurales de México y América Central el consumo de tortilla de maíz provee aproximadamente 70% de las calorías y 50% de las proteínas de la dieta diaria (Paredes-López y Saharópolus, 1983).

Como resultado de un incremento en la densidad de población (con un alza en el porcentaje de condiciones de marginación y pobreza) se vió la necesidad de elevar la capacidad productiva de la industria tortillera.

Pero si se desea progresar, se debe comenzar por una industrialización. El siguiente paso sería comprar tecnología ¿pero dónde? si ningún otro país como México tiene el mismo consumo de este grano en la forma de tortilla, por lo que no hay tecnología en otra parte.

Todo esto lleva a grupos de tecnólogos e investigadores a desarrollar tecnología, aplicar aditivos y proponer modificaciones pertinentes para el proceso de elaboración de tortilla sin modificar sus principales atributos característicos (Martínez, 1996; Fidelist, 1998).

En los últimos años se han utilizado métodos alternos como la micronización (Bedolla, 1983; Vargas 1992) y la extrusión (Bazúa et al, 1979; Gómez y Aguilera, 1983; Martínez, 1988; Johnson y Willians, 1992) para la elaboración de masa fresca y/o para su posterior transformación a harinas instantáneas (Martínez, 1996) y finalmente la formación de tortillas.

La mayoría de los estudios efectuados, tanto en la producción de tortillas como de harinas instantáneas, continúan basándose en el proceso tradicional de nixtamalización, el cual presenta limitantes de tipo tecnológico, debido a que emplean grandes volúmenes de agua, generación de efluentes contaminantes, pérdidas de nutrientes y bajo rendimiento de producto (Martínez, 1998 y Sánchez, 1999).

Esto no quiere decir que a partir de este momento se tenga una mayor atención en el proceso de elaboración de tortillas, se han venido realizando investigaciones en mayor proporción en las dos últimas décadas.

Sin embargo la información generada por Universidades, investigadores de postgrado y publicaciones en revistas de perspectiva química y de tecnología de alimentos, no está disponible en un solo documento.

El presente trabajo es una revisión de las investigaciones realizadas por diferentes entidades que proponen alternativas en el proceso físico, químico y tecnológico de la tortilla de maíz nixtamalizado.

## II. Objetivos

### Objetivo general

Realizar un estudio bibliográfico de la tortilla de maíz, contemplando los procesos tradicionales de elaboración del nixtamal y los alternos o innovadores, para discutir y concluir acerca de sus parámetros físicos, químicos y tecnológicos que mejoren la calidad organoléptica y nutrimental del producto final, la tortilla.

### Objetivos específicos

- Hacer una revisión bibliográfica de la información relacionada con la materia prima principal: el maíz, considerando aspectos físicos, químicos, de contaminación y los de calidad que más influyen sobre el producto final, la tortilla.
- Recopilar información de los aditivos agregados a la harina de maíz nixtamalizada para mejorar las características de la tortilla y su vida de anaquel, describiendo métodos que lo evalúen.
- Discutir las ventajas que ofrece cada método alternativo al proceso tradicional de nixtamalización en el aspecto tecnológico, tiempo de proceso y las características del producto final como resultado de las variantes en el proceso de obtención de la harina de maíz nixtamalizado.
- Realizar recomendaciones a partir de la información obtenida para la elaboración de harina de maíz nixtamalizado, que asegure un producto final con los atributos sensoriales y nutrimentales característicos de la tortilla.

### III. Antecedentes

#### Aspectos históricos

El maíz, originario de México fue conocido por el mundo después de la conquista española. Grano sagrado que fue dádiva de los dioses mexicanos y sustancia activa de hombres y pueblos.

El nombre de maíz, *mahís* o *mahys* que Linneo adoptó para designar científicamente a la planta *Zea maíz* o causa de la vida, fue nombrado por los nahuas *maíz* al grano y la planta *tzintli* o *Atzintzintli*. Tzintla significó grano de hormiga, se trataba entonces de granos pequeños y se daba en espigas en forma silvestre.

Cuando los seres humanos procedentes de otros sitios lejanos llegaron a Panutla, el maíz era selvático y tunicado. Pasaron a Temoanchán donde se asentaron y empezaron a cultivar la planta. Del cultivo y la hibridación surgió el maíz de mazorca (Martínez, 1996).

El maíz mexicano llegó con la difusión a través de la historia a convertirse en una de las 3 gramíneas alimenticias básicas del mundo: en Europa es el Trigo, en Asia el arroz y en América el maíz.

Se propone que el maíz cultivado se origina del maíz tunicado (*Zea maíz* var, *tunicata*) que es una forma primitiva del maíz en la que los granos están individualmente cubiertos por una gluma o por bráqueas, como ocurre en los cereales o en algunos pastos.

En la teoría del teocintle y algunas de sus variantes descrita alrededor del año 1800 por Anderson (Figueroa y Aguilar, 1997), sugiere que el maíz descende directamente de su antecesor más cercano, el teocintle (*Euchlaena mexicana*, actualmente *Zea mexicana*) por selección directa, mutación o por cruce del teocintle con algún pasto desconocido y actualmente extinguido.

El maíz es el fruto de una gramínea, que se caracteriza por producir un fruto cubierto o protegido, es una planta que pertenece a la clase de las Angiospermas. El grano llamado botánicamente cariósipide es monocotiledóneo. La cariósipide está compuesta por el pericarpio y la semilla. Se le llama grano desnudo porque se pierden las glumas durante su separación del olote (Serna-Saldívar, 1996).

# CAPITULO 1

## MAIZ

### 1.1 CLASIFICACION DEL MAIZ

El maíz pertenece a la familia de las gramíneas y dada la gran adaptación, se cultiva en casi todas las partes del mundo. Es por ello que es posible encontrar plantas de este cereal con algunas características fenotípicas y genotípicas diferentes (Manuales para la Educación Agropecuaria, 1988).

De acuerdo a la estructura de sus granos, el maíz se divide en subespecies o variedades botánicas como se menciona a continuación:

#### **Maíz dentado (*Zea mayz indentata*)**

Tiene endospermo duro y harinoso en la zona central. Se caracteriza por una depresión o “diente” en la corona del grano. Se usa como alimento animal, materia prima industrial y para la alimentación humana.

#### **Maíz cristalino (*Zea mayz indurata*)**

Tiene un endospermo duro y gránulos de almidón compactados en una matriz protéica. Se usa como alimento animal y humano, también para nixtamalización.

#### **Maíz harinoso (*Zea mayz amilaceo*)**

Presenta un endospermo suave y los gránulos de almidón no se encuentran compactados. Es muy común que en México se use para hacer pozole

#### **Maíz dulce (*Zea mayz sacharata*)**

Su endospermo tiene alrededor de 11% de carbohidratos en cadenas más cortas que los polisacáridos, están como dextrinas proporcionando un sabor dulce, consumiéndose como vegetal enlatado o consumo fresco.

#### **Maíz palomero (*Zea mayz everta*)**

Es una de las razas más primitivas de maíz, presenta granos pequeños y su endospermo es muy duro, teniendo la mayor cantidad de agua retenida en el centro por lo que al ser tostado revienta, formando palomitas.

#### **Maíz tunicado (*Zea mayz tunicata*)**

Se caracteriza porque cada grano se encuentra encerrado por una vaina, como consecuencia cada grano tiene características de endospermo distinto. En general tiene la apariencia de glumas bien desarrolladas que cubren el grano.

#### **Maíz cereo [waxi] (*Zea mayz cerea*)**

Se le distingue porque el almidón está compuesto básicamente de amilopectina. Se utiliza en la elaboración de budines, gomas y adhesivos.

Para la compra-venta del maíz se hace una clasificación según la Norma Mexicana NMX-FF-034-1995 de la siguiente manera:

**Blanco:** maíz que corresponde a ese color, con un valor menor o igual a 5% de maíces amarillos y que contenga como máximo 5% de maíces oscuros (rojo, azul y morado). Se utiliza para hacer hojuelas de maíz, harinas gruesas, para industrias almidoneras y harineras.

Su análisis proximal se muestra en el cuadro 1.

**Amarillo:** maíz de granos amarillos con un tono rojizo y que contenga un valor menor o igual a 6% de maíces de otro color.

Su análisis proximal se muestra en el cuadro 1.

**Cuadro 1**  
**Análisis proximal de maíz blanco y amarillo**

	<b>Maíz amarillo</b>	<b>Maíz blanco</b>
<b>Carbohidratos</b>	69.60 g	73.0 g
<b>Humedad</b>	13.80 g	10.60 g
<b>Proteínas</b>	8.30 g	7.90 g
<b>Fibra</b>	12.20 g	12.20 g
<b>Grasa</b>	4.80 g	4.70 g

Fuente: Tablas Instituto Nacional de Nutrición "Salvador Zubirán", 1996  
Datos en base húmeda por 100 granos

**Mezclado:** a) Mezclado 1. Maíz blanco que contenga entre 5.1 y el 10% de maíces amarillos, así como el maíz amarillo que contenga entre el 5.1 y 10 % de maíces blancos, ambos sin sobrepasar el 5% de maíces oscuros.

b) Mezclado 2. maíces blancos que presentan más del 10% de maíces amarillos, así como los maíces amarillos que contengan más del 10 % de granos blancos, ambos sin sobrepasar el 5 % de maíces oscuros.

**Pinto:** Maíz blanco, amarillo y mezclado que contenga más de 5 % de maíces oscuros.

El maíz que en México se utiliza para la nixtamalización se derivó de la cruce entre maíces tipo cristalino y harinoso, por lo que la textura de su endospermo puede ser calificada en función de la relación entre los dos tipos de grano presente (Salinas y Arellano, 1989). Se utilizan mezclas de maíz blanco (en su mayoría, pues se prefieren tortillas blancas) y amarillo, ya que el color final de la tortilla depende del color que tenga el grano de maíz usado como materia prima.

## 1.2 PRODUCCIÓN DE MAÍZ

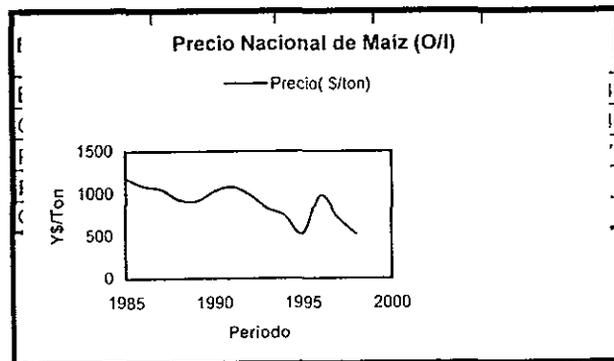
Por más de 25 años la Comisión Nacional de Subsidios Populares (CONASUPO) fue el regulador de los mercados de granos en México, particularmente del maíz. CONASUPO compraba a un precio de garantía y vendía a un precio fijo a la Industria de la masa y la tortilla, que a su vez tenía un precio fijo de tortilla (Memorias Expotortilla, 1999).

Bajo el esquema de subsidios, los costos y gastos del maíz se absorbían por la paraestatal desvirtuando el valor de los productos y como consecuencia los precios del maíz eran iguales en todo el país, no guardando relación con los precios internacionales. Además de que al no pagar precios iguales no se propiciaban mejoras en la calidad del maíz (Fidelist, 1998).

Con la desaparición de CONASUPO en 1995 los precios se regularon por los mercados nacional e internacional, los industriales tuvieron desde entonces otras opciones entre varias comercializadoras o agrupaciones para comprar maíz y por lo tanto todos los costos de manejo, almacenaje y financieros se incluyen en los precios (Fidelist, 1998; Memorias Expotortilla, 1999).

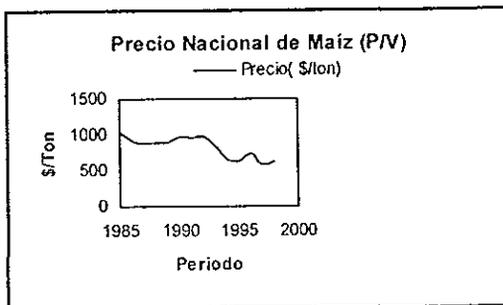
Paulatinamente se fueron diferenciando la calidad de los granos en precio y disponibilidad. Los ciclos de cosecha en nuestro país diferencian los precios por tonelada para su venta en Primavera-Verano (P/V) en el que hay mayor cantidad de cosecha o en Otoño-Invierno (O/I) en el que la cosecha es hasta un 15% menor que el ciclo Primavera-Verano, por lo que el precio varía. En las figuras 1 y 2 se observa la tendencia desde 1995 hasta 1998 que oscila entre 1200 y 500 toneladas. Su tendencia es de subir y después bajar, por lo que probablemente para los años 1999 y 2000 se eleve nuevamente.

**Figura 1**  
**Precio Nacional de Maíz ciclo O/I**



Fuente: Grubasa//Ena, Expo Tortilla 1999

**Figura 2**  
**Precio Nacional de Maíz ciclo P/V**

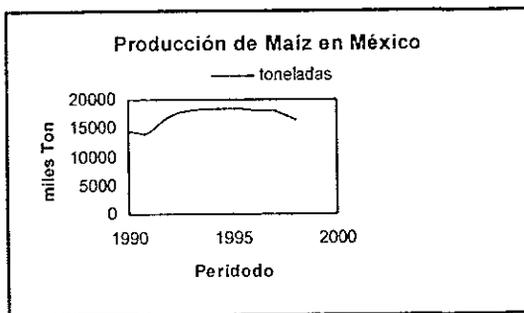


Fuente: Grubasa//Ena, Expo Tortilla 1999

Para el ciclo **O/I** se compra maíz en Sonora, Sinaloa y Tamaulipas.  
Para el ciclo **P/V** se compra maíz en Jalisco, Michoacán, Guanajuato, Estado de México, Puebla, Veracruz y Chiapas (Expo Tortilla, 1999).

La producción de maíz en México (Figura 3) aún y con la posibilidad de la compra de maíz a otros países, se ha mantenido constante en el último periodo de 5 años de tal forma que los productores mexicanos no pierden mercado, pues el maíz no solo es utilizado para la nixtamalización, sino también para obtener almidones modificados, jarabes y aceites, por ejemplo.

**Figura 3**  
**Producción de Maíz en México**  
**(1990-1998)**



Fuente: Centro de Estadística Agropecuaria, Producción agrícola 1990-1998

Para la compra de maíz nacional e internacional deben considerarse algunos parámetros como: origen del maíz, tipo de grano (híbrido, criollo, mezclas), forma de entrega, calidad promedio, forma de cotización (fob,cif,lab) y tiempo de entrega (Memorias Expotortilla, 1999).

La Ingeniería en Comercialización de granos FINCO y el Grupo MINSA sugieren que se compren granos de maíz de lugares cálidos para los fines de elaboración del nixtamal y posterior elaboración de harinas. El maíz proveniente de lugares fríos provoca características objetables en las harinas nixtamalizadas al ser empaquetados, porque después de dos meses se desprende la grasa de la harina hacia la bolsa de papel observándose la mancha de grasa impregnada y se comienza a percibir el olor a rancidez (Sánchez, 1999).

### 1.3 ESTRUCTURA FISICA DEL GRANO DE MAIZ

#### Pedicelo

Es el fragmento más pequeño del grano, el cual es la unión entre la semilla y el olote. Tiene como función absorber humedad y está compuesto por elementos fibrosos insolubles arreglados en una estructura esponjosa de células. Representa aproximadamente el 0.8% del peso seco del grano (Inglett, 1982).

#### Pericarpio

Está compuesto de varias capas que recubren a la semilla entera, que representan un 5.3% del peso total del grano, se encuentran unidas estrechamente a la capa aleurona (capa celular que rodea completamente al grano, que cubre tanto al endospermo como al germen), la capa que está en contacto con la aleurona recibe el nombre de cubierta de la semilla (Lineback y Inglett, 1982 ; Watson y Ramstad, 1987). La siguiente es una capa de células transversales que se encuentra recubierta a su vez por otra capa poco espesa y compacta, conocida como mesocarpio, compuesta por células alargadas y estrechamente adheridas, con numerosas cavidades que facilitan la absorción de agua. La siguiente capa de células es la epidermis, que está cubierta por una cutícula cerosa que tiene como probable función retardar el intercambio de humedad (Watson, 1987).

#### Germen

Representa el 11.1% del peso seco del grano y es de un alto valor nutritivo por su elevado contenido de proteínas y sales minerales. Las principales partes que constituyen el germen son el embrión y el escutelo. El escutelo constituye el 90% del germen encontrándose aquí la mayor parte de nutrientes almacenados, movilizados durante la germinación, tiene la función de ser órgano nutritivo para el embrión; sus células contienen un núcleo, un citoplasma y unos corpúsculos llamados esferosomas que contienen lípidos. El embrión es rico en compuestos nitrogenados (8-14% proteínas, aminoácidos libres y vitaminas) y de lípidos (aceite de maíz 4%) (Lineback e Inglett, 1982 ; Watson y Ramstad, 1987).

#### Endospermo

Constituye en promedio el 82.9-86% del grano y el 87.6% de su composición es almidón, en base seca. El endospermo está compuesto por células alargadas, que están empaquetadas por gránulos de almidón que a su vez están embebidos en una matriz de proteínas. Esta parte anatómica presenta dos regiones diferentes: el endospermo córneo y el harinoso. La región harinosa presenta una apariencia opaca y quebradiza, está caracterizada por células alargadas y los gránulos de almidón son de forma esférica y suelta con paredes celulares delgadas, contiene un reducido porcentaje de glutenina y las

matrices protéicas delgadas e incompletas en algunos lugares de la periferia de los gránulos de almidón. Estos gránulos de almidón se rompen durante el secado y forman espacios vacíos. Constituye el 34% del total del endospermo.

La región córnea tiene una consistencia dura y apariencia traslúcida debido a que los espacios intergranulares están llenos con corpúsculos de zeína. Los gránulos de almidón están incrustados de forma compacta en una gruesa matriz protéica, lo que origina que estos formen superficies angulares característicos de este arreglo (poligonales). La matriz sufre ruptura durante el secado y es el 66% del peso total del maíz, a diferencia del endospermo córneo, el harinoso posee de 1.5 a 2% menos de proteína (Watson, 1987).

La composición del grano de maíz por sus principales partes anatómicas esta dada en el cuadro 2.

**Cuadro 2.**  
**Composición de las partes anatómicas del grano de maíz**

Fracción	Grano seco	Almidón	Lípidos	Proteínas	Cenizas	Azúcares	E.L.N.
Endospermo	82.9	87.6	0.8	8	0.3	0.6	2.7
Germen	11.1	8.3	33.2	18.4	10.5	10.8	8.8
Pericarpio	5.2	7.3	1	3.7	0.8	0.3	86.7
Pedicelo	0.8	5.3	3.8	9.1	1.6	1.6	78.6
Grano entero	100	73.4	4.4	9.1	1.4	1.9	9.8

Fuente Watson, 1987      Unidades %

E.L.N. Extracto libre de Nitrógeno (no incluye carbohidratos) Obtenido de la diferencia de 100 - la suma total de componentes

#### 1.4 COMPOSICION QUIMICA DEL GRANO DE MAIZ

Los principales componentes químicos del maíz son: almidón, proteínas, lípidos, contenido en menor cantidad fibra cruda, azúcares, minerales y vitaminas. La composición química de los granos varía de acuerdo con las condiciones climatológicas y edafológicas del lugar donde se cultive (Watson, 1987). Si son de lugares fríos, la cantidad de grasa es mayor. Existen lugares, como en el Estado de México que produce principalmente maíz con endospermo harinoso.

##### Proteínas

Constituyen el 6 -10% del grano y se localizan principalmente en el endospermo y el germen. De acuerdo con Osborne y basadas en su solubilidad son clasificadas en: albúminas, solubles en agua; globulinas, solubles en soluciones salinas diluidas e insolubles en altas concentraciones de sal; prolaminas, solubles en solución de alcohol al 70% y glutelinas, solubles en soluciones ácidas y básicas diluidas. Cuantitativamente las proteínas que predominan en el maíz son las prolaminas y en este grupo la principal es la zeína constituyendo el 50% de las proteínas.

La zeína tiene leucina (aminoácido esencial), fenilalanina y tirosina, los tres en casi el 50% del total de la proteína. Está en mayor proporción en el endospermo dentro de los

cuerpos protéicos, en las membranas del mismo. La matriz protéica envuelve a los gránulos de almidón y rodea a los cuerpos que son más grandes y numerosos en el endospermo córneo que en el harinoso. La zeína  $\alpha$  tiene alto contenido de glutamina, valina, metionina, leucina y alanina en forma de  $\alpha$  hélices que interactúan con puentes de hidrógeno en forma de bastón. La zeína  $\beta$  tiene aminoácidos azufrados (metionina 7% y cisteína 4%) y es menos hidrofoba. La zeína  $\delta$  tiene alto contenido de cisteína y prolina ambos en un 25%.

Los cambios en el contenido total de proteína en el grano son principalmente cambios en el contenido de zeína en el endospermo. El incremento del contenido de proteína, eleva la cantidad de endospermo córneo.

La segunda fracción de importancia son las globulinas que se encuentran junto con las albúminas en el germen (Bressani y Schrimshaw, 1988).

### Lípidos

El contenido de lípidos varía ampliamente dependiendo de la proporción de germen presente en el grano y su contenido de aceite. En general se tiene un 4.5% de lípidos y de éste total el 85% está presente en el germen como triglicéridos de ácidos grasos y el 15% restante constituyen fosfolípidos, esteroides, tocoferoles y carotenoides (Watson y Ramstad, 1987).

Los principales ácidos grasos presentes en el maíz son el ácido linoleico (50%), oleico (35%), palmítico (13%), esteárico y linolénico. La interacción entre amilosa y lípidos se favorece por la humedad que causa que los gránulos de almidón se hinchen, aunque también modifica el efecto de gelatinización, que es la incorporación de moléculas de agua a la estructura de la amilosa y amilopectina, siendo la interacción entre el agua y los carbohidratos los puentes de hidrógeno (Zobel y Kulp, 1996).

El contenido de fosfolípidos es de 1.5% del cual el 60% es lecitina y el resto es cefalina. Los esteroides son el campesterol, estigmasterol y  $\beta$ -sistosterol. El tocoferol está en una proporción de 0.16 a 0.42 mg/g. El contenido de carotenoides es de 74 ppm de xantofilas y 1.6 ppm de carotenoides siendo éstos el principal pigmento del aceite de maíz e incluso de la tortilla (Watson y Ramstad, 1987).

### Vitaminas y minerales

El maíz contiene dos vitaminas liposolubles (A y E) en aproximadamente 2.5 mg/Kg peso seco del grano. Las vitaminas hidrosolubles tiamina (B1) en 3.8 mg/Kg y la piridoxina en 5.3 mg/Kg de peso seco. La niacina se encuentra en elevadas proporciones (28 mg/Kg de materia seca) pero se encuentra enlazada de tal forma que es no disponible para los animales monogástricos. Sin embargo el tratamiento alcalino la hace disponible (Watson y Ramstad, 1987).

El 78% de los minerales totales del grano, se encuentran concentrados en el germen. El elemento inorgánico más abundante es el fósforo en 0.08% del grano seco. Otros son el potasio (0.037%) y el azufre en forma orgánica como componente de aminoácidos azufrados. Además el maíz es una fuente importante de calcio y selenio (Martínez, 1996).

## Carbohidratos

El maíz como todos los cereales constituye una importante fuente de carbohidratos. Estos componentes químicos se clasifican como carbohidratos simples y complejos.

### *Carbohidratos simples*

Los principales monosacáridos libres del endospermo, D-fructosa y D-glucosa se encuentran en un intervalo de 1 a 3% del peso del grano seco, respectivamente. Otros monosacáridos están presentes como azúcares asociados a los nucleótidos y su contenido en el grano es bajo ya que se usan como sustratos en la síntesis de biopolímeros. El disacárido más importante del maíz es la sacarosa.

Además el grano de maíz contiene maltosa y trisacáridos como rafinosa. Todos éstos se encuentran principalmente en el germen.

### *Carbohidratos estructurales*

Algunos polisacáridos desempeñan una función importante dentro de la estructura del grano de maíz. Estos se denominan sustancias pécticas, celulosa y hemicelulosa (Martínez, 1996). Son carbohidratos complejos.

### *Carbohidratos de almacenamiento*

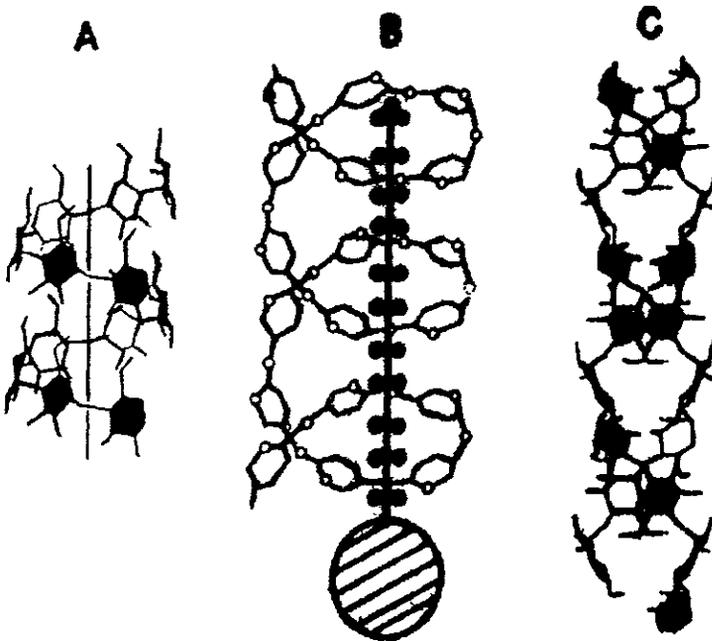
El almidón es el polisacárido de almacenamiento energético más importante del maíz y básicamente se concentra en el endospermo y en menor cantidad en el germen, pericarpio y pedicelo (Watson, 1987). Se forma en la planta por condensación progresiva de unidades de glucosa unidas por enlaces glucosídicos y está constituido por dos polímeros: uno lineal que es la amilosa y uno ramificado que es la amilopectina (Watson y Ramstad, 1987; Gómez et al, 1990). La amilosa está presente en un 24 - 27% y la amilopectina en 73-76% (Gómez et al, 1990).

Las moléculas de los dos polímeros están alineadas radialmente en el gránulo (Whistler et al, 1984; Wang et al, 1993; Allang, 1993; Fennema, 1996) y unidas por puentes de hidrógeno. La fuerza interna en la estructura del almidón depende del grado de asociación y el arreglo de las cadenas de sus dos componentes.

Los racimos de amilopectina están arreglados en una doble hélice (Figura 4C) y éstos empaquetamientos en conjunto forman las áreas cristalinas del gránulo de almidón que se alternan con las capas menos densas o amorfas, que según algunos autores (Bulkín, Kwak y Dea) están formadas por hélices simples "V" (figura 4-A) donde se define la no cristalinidad (Fennema, 1996). La cristalinidad es producida por el ordenamiento de las cadenas de amilopectina, cuando existe en más del 50% del total en el endospermo, se denomina almidón céreo o sin amilosa, la amilosa sola está distribuida entre las dobles hélices que forman la amilopectina.

La amilopectina que constituye el mayor porcentaje dentro de la distribución de polímeros del almidón tiene ramificaciones, a veces tan largas que parecen lineales (Boyer y Shannon, 1987) y en la mayoría de los casos es mucho más grande que la amilosa (Wurburg, 1986).

**Figura 4**  
**Interacción de las cadenas de amilopectina**



Fuente: Hebeda, Ronald and Zobel, 1996

La interacción de las cadenas de carbohidratos y los ácidos grasos es compleja de describir. Cuando existe mayor cantidad de endospermo harinoso la interacción entre los ácidos grasos y la amilopectina es mayor, que si existiera más endospermo cristalino. A mayor número de interacciones amilosa-lípido (como se muestra en la Figura 4-C), la temperatura en que los gránulos de almidón incorporan agua entre sus moléculas, es menor porque promueven lugares de desorden entre las interacciones estables de muchos puentes de hidrógeno entre cadenas de amilopectina, es decir, desestabilizan la cristalinidad.

### ***Propiedades del almidón***

**Birrefringencia:** Cuando se observa almidón al microscopio, haciendo incidir luz polarizada, la luz es refractada doblemente, es decir se observa una cruz conocida como cruz de malta, atribuida principalmente al grado de ordenamiento molecular, pero no habla necesariamente de un alto grado de cristalinidad.

**Gelatinización:** Se utiliza éste término para definir la incorporación de moléculas de agua a las moléculas de almidón, provocando que el almidón estructurado en forma de gránulos, se hinchen. Este proceso es posible cuando se calienta el almidón en agua a una temperatura de 65-80°C (pues depende del tamaño de los gránulos, si son más

pequeños, se necesita la temperatura de 65°C que es la menor). Las consecuencias de la gelatinización son desorden molecular, pérdida de birrefringencia y solubilización del almidón. Este proceso es reversible.

**Retrogradación:** Cuando una solución de almidón es sometida a calentamiento, se gelatiniza. Al enfriar la solución se formará un gel rígido, conociéndose a éste fenómeno como retrogradación. Esto ocurre porque la amilopectina con sus grandes ramificaciones y las cadenas lineales de amilosa, tienden a interactuar de nuevo entre sus cadenas adyacentes y no entre amilosa-agua o amilopectina-agua. Por lo tanto, el agua es expulsada.

## 1.5 EVALUACION DE LA CALIDAD DEL MAIZ PARA NIXTAMALIZACIÓN

El nivel y uniformidad de la calidad del grano de maíz empleado como materia prima para la nixtamalización es determinante para la calidad del producto final. Las características de calidad del grano son determinadas por factores genéticos y de producción y manejo.

Para hacer la compra de maíz en México se recomienda seguir los siguientes pasos:

I. **El muestreo:** Es la práctica más importante por ser la primera etapa, se establece el primer contacto y debe tener representatividad. A partir de esta muestra se dicta la calidad en los granos, se toman decisiones de las operaciones a realizar y se determina su valor económico-comercial.

- Si es un grano que está sobre bandas conductoras se recomienda tomar muestras cada doce toneladas
- Si es un lote a granel, se toma la muestra en seis lugares distintos

II. **Personal:** Experiencia deseable, necesaria capacitación y ética indispensable

III. **Equipo de muestreo, equipo de análisis:** Sondas de alveolos neumáticas o manuales, homogenizador boerner, saranda, densímetro, determinador de humedad, báscula granataria.

IV. **Técnica de muestreo y análisis:** Se debe realizar una inspección-inserción y obtención de muestra posteriormente se hace una homogenización para realizar ya los análisis y finalmente hacer el registro de los datos.

### V. Análisis

- **Humedad:** Indica la cantidad de materia seca que el comprador está adquiriendo y dicta las pautas para su almacenamiento. 12.0-14.0% para almacenar; si el valor es mayor, debe secarse para poder ser almacenado.
- **Impurezas:** 2.0% máximo, rechazo a partir de 4.1%
- **Sanidad:** libre de plaga viva o muerta, insectos primarios o secundarios
- **Grano quebrado:** 2.0% máximo, rechazo a partir del 4.1%

- Daños totales:** A) Grano picado  
 B) Grano descalentado  
 C) Otros daños (germen dañado, hongado, inmaduro, roedor, helado, germinado)

**MAXIMO 10.0%**

Estos parámetros son importantes ya que los granos dañados o quebrados son más propensos a tener aflatoxinas y residuos de insectos, además provocan que la masa se haga chiclosa y poco maleable.

- *Otros colores:* El color de la tortilla está en función del color de la materia prima, se considera deseable una tortilla blanca. máximo 10.0% de maíz amarillo y 3.0% de maíces oscuros
- *Densidad.* Es importante que cada productor de nixtamal determine a que humedad es válido considerar el valor del peso hectolítrico, ya que a menor contenido de humedad mayor peso hectolítrico. El valor de densidad está fuertemente asociada con la condición del grano: es decir, la estructura del endospermo y por lo tanto su contenido de proteína. 720 g/hectolitro mínimo
- *Aflatoxinas:* Estos compuestos causan toxicidad a concentraciones muy bajas (10 p.p.b), pero considerando que se someterán a un proceso de condiciones de pH y temperatura drásticos, 15 p.p.b. es tolerable y se ve disminuído en más del 50%.
- 15 p.p.b. máximo

Fuente: Expo tortilla 1999, Finco (ingeniería en comercialización de granos)  
 p p b partes por billón (mg/Kg)

- *Anatomía y composición* tamaño, forma. Debe conocerse la característica principal de su endospermo, es decir, si es en un mayor porcentaje harinoso o cristalino. Para la industria de la masa y la tortilla se usan mezclas de ambos tipos de maíz.

- *Propiedades físicas:*

*Flotadores:* solución de nitrato de sodio: se hace una solución de nitrato de sodio (1.25 g/ml) y se colocan 100 granos de maíz. Se observa cuantos granos flotan, si son más de 10 significa que los granos tienen un endospermo con baja calidad o que están huecos.

*Dureza:* subjetivo para saber si la temperatura debe ser elevada o baja por las características del grano, se complementa con las pruebas de cocimiento.

*Pruebas de cocimiento* (sistema modelo)

\*Remoción del pericarpio. se lleva a cabo la prueba con una cantidad de muestra conocida y según la prueba subjetiva de dureza, se proponen temperaturas de nixtamalización y se observa la óptima a la que se desprende el pericarpio con mayor facilidad.

\*Absorción de agua. Según la dureza del grano la absorción del agua es menor o mayor y ya que el propósito principal es la hidratación

del grano, es un parámetro importante. Se pesa el grano. Se cocina en agua. Se elimina el exceso de agua y se vuelve a pesar para conocer por diferencia la cantidad de agua absorbida.

\*Tiempo óptimo de cocimiento: para obtener una hidratación del grano debe calentarse de 20 a 35 min. . A partir de la muestra se determina cuál es el tiempo óptimo para su cocimiento, observando al final el hinchamiento del grano y desprendimiento del pericarpio.

Fuente: Dr. Helbert Almeida, 1999. Explotortilla.  
Referencia NOM-F-46-S-1980 Harina de maíz nixtamalizada  
NMX-FF-034-1995-SCFI Maíz

## 1.6 FACTORES QUE AFECTAN EL DETERIORO DEL MAÍZ

Como consecuencia del almacenamiento de los granos de maíz, existe deterioro. Existen por lo tanto cambios conformacionales en las **macromoléculas** del maíz a todas las condiciones de almacenamiento:

La solubilidad de las **albúminas y globulinas** baja en un 80% en 60 días de almacenamiento, las prolaminas y glutelinas bajan su solubilidad en 50-30% , como consecuencia el cambio que ocurre es que se agregan y hay nuevas interacciones entre ellas

Los componentes del embrión se ven directamente afectados por las reacciones de oscurecimiento.

Las *condiciones menos severas hacen que las proteínas pierdan su conformación nativa*, sobre todo las fracciones polares (Sanchez, 1998).

El **almidón** es degradado y se da la formación de dextrinas (cadenas de carbohidratos de menor peso molecular que el almidón) si es que se llega a temperaturas de almacenamiento de 40°C.

Las **vitaminas** se pueden perder en el almacenamiento con valores del 10% de humedad relativa. Tiamina, piridoxina y riboflavina son sensibles a la luz y los carotenos (xantófilos) disminuyen por la luz (Sanchez, 1998)

El almacenamiento del maíz se hace por 4 sectores en el país:

- a) Bodegas rurales CONASUPO y Almacenes Nacionales de Depósito ANDSA que manejan los granos para el consumo humano y animal
- b) Producción Nacional de semillas
- c) Comerciantes
- d) Sector rural formado por campesinos

Fuente: Sánchez, 1999

En cualquiera de los cuatro casos antes mencionados:

Se apila el grano sobre el suelo y así se deteriora el grano a corto plazo, pero como absorbe humedad del terreno y lluvia, se ataca por roedores y pájaros

El guardarlo bajo tierra es para proteger de las fluctuaciones de temperatura durante el día y la estación, por lo tanto hay una baja proliferación de insectos y hongos por la poca disponibilidad de oxígeno y alta concentración de CO<sub>2</sub>

El almacenamiento en sacos los conserva de predadores.

En cualquiera de éstas formas de almacenamiento, los factores que más influyen en la calidad del maíz son las siguientes:

**Humedad:** Es lo que más influye sobre el deterioro del grano, se recibe el grano con el valor cercano o por encima de los niveles de humedad recomendada, depende de la presión de vapor que lo rodea. El 65% de humedad relativa se considera segura, ya que el grano tiene un valor de 13% de humedad. Cuando se absorbe humedad se hace capilarmente por el pericarpio, existiendo una difusión de agua hacia el interior de las estructuras celulares del grano y del almidón, el germen absorbe de 3-5 veces más rápido la humedad que el endospermo (Hebeda y Zobel,1996). La humedad (15-18%H) activa las enzimas descarboxilasa y transaminasa porque al existir agua libre, las enzimas tienen el medio para interactuar con el sustrato que son los grupos carboxilo de los ácidos grasos o de aminoácidos y el grupo amino de los aminoácidos respectivamente.

**Temperatura:** Se consideran dos temperaturas: la del grano y la del aire, el aire caliente retiene más humedad que el frío en la saturación, si se eleva la temperatura la respiración del grano se incrementa y se activan enzimas, agotan el oxígeno y acumulan dióxido de carbono, pero depende del contenido de humedad en las semillas. Si la humedad se eleva se debe bajar la temperatura, mas ésta operación no es costeaible.

**Aireación:** Es el método más práctico para controlar la migración de humedad durante el almacenamiento, equilibrando la temperatura entre el centro y el exterior del silo. Lo que se recomienda es tener siempre un silo vacío, para cambiar de un silo a otro el lote de maíz y así evitar que en el centro se eleve la temperatura (Fidelist, 1998).

## 1.7 AFLATOXINAS

El grano de maíz se encuentra frecuentemente invadido por especies de hongos de los géneros *Aspergillus*, *Fusarium* y *Penicillium*, y éstos son los más importantes en la producción de toxinas que se han denominado micotoxinas. Las micotoxinas mas estudiadas han sido las producidas por *Aspergillus flavus*, las aflatoxinas. Durante las etapas de cosecha, almacenamiento y distribución del maíz es cuando se da esta contaminación, pues sus esporas están difundidas en el suelo (Fennema,1996; Moreno,1996)

Las aflatoxinas han sido reconocidas como sustancias con alto poder cancerígeno, teratógeno y mutágeno y el órgano más afectado es el hígado por lo que son consideradas como hepatoxinas. También se ha señalado que las esporas de *Aspergillus flavus* así como el polvo derivado de granos contaminados, al ser inhaladas pueden ocasionar cáncer pulmonar (Shotwell,1986).

Las especies de hongos productoras de aflatoxinas que pertenecen al género *aspergillus* son *Aspergillus flavus* Link que produce las aflatoxinas B1 y B2 y *Aspergillus parasiticus* Speare que produce B1, B2, G1, G2 y M (Dierer y Davis,1987) aunque no todas las cepas producen aflatoxinas. En el caso de las cepas tóxicas se ha encontrado que requieren actividades de agua mínimas de 0.85, lo que equivale a contenidos de humedad mínimos

en los cereales de 16.5% (Sauer et al,1992) y la temperatura óptima de producción de toxinas es de 25 a 35°C, pero de 36-38°C se tiene su crecimiento vegetativo. Las especies de *Aspergillus Flavus* requieren oxígeno para su desarrollo por lo tanto, bajo condiciones de baja concentración de este gas (1%) como lo es en el almacenamiento hermético, se detiene el desarrollo de los hongos y por lo tanto la producción de toxinas (Moreno et al,1988). El DL<sub>50</sub> de las aflatoxina B1 es de 5 - 10 ppb y de las G1, G2 y B2 es de 20 ppb. (NMX-FF-034-1995-SCFI).

Para conocer el contenido de aflatoxinas en los lotes recibidos de maíz en las plantas procesadoras, se efectúa un análisis cualitativo muy rápido: Se toman unos granos de maíz al azar y se colocan dentro de una pequeña cámara de luz Ultravioleta. Las aflatoxinas presentan una coloración verde fosforescente que se ve en el interior del grano a la luz ultravioleta y haciendo una comparación cuantitativa con patrones de color, se catalogan por su contenido de aflatoxinas en :

- A - sin aflatoxinas
- B - 2 - 3 puntos fluorescencia
- C - con más de 4 puntos de fluorescencia

Cuando el maíz tiene una clasificación C, se hace un análisis cuantitativo con el método de fluorometría de la AOAC. Obviamente si se tiene una cantidad mayor a 15 ppb el lote se rechaza.

### **Prevención de la contaminación del maíz con aflatoxinas**

Esto se logra al evitar que el hongo encuentre las condiciones propicias para su desarrollo y producción de toxinas.

En México el problema es serio ya que la contaminación de campo se ve favorecida por el estrés a que se ven sometidas las plantas de maíz, consecuencia de las altas temperaturas predominantes durante la formación de la mazorca; además de la escasez del agua que lleva a una condición de susceptibilidad, haciendo vulnerables a las plantas ante la invasión y colonización por el hongo productor de las aflatoxinas. Otro factor de gran importancia que propicia el desarrollo del hongo son los insectos que comunmente lo atacan durante su formación y maduración.

No hay un método práctico para eliminarlas, por lo tanto hay que prevenirlas.

La prevención de la contaminación en el campo sería controlada por las medidas que eviten que el hongo se establezca en los granos y para ello se requeriría de plantas vigorosas que resistan el estrés por agua y temperatura. De hecho ya existen hoy en día *variedades o híbridos de maíz con susceptibilidad mínima al desarrollo de hongos en el campo.*

El proceso de nixtamalización provee beneficios en este aspecto pues destruye parcialmente la aflatoxina de *Aspergillus flavus*. Arriola et al (1988) reportaron una disminución del 82.4% al obtener la masa nixtamalizada, al término de la producción de la tortilla, éste producto presentó una reducción total del 88.6%. Machorro y Valdivia (1984) realizaron una remoción de aflatoxinas del 62.2% en tortillas elaboradas por el proceso de

nixtamalización; esta baja reducción en el contenido de aflatoxinas fue debido a que se partió de un maíz altamente contaminado ( $400\mu\text{g}/\text{Kg}$  de maíz), por lo que es probable que la capacidad de reducción en el contenido de aflatoxinas está en función no solo de las condiciones de nixtamalización sino también del grado de contaminación del grano de maíz.

El maíz utilizado para el proceso de nixtamalización puede ser nacional o importado que siga las *normas de calidad establecidas por la norma mexicana, preferentemente* de lugares con clima cálido. Pero las características que debe presentar son muy claras para ambos casos: la dureza, color, impurezas, humedad y cantidad de materia extraña por lote, además de la presencia de hongos y por lo tanto de micotoxinas.

## CAPITULO 2

### Producción de tortillas

La tortilla, diminutivo de torta (pan de maíz), llamado en nahuatl tlaxcalli, significa cosa cocida, es el alimento étnico de mayor consumo en el país. Es un producto derivado del cocimiento de la masa obtenida de la nixtamalización del maíz, que se hace pasar por máquinas (en tortillerías y a gran escala) dándole forma circular con un diámetro de 13 – 14cm, espesor de 1-2 mm y 20 a 30 g de peso en cada una.

El método tradicional de elaboración de tortillas data desde los aztecas. Existen evidencias arqueológicas que demuestran que desde el origen de nuestra civilización precolombina el maíz es tratado con cal. En algunas comunidades aún se usan conchas de ostión y caracol como fuente de cal, e incluso esta práctica subsiste a escala comercial en algunos lugares de Tabasco. Los chontales afirman que la cal de ostión es inferior a la de piedra, para la nixtamalización. El origen de la tortilla se pierde en la mas remota historia de nuestro territorio. Nadie ha podido esclarecerlo aunque es tan viejo como el del maíz.

#### 2.1 NIXTAMALIZACIÓN

Hace unos 3,500 años el cultivo de maíz ya representaba el principal medio de vida en México, por ejemplo en las grandes ciudades como Tenochtitlán, que había alcanzado un alto nivel de organización. En esta época el único fin de la nixtamalización era cocer el grano para ablandarlo e hincharlo y obtener el nixtamal (del nahuatl *nexlli*, que significa cal de cenizas y *tamalli*, masa cocida de maíz (Cabrera, 1992)) y así facilitar su molienda.

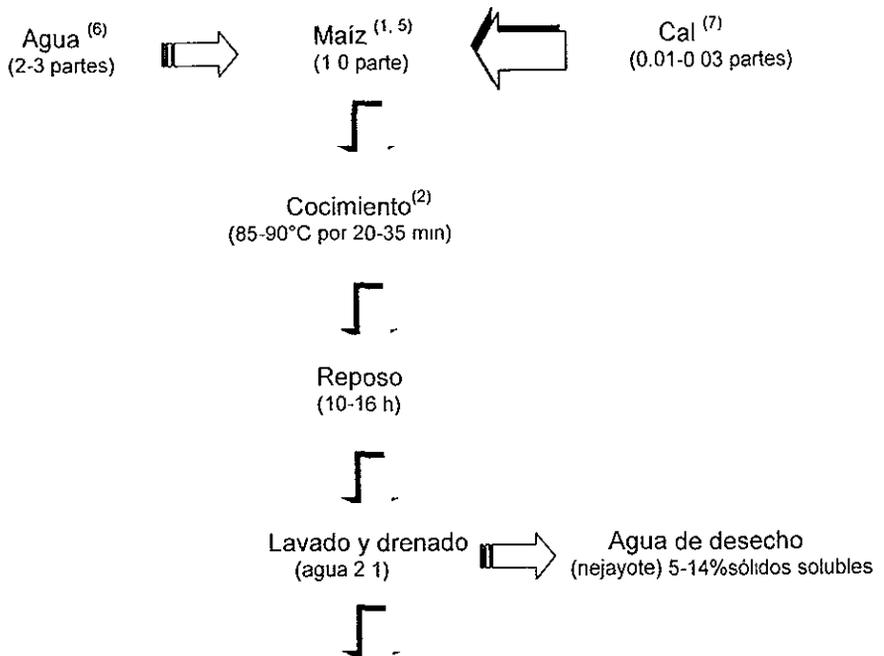
El objetivo general de la nixtamalización es gelatinizar al almidón, hidrolizar parcialmente a la hemicelulosa del pericarpio y liberar niacina (Chávez, 1973).

En la actualidad se observa que las condiciones del procesamiento para la obtención del nixtamal varía dependiendo del tipo de escala de producción (domestica, comercial o industrial), de los hábitos regionales y la variedad del grano (Fonseca, 1991).

El proceso general de nixtamalización se muestra en la figura 5 : se mezcla el grano con una relación de 1 parte de maíz por 2 veces su peso en agua y se agrega cal hidratada en 0.01 - 0.03 partes con respecto al peso del maíz (equivalente al 1.0-2 0%) Se calienta a más de 80°C de 10 a 45 min. Después debe darse un reposo de 12 - 16 horas en las que se separa más el pericarpio y el endospermo está hinchado. Se separa por decantación y lavados. El nixtamal obtenido se muele para producir masa (López, 1986; Museo de culturas populares).

El tiempo de cocimiento es distinto y depende de la variedad de maíz. Las de endospermo suave requieren menos tiempo que las de endospermo duro, efectuando la nixtamalización a la misma temperatura. Otro factor que también influye en la intensidad del tratamiento requerido es la composición y espesor del pericarpio; cuanto mas grueso sea éste, mas tiempo se necesitará de proceso (Ochoa, 1981; Bedolla y Rooney, 1982).

## Figura 5 Proceso de Nixtamalización del maíz



### • Nixtamal con 42-44% de humedad <sup>(2)</sup>

Estos parámetros son los que deben monitorearse en cada etapa señalada

- (1) Aflatoxinas
- (2) Presencia de metales
- (5) Control de plagas
- (6) Cloro en agua
- (7) Material extraño/Metales pesado
- \* PCC1

Fuente: Martínez, 1997

En relación con la temperatura del proceso se sugiere que no sea menor de 70°C, ya que el grano no se hidrata lo suficiente, resultando duro y dando lugar a una masa granulosa sin la consistencia adecuada. Así mismo, la temperatura máxima sugerida ha sido de 90°C puesto que si es mayor el grano queda demasiado suave, obteniéndose una masa flácida y chiclosa. La humedad que tiene el grano de maíz después de la cocción es de 40-44% aproximadamente y es necesario para obtener una molienda óptima (Sánchez, 1999)

Una de las empresas más importantes en la industrialización del maíz, no separa el pericarpio del nixtamal y lo muele para que forme parte también de la harina ya que argumentan que la tortilla es más flexible y mas blanca

En cada una de las etapas, tanto en la obtención del nixtamal como en la obtención de la harina, debe llevarse un control de calidad como ha sido señalado con los números en supraíndices.

Actualmente el control de calidad en su aceptación mas moderna, se entiende como un sistema de procedimientos para producir en forma económica bienes y servicios que satisfagan los requerimientos de los consumidores. Desde el punto de vista de calidad sanitaria, un requerimiento básico de los consumidores, es que los alimentos que ingieren sean nutritivos y no tengan riesgos para la salud.

Los métodos de control de calidad de los alimentos, generalmente se basan en la inspección pero esto no es suficiente para garantizar la seguridad de los mismos. Este tipo de control solo identifica el defecto cuando lo hay, pero no controla las causas que lo generan. La detección de estas desviaciones, su rápida corrección y su prevención anticipada, son el principal objetivo de cualquier metodo de garantía de calidad.

El Análisis de Riesgos, Identificación y Control de Puntos Críticos (**HACCP**) es un método de control de calidad, sistemático y continuo de supervisión y organización que pretende lograr la seguridad de los alimentos para mejorar la calidad del producto terminado y disminuir las pérdidas ocasionadas por su alteración. Este método hace énfasis en:

- La identificación de aquellas operaciones en el proceso del alimento en las cuales exista la posibilidad de que surjan desviaciones que puedan afectar negativamente la seguridad en la producción de alimentos o que alteren la integridad del producto final, como son las operaciones de la humedad del nixtamal que es necesaria para poder generar una masa cohesiva, y la operación del secado en la obtención de la harina, ya que con el 10% de humedad se puede almacenar sin el riesgo del crecimiento de microorganismos.
- PCC1: En éste paso debe efectuarse un control completo de las variables del proceso, para que el producto no pierda su integridad como tal, que es la producción de la masa con características de cohesividad y maleabilidad para producir directamente las tortillas o la harina.

Actualmente se produce harina a partir de la masa obtenida del nixtamal, ya que ha demostrado tener ventajas para los productores de tortillas: es almacenable hasta por 6 meses, de fácil manejo y el producto obtenido tiene las características deseables de color, textura y sabor tradicionalmente conocido, aunque no totalmente.

La producción de harina nixtamalizada en México está dominada principalmente por cuatro empresas. MASECA, MINSA, HAMASA y AGROINSA, basándose a nivel industrial en el método tradicional de nixtamalización (Gómez et al, 1987). En la figura 6 se muestran los pasos a seguir para obtener la harina.

**Figura 6**  
**Obtención de la harina de maíz nixtamalizado**

Nixtamal



Molienda



Masa



Tortilla (42% humedad)



\* Secado <sup>(1,2)</sup>  
 (hasta 10% humedad)



### Harina de maíz precocida <sup>(1-5, 7)</sup>

Parámetros que deben monitorearse en cada etapa señalada

- (1) Aflatoxinas
  - (2) Presencia de metales
  - (3) Tamizadores de seguridad
  - (4) Análisis Microbiológico
  - (5) Control de Plagas
  - (7) Material extraño/metales pesados
- \* PCC1

La harina se ha extendido en el gusto del público consumidor; el industrial productor de masa y tortilla cada vez ha venido prefiriendo más su uso por las facilidades y los beneficios que le proporciona; ha impulsado el desarrollo de la industria harinera como consecuencia del manejo más sencillo, tener mayor higiene en la elaboración de las tortillas como producto final y su proceso requiere 50% menos de agua y menor combustible a diferencia de la elaboración directa del maíz en masa. (Cantu G., Antonio, Grupo Industrial Maseca. (Expo tortilla 1999).

La harina de maíz nixtamalizado tiene diferentes propiedades reológicas que las de la masa fresca. La harina es menos plástica y cohesiva y sus productos se enrancian o envejecen más pronto (retrogradan) incluso con muestras obtenidas de granos enteros, masa y tortillas elaboradas a partir de harina rehidratada se obtiene que la retrogradación del almidón ocurre durante el secado pues la cantidad de almidón solubilizado decrece del 87.8% al 50.7% (Gomez y Wanisca, 1991). De hecho cuando se almacena la tortilla

elaborada a partir de harina, el almidón parcialmente gelatinizado proveen nucleos para la recristalización y retrogradación.

## 2.2 CAMBIOS QUIMICOS PRODUCIDOS DURANTE EL PROCESO DE NIXTAMALIZACION

El tratamiento térmico-alcálico causa una hidrólisis parcial de las paredes celulares y de los componentes fibrosos que facilitan la separación del pericarpio (Gómez et al,1990), por lo que hay una disminución en la cantidad de **fibra** cruda, (pérdida del 46%) pues se elimina el pericarpio junto con el agua que lleva cal.

El componente alcalino (es decir la cal) tiene el propósito de mantener el pH de la mezcla cal-agua-grano en 12.4, el cual es un nivel de alcalinidad necesario para hidrolizar las hemicelulosas del pericarpio (Sánchez,1999).

Se presenta una absorción de **agua** por parte del grano de maíz, que se favorece por la concentración del álcali y el tiempo de cocimiento. La penetración de agua depende fundamentalmente de las propiedades físicas del grano, así por ejemplo a mayor dureza ocurre una menor absorción de agua (Gómez, et al 1992).

Robles (1986), establece que al poner en contacto el maíz con la solución alcalina el ion  $Ca^{++}$ , así como el anión  $OH^-$  y el agua, se difundirán al interior de los granos gracias al gradiente de concentración que se establece entre estos tres componentes, siendo el pericarpio una barrera física a ese fenómeno. Al contacto con los componentes del pericarpio, gran parte del anión se va a consumir con la hidrólisis de celulosas y hemicelulosas, abriendo huecos por donde se difundirán con rapidez el agua, el catión y el propio anión. De igual manera los componentes del maíz tratarán de difundir al exterior, sin embargo su salida es más difícil debido al propio arreglo celular de los granos y a la dirección del flujo del agua, la cual sería el vehículo para los compuestos solubles (Rosas, 1995).

La **hemicelulosa** (polímero de pentosas  $\alpha$ -D-xilosa) es solubilizada fácilmente con álcalis diluidos, la lignina, heteropolímero de compuestos fenólicos, no se desintegra en el proceso (Buendía,1981). La celulosa, formada por  $\beta$ -glucopiranosas unidas por enlaces ecuatoriales  $\beta$  (1-4) tiende a formar cristales no se hidroliza con soluciones diluidas de álcalis, quedando prácticamente íntegra. (Robinson, 1991; Belitz y Grosch,1988).

La facilidad de desprendimiento del pericarpio y la baja proporción de éste en el grano, son criterios de calidad adoptados por la industria, dado que el punto final de cocimiento empírico se determina cuando el pericarpio comienza a desprenderse.

Ronhortra (1985), comenta que la pérdida de fibra beneficia el aprovechamiento de la proteína, ya que los altos valores de fibra dietética pueden resultar en desnaturalización de la proteína.

El principal cambio que ocurre en las **proteínas** por efecto del tratamiento térmico alcalino es con respecto a la solubilidad, reportándose una disminución en la solubilidad de las proteínas solubles en solución salina y alcohol (Vivas et al,1987). Ortega et al (1986) indican que las fracciones albúminas, globulinas, zeínas (proteínas pobres nutricionalmente) y glutelinas son insolubilizadas durante el tratamiento térmico-alcálico

pues se inducen interacciones hidrofóbicas, enlaces cruzados y la desnaturalización de las fracciones protéicas (Figueroa,1996).

Esto incluye la formación de enlaces entrecruzados y la alteración de la estructura terciaria, que es estabilizada por enlaces disulfuro y enlaces no covalentes (Paredes y Saharopulas, 1982; Vivas, Waniska 1987).

Las pérdidas químicas de las **vitaminas** tiamina y rivo flavina son 60 y 52 % respectivamente. La niacina se pierde en un 32% pero se vuelve biologicamente disponible de la forma niacianogénica en la que se encontraba.

La gelatinización es el principal cambio que ocurre en el **almidón** durante la nixtamalización: los gránulos de almidón son liberados de las celulas del endospermo, alterando la estructura cristalina del granulo de almidón (Gómez et al,1992). Hay liberación de amilosa y amilopectina (Pérez,1992; Machorro,1984).

A pH mayor a 11 las moléculas de amilosa se cargan negativamente, interaccionando con los iones calcio. Debido a esta interacción cuando los gránulos de almidón sean expuestos a un proceso de gelatinización la salida de la amilosa se dificulta y por lo tanto la extensión de la gelatinización será disminuida (Robles et al,1986).

La temperatura de nixtamalización es un punto crítico de control dentro del proceso de elaboración de tortillas pues si se calienta a temperaturas menores a las de gelatinización (i.e. 50°C) se permite que se haga un rearrreglo cristalino en la fase amorfa (Donovan et al,1983) Masas cocidas a menor temperatura de gelatinización resulta en poca cohesividad y pasta sin la textura para ser maleable (Gómez y Waniska,1991).

Durante la nixtamalización comercial se pierde más del 47% de birrefringencia, si son de endospermo suave y con un tratamiento severo; si se hace bajo condiciones mas suaves se pierde del 5-15% (Montemayor, 1983).

Como consecuencia también hay un cambio en la cantidad de almidón solubilizado (Cuadro 3).

**Cuadro 3**  
**Cantidad de almidón presente en las diferentes etapas**

Estado grano	% almidón soluble
cocido	31.4
nixtamalizado	44.7
en masa	67.8
tortillas	31.4

Gomez et al,1992

Comparando los valores de esta tabla, se tiene que si el tratamiento al grano de maíz es más elaborado, la cantidad de almidón soluble aumenta. Esto quiere decir que si se somete a un calentamiento y tratamiento alcalino, el almidón es hidrolizado más drásticamente por lo tanto el almidón soluble se incrementa, más aún si se muele ese nixtamal sufre otro tratamiento que produce el valor más alto de almidón soluble (que son dextrinas).

Sin embargo al calentar la masa disminuye, porque la cantidad de agua libre disminuye y se lleva a cabo un rearrreglo de las dextrinas generadas con los demás componentes de la masa cocida (proteínas, almidón, lípidos).

Por lo tanto autores como Gómez et al, 1992 sugieren que los cambios significativos en el gránulo y formas del almidón se dan cuando se hace la masa, resultado de la incompleta gelatinización y retrogradación. Estos granulos hinchados y parcialmente gelatinizados actúan como partículas que deforman la red de los polímeros del almidón, permitiendo la retención de gas y el inflado durante el horneado (Gómez et al, 1992).

El tratamiento con cal facilita la remoción del pericaripo, controla la actividad microbiana, mejora el sabor, aroma, color, vida de anaquel y valor nutricional de las tortillas (Rooney, 1993) además produce compuestos como hexanal, pentanol, 4-vinilguayacol, 2-aminofenona y vainilla que le infieren el sabor característico a la masa (Buttery, 1995).

La cantidad de calcio remanente en el grano se ve afectada por la dureza del grano, el grado de nixtamal (cantidad de calcio agregado) y si se lava o no exhaustivamente después del reposo (Serna-Saldivar et al, 1990). De acuerdo con Gomez (1988) la mayor cantidad de calcio en el nixtamal es retenida por el germen.

El contenido de fósforo se incrementa en un 15%, de Hierro 37% y de calcio en un 2010% (Gutierrez, 1994). En trabajos hechos por Serna-Saldivar et al (1991) se tienen que ratas hipocalcémicas absorben más fósforo que ratas que tienen niveles normales de Calcio

### **2.3 ASPECTOS NUTRICIONALES EN EL PROCESO DE NIXTAMALIZACIÓN**

El incremento en el contenido de calcio es la modificación más importante desde el punto de vista nutricional ya que el requerimiento en la dieta de calcio es uno de los problemas que más atañe a los países del primer mundo, pues éstos no tienen la costumbre de consumir tortillas como en México. Además de consumir otros productos que no proveen la cantidad de calcio necesario para satisfacer el requerimiento diario recomendado, pues se ingieren otros cereales y alimentos y aunado a esto se tiene un alto porcentaje de personas intolerantes a la lactosa, por lo que no consumen leche que podría proveerlos de Calcio y así absorberlo (Memorias Expotortilla, 1999).

El maíz contiene niacina en forma ligada, como niacitina y niacinógeno. El maíz crudo contiene 2.6 mg niacina/Kg y sólo 0.4 mg/Kg está en forma libre. El cocimiento alcalino rompe el enlace que liga a la niacina, aumentando la biodisponibilidad de ésta vitamina. Por ésta razón la pelagra (enfermedad causada por deficiencia de niacina) es desconocida en México.

## 2.4 MOLIENDA

Una vez terminado el reposo del nixtamal pasa inmediatamente al molino. La molienda del nixtamal se puede realizar en molino de martillos, de piedras, de cuchillas o de discos por efecto de corte, impacto y/o frotación (García,1994).

Su principal función es producir una masa cohesiva, ya que se ponen en contacto los macrocomponentes del maíz previamente alterados en su conformación para su mayor disponibilidad

Los parámetros de control en la molienda del nixtamal son:

1. Características de la piedra: geometría, labrado, condición (frecuencia de labrado), porosidad y separación entre piedras.
2. Velocidad de rotación: evitar velocidad excesiva, evitar desarrollo de calor excesivo (la masa debe tener una temperatura final de 50 - 80°C)
3. El material del que se encuentre compuesta la piedra debe ser de óxido de aluminio o ser piedra de lava volcánica
4. Ajustar las condiciones de molienda de acuerdo al nixtamal y la masa deseada

Los principales cambios físicos y químicos que ocurren en la molienda de nixtamal son principalmente:

1. Ruptura física de la estructura del grano
2. Dispersión de los componentes celulares
3. Gelatinización adicional de almidón: ya que existe una mayor superficie de contacto entre los carbohidratos y el agua, y como consecuencia de la molienda el daño al gránulo es mayor así que las interacciones amilosa-amilosa se ven disminuidas.
4. Desarrolla cohesión entre los componentes: al dispersarse todos los componentes hay interacciones entre éstos y el agua, principalmente con puentes de hidrógeno. La cohesividad de la masa está dada por estructuras que algunos autores se han atrevido a llamar como el pegamento de los componentes, que está formada por una mezcla de almidón gelatinizado y dispersado, matriz protéica hidratada y desnaturalizada y lípidos emulsificados y libres. (Gomez et al, 1992).
5. Formación de complejos amilosa-lípido: en el germen están presentes los triglicéridos y el almidón en el endospermo, cuando se fraccionan se rompe el límite entre éstos y entran en contacto, por lo tanto hay interacciones.

El producto resultante de la molienda del nixtamal se descarga en una tolva de alimentación múltiple que la distribuye a un sistema de secadores de tambor o tipo "flash" (pulverizador) donde se reduce su humedad al 10% (García,1994)

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 el producto final.

El secado, la operación mas crítica del proceso pues para la harina de tortillas se debe obtener un valor menor al 10% de humedad para evitar el crecimiento microbiano, además de que se requiere de un tamaño pequeño de partícula (Montemayor y Rubio,1983). El tamaño que se reporta es menor a 250µm ya que la viscosidad se ve aumentada (Gomez y Waniska,1992) A menor tamaño de partícula, la superficie de contacto entre la harina y el agua es mayor, por lo que la hidratación es más rápida.

El análisis para la composición aproximada de la harina de maíz nixtamalizada según las Tablas de valor nutritivo de los alimentos del Instituto Nacional de Nutricion, México 1996 se exponen el cuadro 4.

**Cuadro 4**  
**Análisis Proximal de la harina de maíz nixtamalizado**

Componente	g componente/100 g harina
Carbohidratos	77.40
Fibra	9.50
Proteínas	7.10
Grasas	4.50
Humedad	7.10

Fuente. Tablas de información nutrimental, INNSZ 1996

Actualmente en México se cuecen 2475 toneladas diarias de maíz para su nixtamalización. Para ésta cantidad se usan 37 toneladas de cal y 9280m3 de agua. Cuando se usa la harina de maíz nixtamalizada, la cantidad de agua agregada es aproximadamente la mitad. Por 1Kg de harina, se usan 1.5Lt de agua, se obtienen 2.5 Kg de masa y de ésta se producen 2Kg de tortillas.

## 2.5 ASPECTOS QUÍMICOS DE LA TORTILLA

La composición proximal de la tortilla se muestra en el cuadro 6.

**Cuadro 5**  
**Análisis Proximal de la Tortilla**

Componente	g componente/100 g tortilla
Carbohidratos	47.20
Fibra	4.47
Proteínas	5.90
Grasas	1.50
Humedad	42.40

Fuente: Tablas Instituto Nacional de Nutrición Salvador Zubirán, 1996

En general todos los componentes disminuyen a comparación de la cantidad contenida en el grano crudo. Esto es consecuencia de la hidrólisis alcalina que se lleva a cabo en los componentes y el posterior lavado del nixtamal (la cantidad de materia que se cuantifica en los efluentes es del 5 – 14% de sólidos solubles).

Si comparamos la composición de la harina obtenida con los componentes en la tortilla, se observa claramente una disminución. Esto se debe a que al formarse la tortilla la disponibilidad de los componentes no es la misma, porque entre ellos interaccionan y se forman estructuras complejas.

Los principales cambios que se generan en la tortilla son:

1. Evaporación rápida de agua en la superficie
2. Gelatinización adicional en el interior de la masa cocida (>50%)
3. Se fija la estructura tridimensional de los componentes, uniéndose los granulos de almidón a las proteínas, lípidos y componentes de pared celular
4. Desnaturalización de proteínas
5. Desarrollo de flexibilidad por almidón y proteína

## 2.6 LA TECNOLOGÍA EN LA INDUSTRIA DE LA TORTILLA

La historia señala diferentes momentos en el proceso de mecanización e industrialización de la tortilla. Para obtener tortillas de buena calidad intervienen varios factores, uno de ellos es la masa, que debe ser fresca y bien molida, de maíces nuevos y sin ser opacos; al igual que el tratamiento que se le da a la masa para convertirla en tortilla. Durante ese tratamiento la masa debe recibir suficiente presión para lograr una tortilla compacta que al cocerse obtenga una textura suave. Un tercero es el cocimiento.

Los sistemas de molienda en su mayoría usan piedras de lava volcánica, aunque actualmente también se tienen piedras de oxido de aluminio. La estandarización del picado de las piedras es importante para mejorar la precisión en el control de calidad de la molienda. Pueden emplearse cinceles neumáticos para el picado.

Desde 1884, año en que se inventó la primera maquina tortilladora se diseñaron máquinas en base al sistema de presión por inyección, siendo dos sistemas sobre los cuales se fabricaron todas las máquinas: El sistema de presión con prensa con el que se diseñaron las máquinas comunmente llamadas de aplastón y el sistema de laminación con rodillos.

La cronología es la siguiente:

- 1905** Aparece la tortilladora de aplastón que perdura todavía en hogares mexicanos
- 1910** Se desarrolla la máquina tortilladora con cabeza de rodillos laminados y cortadores de alambre
- 1915** Aparecieron las máquinas tortilladoras de cocimiento automatico
- 1929** Máquinas con un sistema mecánico de introducción de la masa

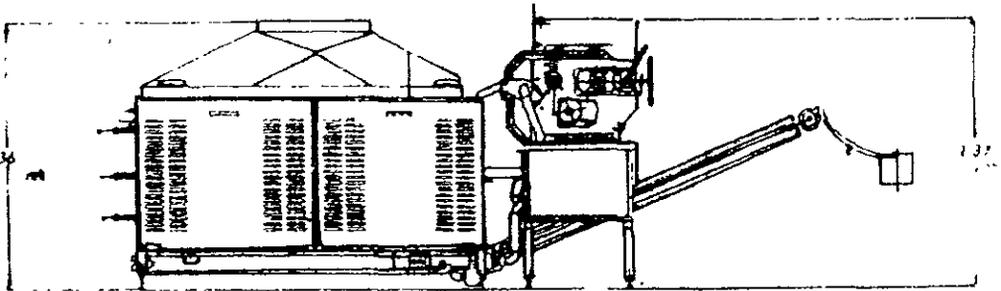
centro de la prensa y despegamiento de la tortilla (de aplastón)

- 1936** Máquina en la que se tiene un cortador formado por un cilindro de lámina que corta la cortina de masa que envuelve a ese rodillo (maquina de rodillos)
- 1938** Máquina que tiene un sistema para regular el grueso de la tortilla (maquina de aplastón)
- 1947** La primera máquina CELORIO que producía mecánicamente el cocimiento tradicional de la tortilla, la cual usaba rodillos, alambres despegadores y troquelado
- 1957** Se hace una máquina que tiene una tolva en la que se deposita la masa y se hace girar un rodillo anterior mismo que por fricción hace girar al rodillo posterior (maquina de rodillos)
- 1960** Se inventó la maquina tortilladora Verástegui: su principal característica es el cocedor de producción continua con un sistema de presión por inyección.
- 1963** Surgió la máquina CELORIO completamente reformada con sistema automático que amasa, hace tortillas, las cuece y enfría.
- 1992** Máquina RODOTEC, que cuece las tortillas, las enfría y las empaca

Actualmente existen varias alternativas para el mezclado y formación de las piezas de masa. El transporte de la masa puede hacerse con bombas de tornillo (extrusores) y elevadores de bandas. Los alimentadores para el formador son usualmente tipo tornillo horizontal o vertical. Los formadores pueden ser de rodillos con cortadores paralelos horizontales o tipo extrusor con boquilla. El mezclado adicional que la masa recibe durante el transporte y alimentación al formador debe tomarse en cuenta para que la masa tenga la consistencia adecuada al momento de la formación y corte de las piezas. En la figura 3 se muestra una máquina típica tortilladora.

La etapa de horneado consiste en su mayoría de hornos de tres pasos: en la primera se forma la cara delgada y el fuego debe ser ligero, en la segunda se forma la cara gruesa y por tanto el fuego debe ser intenso y de mayor tiempo; la tercera etapa debe ser de fuego mediano, aquí se cuece a vapor el interior de la tortilla y es cuando se infla. Un cocimiento perfecto es aquel que logra una tortilla con la mayor humedad posible sin que esté cruda.

**Figura 7**  
**Máquina tortilladora Rodotec ecológica**



Los parámetros a controlar en el horno incluyen.

- el diseño de los quemadores
- la eficiencia en la combustión de gases
- control de la distribución de temperaturas
- aislamiento
- el control de la velocidad (tiempo de residencia) y tipo de bandas (placas o mallas)

Fuente: Dr. Helbert Almeida, expotortilla 1999

La gran mayoría de los hornos de cocción tienen 2.5 m de largo. Dentro del horno existen bandas transportadoras que llevan la tortilla cruda sobre ella desde la parte superior del horno hacia la parte inferior, en tres niveles de banda. La temperatura del horno es constante en los 3 niveles y va de 120 a 150°C (según la cantidad de quemadores que tenga) y tarda de 40 a 45 segundos. Cuando se preparan tortillas para ser colocadas en anaquel, la temperatura es de 110 a 135°C, pues el producto final se va a calentar nuevamente.

La versatilidad en la operación de los hornos es importante cuando se requiere diversificación de productos que usan condiciones de horneado diferentes. El horno utiliza gas L.P. y la mayoría de las veces cuenta con guardas que disminuye la disipación de calor aprovechando el combustible mas eficientemente. Las bandas transportadoras y los motores de los rodillos utilizan electricidad. (Maquindal, 1999)

## **2.7 USO DE ADITIVOS Y ENZIMAS**

Normalmente las tortillas adquieren cierta flexibilidad al recalentarse previo al consumo pero nunca recuperan la textura original de una tortilla recién hecha. Algunos aditivos como monoglicéridos, diglicéridos, hidrocoloides y enzimas pueden usarse para mejorar la flexibilidad de la tortilla tanto fresca como almacenada.

La mayoría de los estudios relacionados con la retrogradación del almidón, y se enfocan a extender la vida de anaquel y propiedades de calidad del pan blanco, comunmente conocido como pan de caja. (Novo's Handbook, 1987).

A nivel industrial se agregan aditivos para obtener una tortilla mas blanca y mas suave. La harina acabada de moler tiene un matiz amarillento, por lo que el color blanco se obtiene con el uso de ciertos agentes oxidantes como el peróxido de benzoilo, óxido de nitrógeno y dióxido de cloro (Pawley, 1983).

Debido a la presencia de pigmentos naturales, las tortillas de maíz blanco o amarillo pueden adquirir tonalidades oscuras o grisáceas cuando existe un exceso de estos pigmentos como resultado de las manchas causadas por los daños de insectos, hongos o pajaras combinado con la retención de un exceso de cal. (Almeida y Rooney, 1996).

También se emplean acidos que reducen el pH. Los niveles ideales de pH de la masa para tortillas son de 5.5-6.5. Un pH menor de 5.5 da a la tortilla un color más claro y un sabor mas agrio mientras que a pH superior a 6.5 da un color mas oscuro, un sabor amargo y una sensación jabonosa en la boca. Para mantener el pH se agregan agentes acidulantes como el acido fosfórico, el vinagre, el fosfato monocalcico, el ácido cítrico y el ácido fumárico (Tic Gums, 1998).

Las masas que contienen aditivos se ven afectadas en su viscosidad, que es menor, proporcionando características que permiten un mejor manejo de las masas, lo que se describe como el término de manejo mecánico (Martínez, 1997).

Las gomas son usadas para mejorar la flexibilidad, pegajosidad, contenido de humedad después de hornear, una rancidez mas lenta, masas mas firmes, masticable y no gomosas, conservación de la calidad comestible y la prevención contra la deshidratación del producto. La cantidad es de 0.2 % o menores con respecto al peso de la masa y generalmente son mezclas de gomas con almidones modificados, Goma Xantana, Guar y Arabiga, Locust Bean, alginatos, carboximetilcelulosa y maltodextrinas, como recomendación del Dr Helbert Almeida. Incluso permiten que al momento de ser horneadas en los puntos en los que reside la tortilla sobre la cinta transportadora, no se pegue. Aun después de horneada la tortilla tiene una alta cantidad de humedad por lo que al momento de ser empacadas se pegan unas con otras. Con el uso de las gomas se mantiene la humedad mas tiempo e interfiere con el proceso de retrogradación mas no lo evita por completo, este fenómeno sucederá después de por lo menos 2 semanas. (Almeida y Rooney, 1996).

La teoría de las gomas en la interferencia del proceso de retrogradación es porque los polimeros agregados interfieren con el proceso de unión entrecruzada intermolecular responsable de la rigidez de los geles de amilopectina, Cuando se agregan varias gomas u otros hidrocoloides se generan interacciones entre éstos por la similitud de sus grupos funcionales y estas redes son las que retienen el agua interfiriendo con la red molecular formada por la amilopectina, germen, proteína y los demás componentes (Gums & stabilisers, 1994) Varios autores (Twillman & White, 1988; Martínez, 1997) coinciden en que la goma guar unicamente o en combinación con la carboximetilcelulosa, mantiene mayor tiempo las características de suavidad y elasticidad de la tortilla.

Los monoglicéridos, que son ésteres de glicerol con una molécula de ácido graso en cualquiera de sus posiciones, enlazan moléculas de amilosa y amilopectina lo que permite retardar la retrogradación, pero en conjunto con una goma producen un efecto negativo para la textura de la tortilla, según ensayos realizados por Martínez, 1997.

También se han aplicado enzimas  $\alpha$ -amilasas, que hidrolizan parcialmente al almidón en regiones solubles y cortan las cadenas de amilopectina de 19-21 unidades a unidades de 12-15 y así se reduce la tendencia a la retrogradación dando mayor humedad al producto (Lineback, 1984).

El efecto de aplicar  $\alpha$ -amilasas a la elaboración de tortillas fué estudiado por Iturbe, et al (1996) agregando la enzima obtenida de *Aspergillus sp* durante la rehidratación de harina de maíz nixtamalizada, obteniéndose una mejoría hasta del 48.39 % menos de almidón retrogradado en las tortillas ( la cantidad de azúcares reductores cambió de 1.54 a 50 mg de glucosa equivalente por gramo de masa). La importancia de la presencia de los azúcares reductores es que se pueden llevar a cabo reacciones de oscurecimiento no enzimático por la interacción entre las proteínas y los grupos carboxilo de éstos reductores. Además de que al oxidarse éste azúcar reductor, por el grupo hemiacetálico que tiene, se forma un ácido carboxílico que posteriormente puede favorecer el enranciamiento y como consecuencia se percibe olor y sabor a rancidez.

Se tiene como conclusión que las  $\alpha$ -amilasas si ayudan a incrementar la vida de anaquel de las tortillas, pero la cantidad que se agrega a la masa preparada depende de las pruebas que se hagan de manera analítica, conjuntamente con el análisis sensorial. (Novo's Handbook,1987; Iturbe et al,1996). Las enzimas se inactivan durante el horneado para evitar la continuación sin control del efecto durante el almacenamiento (Almeida y Rooney,1996).

La utilización de malta diastásica de cebada (0.01-0.03%) también aumenta la suavidad y pegajosidad de la masa produciendo tortillas mas suaves pero quebradizas. Es decir se producen tortillas mas suaves pero con menor capacidad de enrollarse sin quebrarse pues se crean sitios de inflexión que también funcionan como puntos débiles donde pueden ocurrir fracturas (Almeida,1999).

La malta diastásica es una mezcla de varios tipos de enzimas  $\alpha$  amilasas que actúan sobre varios componentes químicos de la masa. Sin embargo hay que tener un control exacto del tiempo y condiciones de mezclado, pues es sobremezclado daña las propiedades de la masa (Almeida y Rooney,1996). La concentración de enzimas debe ser mínima ya que los componentes de la masa son muy susceptibles al ataque enzimático que cambian rápidamente las propiedades de la masa tan pronto como entran en contacto durante la rehidratación. La combinación de malta diastásica y carboximetilcelulosa mejoran la masa en su textura y la de las tortillas Sin embargo el control exacto de tiempo y condiciones de mezclado son cruciales ya que el sobremezclado daña las propiedades de la masa y las tortillas La masa con malta y CMC es suave y fácil de laminar y cortar.

La levadura en polvo es un ingrediente que se usa entre 1-2% y es para provocar que la tortilla se esponje más, se obtenga un sabor mejor y el olor, provocado por los compuestos fenólicos y aldólicos. Se recomienda que si la masa excede los 32°C se sustituya por un agente de fermentación a base de sulfato de sodio-aluminio,de lo contrario la temperatura alta activará la levadura en polvo en la mezcladora y no se generará una cantidad suficiente de gas en el horneado. El resultado es una tortilla mas dura .

La sal es un ingrediente opcional en la masa que se usa principalmente para aumentar el sabor (a niveles de 0.5-2.5%). Tiene algún fortalecimiento del gluten y hace una tortilla más consistente (Tic Gums, 1998).

Aunque actualmente se tiene en muchas empresas como Minsa la característica de agregar gomas a la harina de maíz nixtamalizada que elabora, se deben seguir realizando investigaciones en cuanto a la combinación, proporción y concentración óptimas de la mezcla enzima-hidrocoloide o monoglicérido-gomas pues cada vez son más los proveedores que ofrecen aditivos con ventajas para productos como la tortilla.

Antiguamente se preparaban tortillas a partir de nixtamal molido, preparándolo éste con la finalidad de tener una molienda más fácil. Actualmente se conoce cuáles son los principales cambios que se llevan a cabo en los componentes del grano de maíz: al calentarse con cal, las consecuencias de agregar hidróxido de calcio y posterior molienda en molinos de piedras. La importancia que siempre ha representado el proceso de elaboración de tortillas para los innovadores mecánicos que proponen mejoras en modelos anteriores para hacerlos más sencillos, y el estudio que se ha extendido hacia la conservación en las características sensoriales de la tortilla, agregando aditivos que influyan en mantener la humedad del producto, mejorar su color y prevenir su dureza en menor tiempo. También existen aditivos que tienen la función de proteger contra ataque microbiano al producto, pero de éste tema se tienen muchos estudios, por lo que en éste escrito se pone mayor atención a las características sensoriales más que a las microbiológicas. Esto puede complementarse con bibliografía oficial.

## CAPITULO 3

### AVANCES EN LA MANUFACTURA DE TORTILLAS CON MÉTODOS ALTERNATIVOS A LA NIXTAMALIZACION

La modernización de procesos en la industria de la tortilla es fundamental para poder competir con la calidad en el mercado actual. Los cambios en la industria de la tortilla tienden a la estandarización y control de procesos, control de calidad de la materia prima y producto terminado. Las tortillas de maíz ya no son únicas del mercado mexicano.

En México las harinas instantáneas han adquirido popularidad entre la población urbana debido a que eliminana las labores cotidianas, intensivas y tediosas del proceso tradicional y se pueden almacenar hasta por seis meses.

En la década de los 70 se efectuaron investigaciones dirigidas a acelerar el proceso de nixtamalización con el objetivo de acortar tiempos de procesamiento. En estas investigaciones se emplearon vapor de agua como fuente de calor, cocimiento a la temperatura de ebullición del agua y en algunos casos la eliminación del reposo. Sin embargo la calidad del producto final, masa o tortilla resultó deteriorada.

Una de las principales desventajas para la preparación actual del nixtamal es su alto nivel de sólidos solubles (6-15%), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y el gran volumen de nejayote de desecho que se obtienen ya que, como ya se describió anteriormente, las partículas sólidas son fibra, almidón, proteína y germen soluble. Todos estos factores son de importancia nutricional, económica y comercial para la industria de la tortilla. (Figueroa et al,1994).

Por lo tanto se han sugerido procesos alternativos para evitar todas éstas limitantes que el proceso de nixtamalización tradicional tiene. A continuación se describen los métodos innovadores para producir masa o harina de maíz nixtamalizado

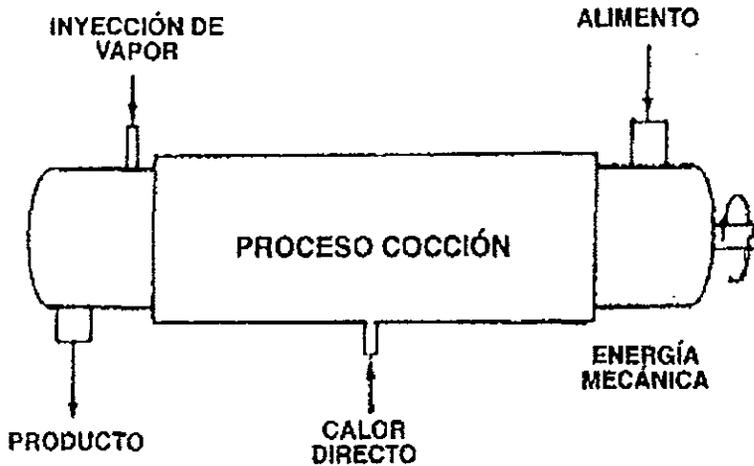
#### 3.1 EXTRUSIÓN

La **extrusión** es un proceso utilizado en la industria harinera desde el siglo pasado, especialmente para preparar pastas de trigo. Se empezó a usar esta operación unitaria para cocer almidones de cereales (especialmente de arroz) y la preparación de harinas precocidas para papillas empleadas en alimentos institucionales (Durán,1988).

El proceso fundamental de extrusión consiste en un aparato generador de presión, el cual causa que el producto se mueva como un líquido en un flujo laminar a través de una resistencia

Estos dos componentes, flujo y resistencia, determinan el proceso de extrusión y el tipo de producto que hace. El esquema de un extrusor actual, se muestra en la figura 8.

**Figura 8**  
**Extrusor esquematizado con sus principales elementos**

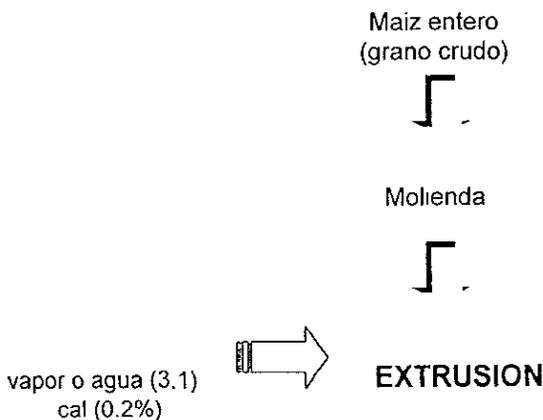


Fuente Internet

Con este sistema se busca tener una eliminación de contaminación por efluentes principalmente desechos de nejayote, así mismo se busca la reducción de tiempos de procesamiento, mejoramiento de la calidad nutricional y sensorial de la tortilla, reducción en el consumo de agua, gastos de energía menor y aumento en los rendimientos de producción.

En 1978 se da una patente para el procedimiento de cocción de maíz por extrusión, hecha por Carmen Durán, de los que se sucedieron estudios de esta propuesta. El diagrama del proceso de extrusión se esquematiza en la figura 8.

**Figura 9**  
**Proceso de extrusión para la nixtamalización del maíz**



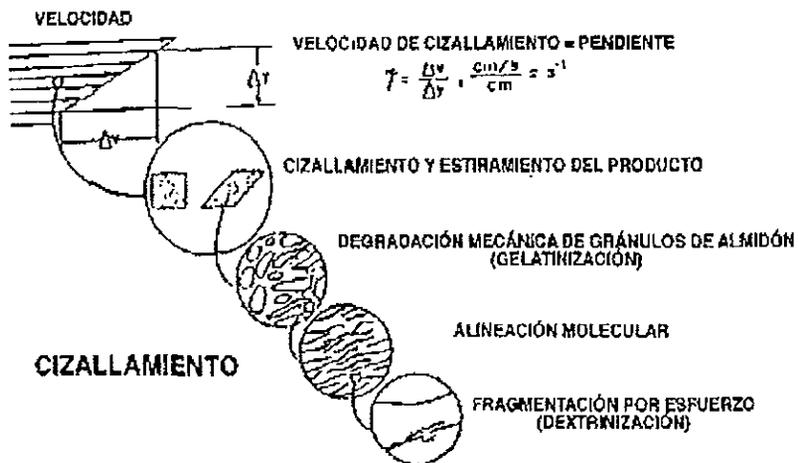
Fuente. La industria de la masa y de la tortilla, 1996

De igual manera, se elaboran harinas a partir de del producto extruido con un valor de 10% de humedad o directamente se elaboran tortillas.

Los extrusores son equipos que dan forma uniforme a los productos de manera continua, al forzar los materiales a fluir por medio de un tornillo sin fin encerrado en un cilindro, conectado a un motor que lo hace girar (Bazúa,1996; Martínez,1997). Los tornillos no sólo movilizan el producto hacia adelante, generando presión, sino que también mezclan el producto, ayudando a la generación y transferencia de calor, la texturización y homogeneización.

El corte hace que un producto se estire, acelera la gelatinización de almidones y otras reacciones, alinea moléculas de cadena larga y puede depolimerizarlas (causando dextrinización). Este fenómeno se muestra en la figura 10.

**Figura 10**  
**Esquema del proceso de dextrinización**



Los extrusores deben generar calor (energía) hacia el producto. La energía es consumida por reacciones endotérmicas, como la gelatinización de los almidones o desnaturalización de proteína.

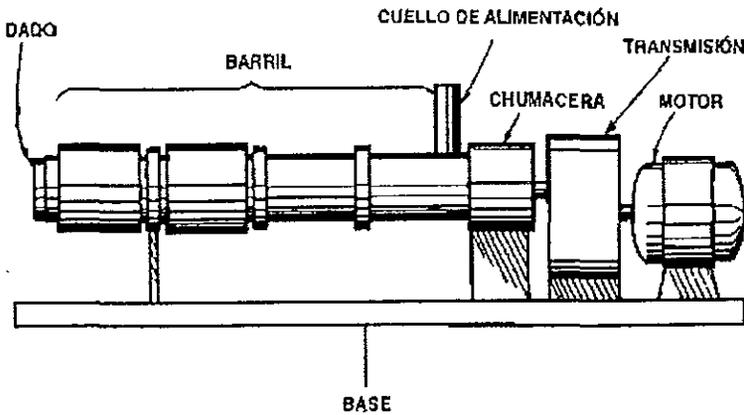
### **PARTES DE UN EXTRUSOR**

El tornillo es la parte central del extrusor que ejecuta las operaciones de mezclado, amasado, corte, cocimiento y avance de material, que se llevan a cabo dentro del cilindro y por último la boquilla que le da forma al producto final (Harper, 1981).

El ensamble total se mantiene en una alineación rígida por medio de una base firme. El tornillo y el barril pueden estar segmentados.

Típicamente, el tornillo está montado en un eje, en donde se encuentra engranado por llaves (esquema figura 8). El barril puede tener una cubierta reemplazable, endurecida, y puede ser liso o con ranuras.

**Figura 11**  
**Esquema del tornillo que hace funcionar al extrusor**

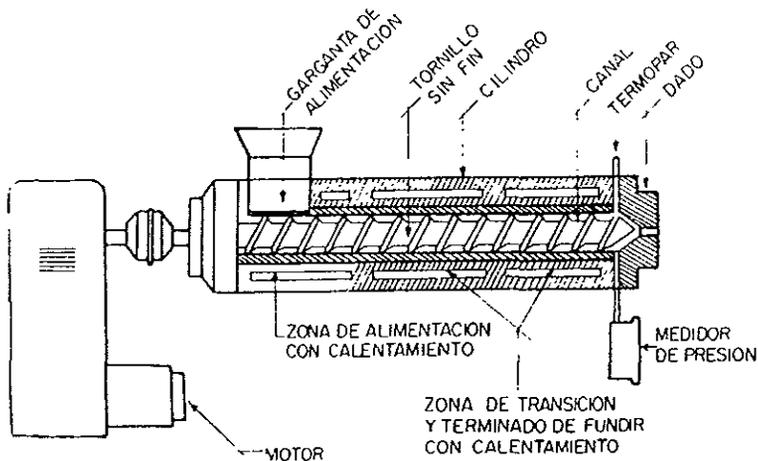


Fuente: [www.acesvive.edu/asamex/extrusion1.htm](http://www.acesvive.edu/asamex/extrusion1.htm)

El extrusor básico de tornillo, consiste en un tornillo o tornillos rotando en un barril al cual encajan casi exactos, siendo movilizadas por un motor a través de una transmisión para reducir o variar la velocidad.

El producto emerge por un dado (resistencia) con uno o más orificios del tamaño adecuado para cada aplicación en particular. Al otro extremo del barril hay una chumacera principal que da soporte al tornillo y un orificio en el barril (cuello de alimentación) a través del cual el producto se alimenta al tornillo.

**Figura 12**  
**Extrusor sencillo**



Otra parte importante del extrusor es el cilindro, que es donde se realiza el mezclado, corte del material y elevación de la temperatura del producto que se está elaborando. El material impulsado por el tornillo tiende a deslizarse a través del cilindro; para regular este deslizamiento se agregan obstrucciones al cilindro que pueden ser ranuras con bordes filosos, pernos, etc. que al chocar el producto en proceso contra los pernos o bordes del cilindro se aumenta el tiempo de residencia, produciendo la fricción que eleva la temperatura y la presión hasta un valor predeterminado (Harper,1981). Esto también depende del tamaño de las partículas que se introduzcan en el espacio entre el tubo envolvente y los álabes del tornillo, además del contenido de humedad de las partículas (Durán,1996).

A lo largo del cilindro y del tornillo se distinguen 3 secciones (Martínez,1997):

1.- La sección de alimentación, caracterizada por alabes hondos, los cuales fácilmente aceptan los ingredientes crudos y los transportan hacia la salida del extrusor. Durante el transporte, los materiales son transformados en una masa continua, el aire es expelido y los espacios vacíos son eliminados, haciendo que los alabes se llenen completamente.

2.- La sección de compresión o alimentación, en el cual los ingredientes húmedos se convierten en una masa termoplástica por la gelatinización del almidón y la hidratación de la proteína. La zona de compresión es usualmente caracterizada por la disminución en la altura de los alabes, los cuales reducen el área de sección transversal del tornillo para el flujo; esto incrementa la relación esfuerzo cortante:energía mecánica suministrada al alimento, lo cual produce un aumento de temperatura.

3.- La sección de cocimiento, que es donde el flujo, la presión, compresión y velocidad de corte son altos. Esta zona se caracteriza por tener una altura menor de los alabes que en la zona de compresión. La masa termoplástica se transforma en una masa plástica como resultado de la conversión de la energía mecánica en energía térmica, la acción del corte en esta zona homogeniza adición más calor a la mezcla. En esta zona se recibe el material, comprime, homogeniza y se hace pasar a través del dado a presión constante. El dado tiene la función principal de dar forma y el tamaño deseado al producto extruido.

La contribución de esta tecnología aplicada a la cocción del maíz es lo que permite que el grano se muele en crudo y conserve su fibra, germen y demás componentes y que se cueza en condiciones alcalinas, mediante la adición de cal, dando a las masas resultantes las características de textura y sabor deseable, además de mantener la calidad nutricia de las masas de granos nixtamalizados e incluso superarla ligeramente (Bazúa,1988).

### ***Estudios hechos con la tecnología de extrusión***

En 1978 Guerra y colaboradores prepararon harinas instantáneas usando una compresión de 1 1 y una relación longitudinal:diámetro de 1:1. Las tortillas obtenidas de las harinas extruidas fueron comparadas sensorialmente con tortillas hechas con harinas nixtamalizadas, los jueces no detectaron diferencias significativas entre las tortillas hechas por ambos procesos.

Bazúa (1979) empleó un extrusor Wegner X-5 y preparó masa fresca y harina instantánea. La relación de compresión del tornillo fué 1:1 y no se detectaron diferencias significativas en las evaluaciones sensoriales de las tortillas extruidas y nixtamalizadas.

En 1986 Smietzana y colaboradores demostraron que la extrusión varía las propiedades fisicoquímicas de las proteínas, ensayando en trigo mas caseína y obteniendo que la solubilidad en soluciones amortiguadoras de fosfato se reducen pues las gluteínas y prolaminas forman agregados, produciéndose el bloqueo de los grupos polares.

Johnson y Williams (1992) reportaron la elaboración de harina instantánea a partir de un extrusor Brabender empleando temperaturas de 100,120 y 130°C en las tres zonas de calentamiento del equipo. Las tortillas obtenidas de esta masa no presentaron diferencias significativas al ser comparadas con las elaboradas por el proceso tradicional.

Sin embargo Serna y Rooney (1987) realizaron el estudio sobre extrusión como proceso alternativo para la elaboración de tortillas a partir de harinas instantáneas y obtuvieron que no es factible, pues los extrusores empleados en las investigaciones diseñados para procesos que requieren de altas temperaturas y altos grados de cizallamiento, lo que resulta en un elevado grado de gelatinización en el almidón originando una masa pegajosa y difícil de manipular para la obtención de tortillas de buena calidad. Por lo tanto para hacer tortillas es necesario diseñar equipos con características específicas para procesar estos productos, así como realizar una evaluación detallada de los parámetros mas importantes que afecten la calidad del producto como el contenido de humedad de la harina, la configuración y velocidad del tornillo, tamaño y forma del dado y temperatura del extrusor.

En 1992 Johnson y Horner utilizaron un extrusor Brabender compuesto por un tornillo sencillo en el que obtuvieron que cuando se hace la alimentación de maíz molido en un molino de piedras previamente acondicionado a 51% humedad se tiene un sobrecocimiento del maíz, corroborando ésto con el amiloviscograma que indica una excesiva gelatinización. En sus resultados se obtiene que con 45% de humedad y 135°C en el tornillo, se obtiene una masa cohesiva, no pegajosa y las tortillas resultaron con un color mas uniforme y claro a comparación de las tortillas hechas con el proceso de extrusión sin cal, teniendo una diferencia significativa ( $P < 0.01$ ).

Este estudio concuerda con resultados ya obtenidos de que el contenido de humedad del almidon afecta en mayor magnitud al almidón que la temperatura del tornillo, llamandole a su variable radio de expansión del almidón (Owusu-Ansah et al,1984; Bhattacharya y Hanna,1987; Chinnaswamy y Hanna, 1988). La expansión es una función de la cantidad de la fuerza de cizalla durante la extrusión. Bajo contenido de humedad causa una mayor fuerza de cizalla resultando en una expansión mayor (Davidson et al,1984; Diosady et al,1985, Chinnaswamy et al,1989) En la práctica se puede llevar a cabo no solo una vez la extrusión sino hasta dos veces, teniendo una expansión radial menor que se atribuye a la reasociación de las moléculas de almidon después de la primera extrusión, con una humedad del 14% en las dos ocasiones

Lo que se puede argumentar acerca del proceso de extrusión es que sí es un método alternativo para la obtención de harina de maíz nixtamalizada o para la obtención de masas frescas precosidas. Lo que se tiene que manipular son las variables del extrusor.

temperatura, velocidad de flujo de maíz triturado y su humedad, sobre todo si se pretende hacer un proyecto a largo plazo y a escalas industriales. Obviamente no se debe descuidar el control de calidad de la materia prima, pues esto es también un punto crítico de control. La reducción en los puntos mas importantes que ofrece como ventaja el proceso de extrusión son:

**Cuadro 6**  
**Cuadro comparativo del proceso de Nixtamalización y extrusión**

	Nixtamalización	Extrusión
Tiempo de proceso	20 h	15 min
Consumo de agua	6:1	1:1
Aguas de desecho	5:1 DBO alta	ninguna
Consumo de energía	cocción	molienda
	molienda	extrusión
	remolienda	remolienda

Fuente: La industria de la masa y la tortilla, PUAL, 1996

Las ventajas que este proceso ofrece son:

- Es continuo
- Sin efluentes contaminantes
- Equipo compacto y fácil de operar
- Tortilla de buena calidad (sensorial y nutricional)
- Reduce el consumo de agua en un 90%
- Reduce el tiempo de procesamiento de 14-18 h a 15 min
- Disminuye el gasto de energía
- Aumenta el rendimiento de productos (masa y tortilla)
- Facilita la incorporación de nutrimentos

### ***Harina de maíz nixtamalizada enriquecida***

Con el proceso de extrusión se llevan a cabo actualmente proyectos a gran escala para elaborar harinas de maíz nixtamalizado enriquecidas, extruyendo el elemento que provee la suplementación, que suele ser la soya. El procedimiento por el que se obtiene el nixtamal con el maíz si se lleva a cabo con el proceso tradicional. El sorgo no es extruido, pero se muestra en ésta sección ya que también es usado para aportar suplementación.

Actualmente existen en nuestro país áreas geográficas y sectores de la población en condiciones de marginación y pobreza, teniendo un ingreso promedio de solo dos salarios mínimos. Hoy en día existen organizaciones como el Fidelist (Fideicomiso para la liquidación al subsidio de la tortilla) que como responsable del Gobierno Federal operan el Programa Tortilla sin costo en apoyo de las familias urbano marginadas mas necesitadas del país, teniendo 2.299 millones de familias beneficiadas.

Ya que la principal fuente de calorías para las familias marginadas se da a través de la tortilla se sugiere realizar una fortificación que es una redistribución de nutrientes en un alimento, en este caso tortilla que es un alimento consumido por todas las personas de la población objetivo, que se hace a mediano plazo en la tortilla de maíz nixtamalizado. De ésta población se sabe que:

- La ingestión de vitamina A, especialmente en zonas rurales, por debajo de recomendaciones
- Existe un 70% de deficiencia en ingesta de Vitamina C
- Deficiencia en ingesta de vitamina A en un 72%
- Un 64% de deficiencia en ingesta de Vitamina B12
- En zonas rurales existe un 10% de los niños con niveles plasmáticos de retinol deficientes
- Deficiencias marginales de vitamina E, riboflavina
- El 70% de la población es deficiente en hierro
- Hay deficiencias marginales en Zinc

Para que se logre dar la fortificación de manera adecuada en las tortillas de maíz nixtamalizado, o para cualquier otro alimento se deben cumplir los siguientes requisitos:

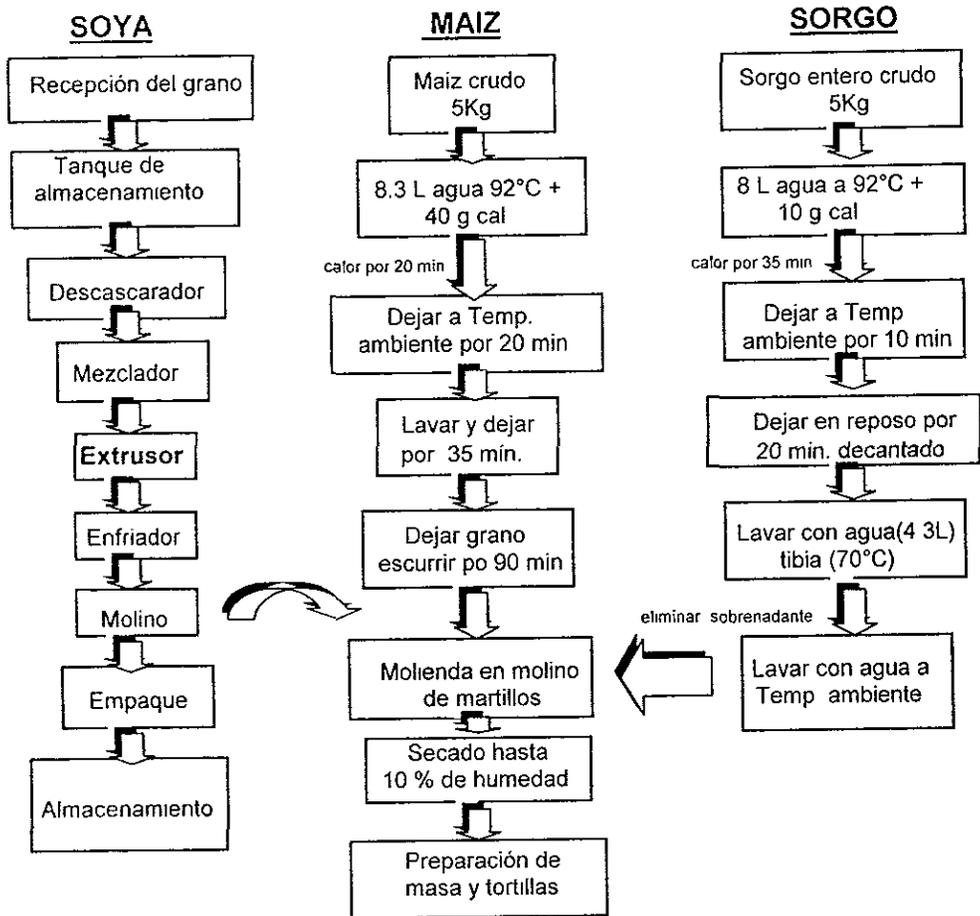
- El alimento fortificado debe permanecer estable bajo condiciones estandares de almacenamiento y uso
- Los nutrientes adicionados deben estar fisiológicamente disponibles en el alimento
- El enriquecimiento no debe producir cambios no deseados en las características organolépticas del alimento
- No debe elevar sustancialmente el costo de fabricación del alimento

Desde 1973 la Universidad de Sonora comenzó a experimentar diferentes maneras de enriquecer la tortilla añadiendo proteínas en el proceso de nixtamalización, en forma de soya, sorgo, germen de trigo, arroz, garbanzo y trigo. Actualmente se hacen harinas enriquecidas con soya principalmente y con sorgo.

Las pruebas demostraron que un 6% de harina de soya es adecuado para incrementar en forma importante valor nutritivo de la tortilla común y para no perturbar ninguna de sus propiedades organolépticas o textura. De hecho la proteína de soya absorbe y retiene mayor cantidad de agua que las proteínas de los cereales: de 477 Kg de maíz podrían producirse 869 Kg de masa, con 477 Kg de una mezcla maíz-soya se obtuvieron 880 Kg , es decir 2.5% mas de agua.

La soya puede o no ser sometida a un calentamiento en agua con cal que, según el Dr Wolf, esto podría eliminar el factor de flatulencia; al igual que el sorgo.

**Figura 13**  
**Proceso de elaboración de harinas enriquecidas**



Fuente: Martínez, 1996

El análisis proximal de la tortilla elaborada con harina enriquecida la da el Instituto Nacional de Nutrición "Salvador Zubirán" en sus tablas que publicó en 1996, se muestran en el cuadro 7. En comparación con la tabla de la tortilla elaborada con harina de maíz nixtamalizado, el valor de las proteínas se ve elevado una unidad, es decir, existe 1 gramo más de proteína por cada 100 g de tortilla, viéndose aquí reflejada la fortificación de éste producto. El valor de las grasas también se ve incrementado, ya que el contenido de extracto etéreo en la soya es de 25 g/100 g, el valor de 1.5 g/100 g tortilla se eleva a 4.10 g/ 100 g.

## Cuadro 7

### Análisis proximal de la tortilla elaborada de harina enriquecida

Componente	g de componente/100 g alimento crudo
Carbohidratos	41.90
Fibra	2.20
Proteína	6.80
Grasa	4.10
Humedad	43.80

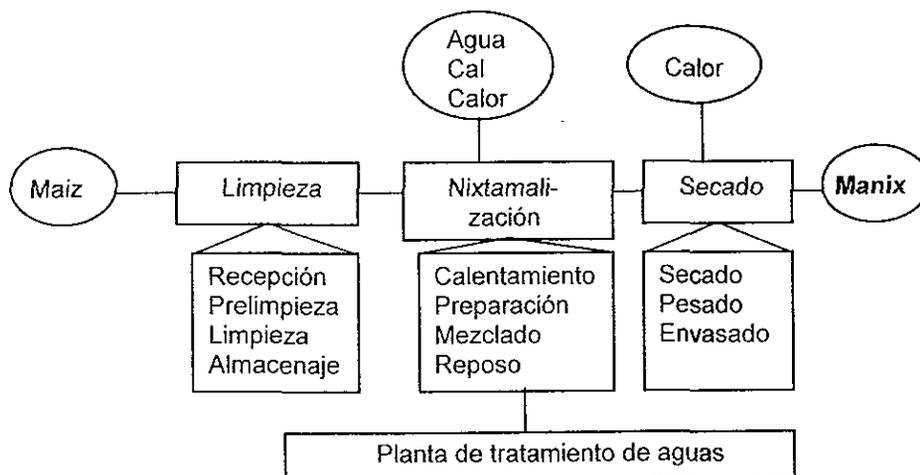
Fuente: Tablas Instituto Nacional de Nutrición Salvador Zubirán, 1996  
 Datos en base de 100 g de alimento crudo en peso neto

### 3.2 PROYECTO DEL MANIX

En el grupo MINSa se ha desarrollado un proyecto llamado Manix para producir maíz nixtamalizado de escala industrial, que tiene un proceso de producción que incluye tres etapas básicas.

La primera es la recepción, prelimpieza, limpieza y almacenamiento del maíz. La segunda etapa es la nixtamalización en la que se cuece el grano con agua y cal y después se deja en reposo. Posteriormente el maíz nixtamalizado se pasa a un secador en donde se le reduce el contenido de humedad, se pesa y se coloca en sacos para enviarlo a los molinos. Este producto es denominado MANIX.

**Figura 14**  
**Proyecto del Manix (Etapa 1)**



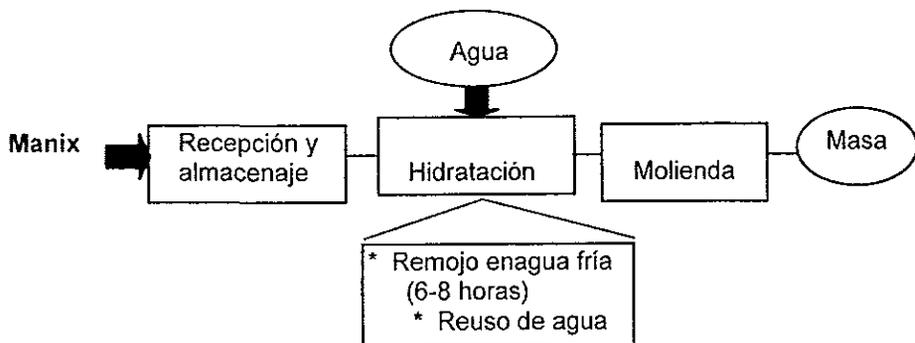
Fuente. Martínez, 1996

Es muy importante elaborar el Manix a partir de granos enteros para garantizar que la masa no de problemas de viscosidad posteriormente (Ing. Sánchez, Minsa).

Lo que aporta este proceso, es una moderna planta de tratamiento de aguas, con la que se recupera el agua residual para reusarla y los sólidos sedimentables se usan como complemento para alimentos balanceados. Así esta planta no contamina.

El Manix se envía a los molinos que siguen un proceso muy simple. Se hidrata el grano dejándose remojar con agua fría por seis u ocho horas y después se hace la masa. El agua remanente de la hidratación se puede volver a usar e hidratar otros lotes de Manix. Esta segunda etapa se esquematiza en la figura 12.

**Figura 15**  
**Proyecto del Manix (Etapa 2)**



Fuente Martínez, 1996

El proceso ofrece ventajas a los molinos: se incrementan los rendimientos ya que rinde dos toneladas de masa por una de manix, el maíz rinde 1.8 toneladas de masa por tonelada.

Además una ventaja tecnológica es que se recupera como subproductos los residuos sólidos del agua del nejayote por que como ya se dijo se usan como base para alimentos balanceados. La merma de maíz es del 6% (contra 8% que es el normalmente perdido), uso de 80% de agua potable/tonelada de maíz con el uso de 20% agua recuperada/tonelada de maíz. Esto es un ahorro del 20% de agua del pozo.

### **Aspectos químicos del Manix**

El calentamiento del maíz se hace hasta 83°C que es la temperatura de gelatinización del almidón, y a diferencia del proceso tradicional, no se elimina la cascarilla, por lo que la tortilla al final queda mas blanca.

Si es maíz con cal es secado adecuadamente y no se fractura, el resultado es una tortilla mas flexible que la obtenida por el proceso tradicional, pues al tener la cascarilla las gomas naturales que contiene ayudan a mantener su suavidad característica. Ya que el maíz con cal es secado en dos hornos y después bombeado por un conducto de aproximadamente 10 cm de diámetro, se fractura al pasar por los codos de la tubería y al

ser hidratado nuevamente para producir la masa, ésta es pegajosa y muy chiclosa, lo que presenta un inconveniente para el productor, porque al romperse la matriz protéica se fractura y las cadenas de amilosa se ven distribuidas más azarosamente y existe más almidón soluble a diferencia del proceso de nixtamalización normal.

Aunque el grupo Minsa ofrece un alto rendimiento resultado del Manix, las condiciones del productor son los que finalmente influyen mas en la elaboración de la masa. Para el tiempo y calidad del molido, no hay que olvidar que se tiene la cascarrilla del grano de maíz en el MANIX, y esta ofrece ventajas siempre y cuando se incorpore correctamente a la harina, lo cual es posible si se hace una molienda buena.

*La tortilla obtenida tiene las características de color blanco, suavidad, sabor y olor igual que los que presenta la tortilla elaborada por el método tradicional.*

El agua que sale del proceso es tratada en una planta de tratamiento, en la que primeramente se disminuye la temperatura de 45°C aproximadamente a temperatura ambiente, para poder agregar en el primer tanque de velocidad alta el polímero floculante. Este polímero tiene como tarea neutralizar las cargas y formar redes entre los solutos para que después de hacer contacto en el tanque de alta velocidad, pasen a un segundo tanque en el que la velocidad es menor y así flocule formando sedimentos llamados lodos. Estos lodos son descargados a la red municipal sin ningún problema.

La calidad fisicoquímica y microbiológica del agua es buena según la Norma Oficial Mexicana 027 - 93 para agua potable, por lo que para el proceso de la planta que utiliza el proceso tradicional, se usa un 20% de esta agua y un 80% del agua que extraen del pozo la que tiene una calidad fisicoquímica y microbiologica tal que no la cloran ni le hacen ningún tratamiento, porque posteriormente se somete a un proceso de alta temperatura y pH extremo, tal que cualquier posibilidad de contaminación se reduce casi a cero (Ing. Sanchez, Minsa).

Lamentablemente como consecuencia de la liberación del precio de la tortilla y por lo tanto la posibilidad de los productores de harina de maíz nixtamalizado para comprar a diferentes abastecedores, el Manix queda en un plano de producto, aunque bueno, más caro que el maíz crudo y sin procesar, por lo que esta línea de producción se ha reducido a elaborar pequeñas cantidades de Manix que se exporta a Europa y Estados Unidos países en los que se elabora hojuelas, golpeando cada grano para obtenerlas

La producción de MANIX actualmente no resulta rentable y no se produce masa para fabricar tortillas a partir de él.

### **3.3 OBTENCIÓN DE HARINA NIXTAMALIZADA POR MICROONDAS**

Las microondas forman parte del espectro electromagnético entre las ondas de radio e infrarrojo y son generadas por medio de tubos de potencia especiales llamados magnetrons, klystrons y amplitons. Las microondas son ondas electromagnéticas de baja longitud en el rango de 0.1 a 1 metro y con frecuencias entre 300 y 3000 megaciclos por segundo ( Martínez, 1994).

El Código de Regulación Federal de los Estados Unidos de Norteamérica define que Radiación es la frecuencia de radio (incluyendo frecuencias de microondas) que puede ser usadas seguramente para calentamiento de alimentos bajo las siguientes condiciones

A) La fuente de radiación consiste en un equipo electrónico que produce ondas de radio, con frecuencias específicas y autorizadas por la Comisión Federal de Comunicaciones.

B) La radiación es usada o aplicada para uso en la producción de calor en alimentos, siempre que el calor sea necesario y efectivo en el tratamiento o procesamiento de alimentos.

El calentamiento convencional es realizado por conducción de energía de la superficie del material hacia su interior, por otro lado, las microondas poseen la habilidad de penetración de ondas hacia el interior del material y generan calor uniformemente a través de materiales eléctricamente no conductores (García, 1994).

La energía de microondas emitida al alcanzar un objeto es reflejada, transmitida o absorbida dependiendo de diversos factores como el coeficiente dieléctrico, forma y porcentaje de humedad del objeto de estudio. De esta manera no todas las sustancias pueden ser calentadas por esta energía, muchos materiales como plástico, vidrio, papel, cerámica y madera son transparentes a las microondas (Carrasco et al, 1991).

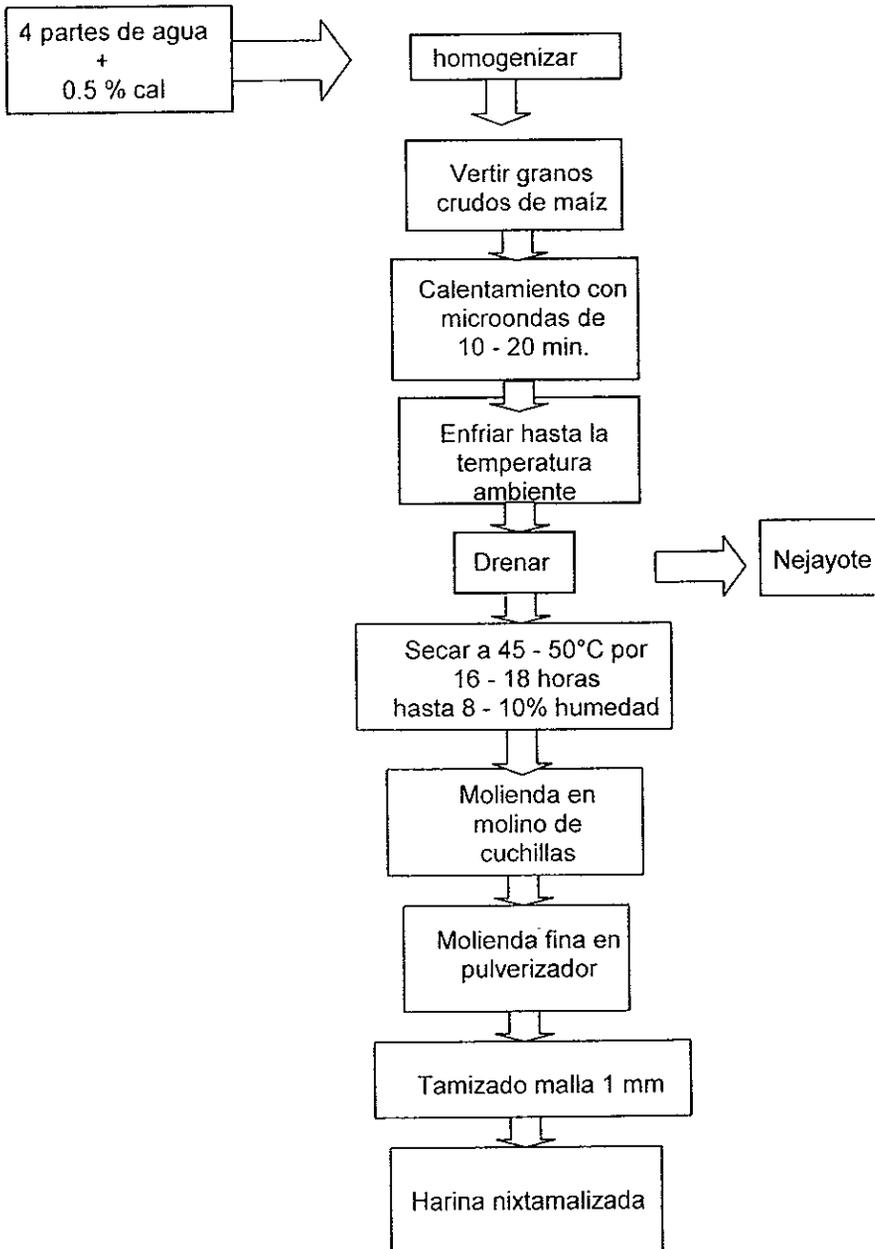
Materiales sólidos que son eléctricamente neutros contienen configuraciones moleculares que son eléctricamente cargadas y cuando son expuestos a microondas, las moléculas oscilan o vibran y el calor es generado por la fricción entre ellas (García, 1994).

Actualmente se tienen algunas aplicaciones comerciales de microondas para fines de prolongar la vida de anaquel de los productos (carne, elaboración de productos a base de papa), teniendo además algunos otros beneficios como: mejora en el rendimiento, la calidad sanitaria, efecto antibacteriano y algunas ocasiones el producto final es más económico; en el proceso se tiene mayor eficiencia, disminuye la mano de obra, mayor eficiencia en la sanidad (Mancilla, 1984).

Desde 1974 se han venido haciendo estudios en diferentes centros de investigación para aplicar esta tecnología al maíz. El estudio más reciente lo hace el Dr. Juan de Dios Figueroa en el Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del Politécnico CINVESTAV. Como propuesta de un método alternativo a la cocción tradicional

El proceso que propone es el siguiente:

**Figura 16**  
**Proceso de elaboración de harina por el proceso de microondas**



Fuente Martinez, 1996

## ***Cambios producidos en los componentes de la harina nixtamalizada por microondas***

El proceso de cocimiento por microondas provocó una reducción en el contenido de proteínas de las muestras evaluadas: el cocimiento alcalino alteró la distribución molecular de las diferentes fracciones proteicas. En las diferentes fases en las que se aplica calor se da la desnaturalización de proteínas e interacciones hidrofóbicas que provocan bajas cantidades de proteína soluble en el producto final y altas cantidades de proteínas insolubles en el líquido de cocimiento (Serna-Saldivar, et al 1992).

El almidón sufre una hidratación ocasionada por la interacción de las ondas con moléculas polares que al ser sometidas a un campo electromagnético ocasionan una vibración, las cuales liberan energía en forma de calor o bien con la interacción de iones libres que son atraídos por el campo, provocando una colisión con moléculas no ionizadas, resultando en la generación de calor (García,1994). Las microondas penetran al grano de maíz, calentándolo de acuerdo a la cantidad de agua presente en su interior, a la vez de que ésta se evapora parcialmente con la del medio circundante.

Para el proceso de microondas, si se sugiere colocar el grano crudo quebrado a la mezcla de cal-agua, realizando todo el método igual que en el diagrama mostrado: la masa resulta menos viscosa (incluso menor que la obtenida en la muestra control de masa nixtamalizada por el proceso tradicional) como consecuencia de que el almidón se daña más por su mayor superficie de contacto con el medio alcalino. Pero esto no es un resultado tan positivo pues la adhesividad y cohesividad son menores que las obtenidas por las masas de harinas nixtamalizadas por el proceso tradicional (García,1994).

La cal, se cree inhibe la gelatinización pues forma uniones que pudieran ser atribuidas a una reacción tipo electrovalente entre la cal ionizada y los grupos hidroxilo (García,1994). Cuando se tiene el grano quebrado, el proceso resulta más drástico que si lo colocan entero y en este proceso el maíz con alto contenido de proteína (endospermo córneo) tiene como resultado una viscosidad, adhesividad y cohesividad mas parecidas al control, explicando este efecto como consecuencia de las fuerzas repulsivas entre cargas similares que obligan a la molécula a desdoblarse en cadenas lineales, pudiendo ser influenciado de una manera favorable por la forma en que las microondas introducen el calor al sistema de amilosa-amilopectina compactada en la matriz protéica (Eliasson,1985)

El rendimiento observado, es decir, la cantidad de masa que se obtiene del maíz procesado y molido debe ser de aproximadamente 2.5 veces el peso del maíz y es resultado de la capacidad de absorción de agua que tenga la harina obtenida. Para el proceso de microondas se obtiene un rendimiento de 2 veces el peso del maíz, y junto con las otras condiciones de operación que son tiempo, cantidad de agua utilizada y efluentes generados, realmente el proceso no ofrece una alternativa importante, comparada con el proceso de nixtamalización tradicional.

Las tortillas obtenidas por éste método son muy quebradizas aún las medidas después de 12 horas de haber sido elaboradas. En realidad la suavidad no es un atributo que califica a las tortillas obtenidas por éste método. El sabor es característico, al igual que

el olor, pero no son tan intensos como lo son en la tortilla elaborada por el proceso tradicional.

Los primeros resultados obtenidos en maíz fueron similares a los que en 1992 y en 1994 obtienen Serna-Saldivar y García. El Dr. Juan de Dios Figueroa argumenta que el conocimiento y la tecnología de las microondas puede ser aplicado a la nixtamalización, pero que debe seguirse investigando.

### 3.4 Obtención de harina nixtamalizada por micronización

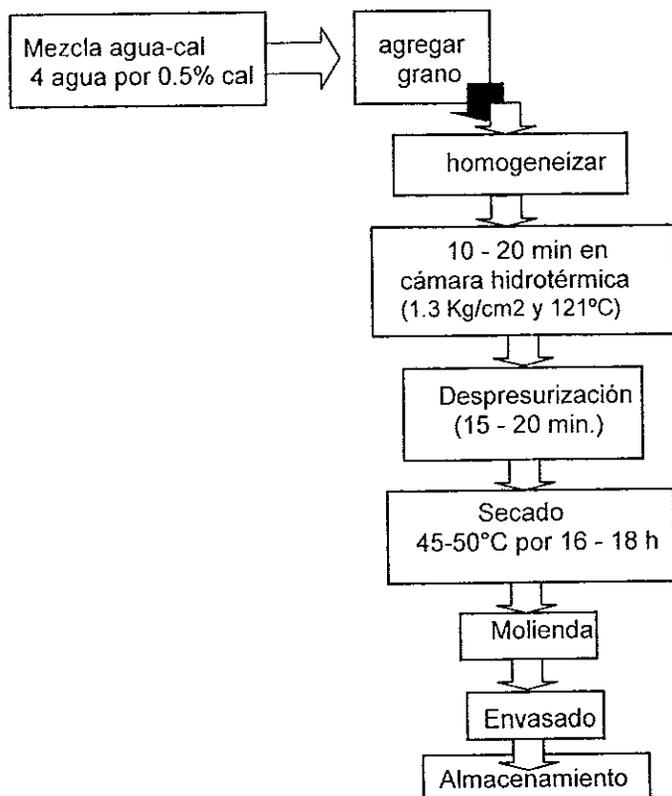
El proceso hidrotérmico para elaboración de harinas pre-gelatinizadas ha sido evaluada experimentalmente por otros autores en arroz y sorgo (Ramírez, 1984), actualmente se estudia sobre la aplicación del tratamiento hidrotérmico en la conservación del mango.

El proceso consta de tres etapas básicas

1. Maceración del grano (Grits o pre-quebrado) con agua a temperatura ambiente o temperaturas superiores, hasta el contenido de humedad deseado
2. Cocimiento con vapor a presiones mayores a la atmosférica
3. Deshidratación y molienda del producto

Figura 16

#### Proceso de obtención de la harina de maíz nixtamalizada por micronización



La calidad nutricional del producto, comparandola con el patrón que es la harina de maiz nixtamalizada por el proceso tradicional se reporta como con diferencia no significativa.

La capacidad de absorción de agua de la harina obtenida se ve afectada prncipalmente por el tamaño de partícula de la harina que depende del proceso de molienda pero viene directamente afectada por el grado de daño acusado al grano en el cocimiento, por lo que debe tomarse en cuenta el hecho de agregar grano molido o entero.

Las características de sabor y olor de las tortillas son mucho menores comparadas con los del control, no se perciben notas tan claras en los sabores característicos de la cal combinado con su sabor, son menores. Pero comparados con el proceso de microondas, este proceso ofrece características mas parecidas a las de tortillas control. Las tortillas son quebradizas, amarillentas y reseca.

En este tratamiento, el % de cal mas favorable es de 0.5%.

La idea de las alternativas al proceso de nixtamalización surge porque éste proceso presenta limitantes tecnológicas: desperdicia una gran cantidad de agua durante las etapas de cocimiento y lavado del nixtamal, que no es recuperada y usa una gran cantidad de energía para su cocimiento. El proceso de extrusión es el que más ventajas promueve, a comparación de la micronización, microondas y Manix.

## CAPITULO 4

### Métodos para evaluar la calidad en la tortilla de maíz

#### *Parámetros involucrados en la evaluación de atributos de calidad en las tortillas.*

Calidad es la combinación de atributos medibles en un alimento que en su conjunto determinan el grado de aceptabilidad del producto por el consumidor y por lo tanto condiciona su valor comercial

En forma global se agrupan en cuatro principales puntos la calidad de un alimento:

- 1.- **Cuantitativos:** Son el peso o el volumen, es decir, la cantidad de producto que adquiere el consumidor a un determinado precio.
- 2.- **Nutritivo:** Contenido de proteínas, carbohidratos, vitaminas que a su vez están relacionados con la respuesta que se obtiene de las características sensoriales, porque si se lleva a cabo una suplementación y con esto se obtiene una mayor cantidad de proteína y grasas, el elemento agregado no debe influir en el sabor y la textura de la tortilla
- 3.- **Sanitarios:** los que afectan la pureza, integridad o contaminación del alimento, como residuos de plaguicidas, unidades dañadas o podridas, fragmentos de insectos, microorganismos viables, que son los que el consumidor aprecia con sus sentidos.
- 4.- **Sensoriales:** son de naturaleza compleja y están constituidos por una serie de atributos específicos, resultado de las sensaciones experimentadas por el individuo al entrar en contacto por medio de los sentidos:
  - \* Factores de aspectos: captados por el sentido de la vista como color, forma, tamaño.
  - \* Factores de textura: capacidad por el sentido del tacto, con los dedos y especialmente por la boca.

Los atributos en la tortilla son:(Santiago y Pedrero,1982)

- a) Su consistencia flexible y a la vez de una firmeza tal que permita que ésta pueda emplearse como sustituto de una cuchara para transportar alimentos del recipiente donde se encuentran a la boca.
- b) Que el material posea en su estructura uniformidad (No porosa) y que en la superficie cuya forma es un disco plano, puedan incluirse líquidos sin que atraviesen el producto.
- c) Su flexibilidad que facilita la envoltura de productos de variadas formas para cubrirlos y transportarlos comúnmente llamado taco.
- d) Su color blanco de preferencia
- e) Su estabilidad y aspecto higiénico exento de contaminación microbiana

- f) La capacidad temporal del producto para sustituir parcialmente sus cualidades de textura originales cuando se desea consumir empleando unicamente calor, es decir recalentables
- g) Sus características sensoriales además de las mencionados son: sabor, aroma y ausencia de defectos a su aspecto característico.
- h) Dimensiones
  - Delgadas: 18-23 g/pieza
  - Diámetro: 13-14 cm/pieza
- l) Vida de anaquel
  - 2-4 días en el mercado local
  - 1-5 semanas en el supermercado

### **Métodos para evaluar la calidad en tortilla de maíz**

Como ya es sabido, la calidad de las tortillas la evalúan personas que la consumen normalmente es su dieta diaria. Aún las personas involucradas en la industria alimentaria que preparan la harina de maíz nixtamalizada y las tortillas, califican las características de las tortillas de manera muy subjetiva y ese es el problema mayor para poder argumentar, no solo ante consumidores sino ante personas extranjeras, que la calidad de la tortilla es buena y se parece a la tortilla hecha de masa recién obtenida.

Los métodos que aqui se exponen son los que se han desarrollado en tesis experimentales y en artículos publicados en el Cereal Chemistry de 1993 a 1998, sugiriendo evaluar sus características a temperatura ambiente (25°C), temperatura de congelación (-5°C) y de refrigeración (4°C), conservándolas en bolsas de polietileno de baja densidad.

Los resultados obtenidos se deben tratar estadísticamente con Análisis de varianza y para ver cual es la muestra que difiere con otra, se usa las prueba de rango múltiple de Duncan. Si solo se comparan dos muestras, se recomienda usar t de Student (Pedrero,1989). Estas comparaciones se hacen entre muestras a las que se evalúe la misma característica, no comparando una característica con otra.

## **4.1 VISCOSIDAD**

*(Martínez, 1997)*

*Definición: Es la resistencia a fluir que ofrece la masa, resultante de los efectos combinados de cohesión y adherencia.*

Para esta evaluación se utiliza un equipo Rapid Visco-Analalyzer 3C (Newport Scientific PTY Ltd; Sidney, Australia).

La viscosidad se mide tanto en la masa elaborada, como en la tortilla. En la masa no hay más que colocar la muestra ajustando su humedad y cantidad en peso, pero para las tortillas se sugiere deshidratar en una estufa de vacío por 12 h a 50°C, moler y cribar en la malla 60 y así obtener harina.

Las muestras de 4 g se ajustan a 14% de humedad, se coloca en el recipiente de aluminio con 24 ml de agua y se coloca la paleta agitadora, la temperatura de calentamiento es de 50°C con 75 rpm. La paleta agitadora transfiere la señal de viscosidad a un graficador

computarizado. Los resultados se reportan como el pico máximo que se obtiene en la gráfica en unidades relativas de viscosidad (URV) durante el ciclo de calentamiento. El resultado, es el esfuerzo con que el aditamento colocado al equipo realiza para desprender la tortilla de éste. Si existe una mayor viscosidad quiere decir que el grado de daño del grano de almidón es mayor, por lo que absorbe mas cantidad de agua. Esto provoca una masa poco maleable, muy pegajosa y chiclosa, que es difícil de manejar.

## 4.2 DUREZA

(Martínez, 1997)

*Definición:* dureza es la fuerza que resiste la penetración de un agente externo (en éste caso el aditamento utilizado)

Estas características se evalúan con el equipo Texture Analyzer TA XT2 (Texture Technologies Corp. Fairview Road, Scarsdale, N.Y.) usando el aditamento TA-18 1/2" (esfera de acero) que es conectado directamente a una computadora que grafica el resultado en unidades de Kg.

Para este estudio se prepara la masa para elaborar tortillas y la masa obtenida de la harina de tortillas hecha como antes se mencionó. Se hace una muestra de masa de 5 cm de diámetro y 1 cm de altura, colocándola sobre la base plana del equipo a una velocidad de 2mm/seg a una distancia de penetración de 4 mm.

De la gráfica obtenida el pico máximo de la curva positiva representa los resultados de dureza.

Cuando existe una sobregelatinización del almidón, la viscosidad de la masa resultante es mayor, es chiclosa y pegajosa (poco manejable), consecuencia de una absorción de agua mayor al deseable; por lo que la dureza de la masa es menor.

Si la masa tiene características de cohesividad sensorialmente aceptables, al medir la dureza, el resultado en Kg obtenido servirá de patrón para determinar el valor que sería óptimo alcanzar por las otras muestras.

## 4.3 FUERZA AL CORTE

(Martínez, 1997)

*Definición:* Es el esfuerzo necesario para provocar una división o separación en dos partes de la masa analizada

Para medir la fuerza al corte se utiliza el mismo equipo Texture Analyzer TA XT2 (Texture Technologies Corp. Fairview Road, Scarsdale, N.Y.) usando el aditamento TA-90, a una velocidad de 2 mm/s y profundidad de corte de 15 mm. La muestra de tortilla se coloca sobre la base plana del equipo que tiene una ranura en su parte central, y es aquí por donde pasa la cuchilla.

Ya que esto es también conectado al programa de computadora, los resultados de fuerza son reportados en Kg.

Si se obtiene un valor mayor de fuerza al corte, la cohesividad de la masa es buena por lo que para separarla en dos partes es más difícil.

## 4.4 ESFUERZO A LA TENSIÓN

(Martínez, 1997)

*Definición:* tensión es la fuerza que impide la separación de la masa, pero no necesariamente en dos partes, sino que se separe un poco en la superficie visible de la muestra

El mismo equipo Texture Analyzer tiene otro aditamento TA-96 que son pinzas de retención del equipo en las que se coloca una muestra de 4 cm de ancho por 6 cm de largo de tortilla y se programa una velocidad de 2mm /seg. El valor que se reporta, es al cual la tortilla se rompe en Kg.

Un resultado menor indica que más fácilmente se rompe la masa, por lo tanto no tiene tanta cohesividad, la tortilla tendrá características de quebrarse al ser doblada.

#### 4.5 ROLABILIDAD

(Martínez, 1997; Suhendro, 1998)

Esta prueba es un poco subjetiva pero se somete a todas las tortillas al mismo ensayo. Se debe tener una clavija de madera de 1 cm de diámetro en la que se enrolle la tortilla calificándola en una escala de cinco puntos:

- 1 - Tortilla que se quiebra completamente
- 2 - Tortilla que se rompe y quiebra en diversos puntos
- 3 - Tortilla que se quiebra en el centro y extremos
- 4 - Tortilla con signos de quebrado en los extremos
- 5 - Tortilla sin quebrarse

La rolabilidad es la capacidad que tiene la tortilla de enrollarse sin quebrarse. Si la tortilla es más suave, se enrolla con mayor facilidad, por lo tanto el resultado obtenido de la calificación de los jueces es mayor (según esta escala utilizada).

#### 4.6 TÉCNICA DEL DOBLADO DE TORTILLA

(Suhendro y Almeida, 1998)

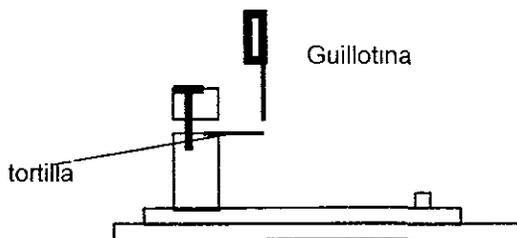
La técnica usada para este estudio es conducida con un Texture Analyzer model TA.XT2, Texture Technologies Corp., Scarsdale, N.Y.)

Los resultados se registran en un programa de computadora, en donde se grafica en coordenadas rectangulares (ordenada: fuerza (N) y abscisa: distancia (mm)) el área bajo la curva, fuerza a 1 mm de distancia, módulo de deformación (fuerza/distancia) y el pico máximo de fuerza.

Esta técnica usa dos agarraderas: una que sostiene una guillotina de aluminio de 1.7 mm de grosor y la otra está soportada en la plataforma del Texture Analyzer, en la que se coloca la muestra de tortilla (que se corta previamente en otra guillotina en la parte central de la tortilla, con dimensiones de 30 x 35 mm) con la cara que se infla hacia abajo. La velocidad que se programa es de 1 mm/seg, recorriendo una distancia de 5 mm hasta que la guillotina dobla la tortilla 40° hacia abajo, esto porque permite que a este punto las tortillas opongan su mayor resistencia, por lo que nos da de resultado la fuerza máxima.

Figura 18

Modelo de aparato que mide objetivamente el doblado de tortilla



Si se obtiene un valor elevado, es que la tortilla opone mayor resistencia para ser doblada, presentando dureza. Esta técnica debe ser complementada con los datos obtenidos por la técnica de rolabilidad para que se observe si al doblarse presenta o no varios puntos donde quebrarse.

#### 4.7 CALIDAD EN TORTILLA

(Martínez, 1997)

La rolabilidad, esfuerzo a la tensión y fuerza al corte son parámetros usados para determinar la calidad de las tortillas. Se utilizan éstos ya que la rolabilidad es la característica más importante para los consumidores mexicanos, ya que tradicionalmente se usa para elaborar "tacos", "quesadillas", y doblarla para acompañar los alimentos. Esta evaluación es sensorial, por lo que al utilizar sus resultados en ésta ecuación junto con el esfuerzo a la tensión y fuerza al corte se reduce su subjetividad, porque es un análisis multivariado. El esfuerzo a la tensión y fuerza al corte son análisis que son usados ya que los aditamentos que se requieren para ser medidas son los más económicos y los más sencillos; la finalidad de usarlos es para que los molineros y personas involucradas en la industria de la masa y la tortilla obtengan un resultado de calidad en tortilla a partir de instrumentación fácilmente manejable y entendible.

La calidad de la tortilla está en función de cosas medibles y no medibles, como la rolabilidad, sabor, color que son subjetivas y medibles como esfuerzo a la tensión, fuerza al corte, viscosidad, etc., para obtener una valoración más real del producto y se reitera nuevamente esto es posible por un análisis multivariado.

Figuroa (1985) sugiere un método para medir la calidad aplicando la siguiente ecuación.

$$\text{Calidad} = \sqrt{(\text{rolabilidad normalizada})^2 + (\text{esfuerzo a la tensión normalizada})^2 + (\text{fuerza al corte normalizada})^2}$$

En el que la variable normalizada es:

$$X_{\text{normalizada}} = \frac{X_i - X_{\text{deseada}}}{\text{desviación estándar}}$$

$X_i$  = parámetro evaluado

$X_{\text{deseada}}$  = valor óptimo de ese parámetro obtenido del promedio de las mediciones llevadas a cabo en las tortillas preparadas tradicionalmente

**Desviación estándar** = de las mediciones de tortillas del proceso tradicional

El valor más pequeño que resulte del calificativo calidad, corresponde a la mejor calidad de la tortilla. Para verificar que resultados difieren de otros, se usa la prueba comparativa de medias de Duncan.

Este método es el de Distancias Euclidianas de extremos poblacionales (Figuroa, 1985) y es válido porque cuando se elaboran tortillas, se hacen a partir de diferentes lotes provenientes de diferentes estados, cultivados en diferentes condiciones. El maíz, desde un principio es evaluado en su calidad de manera analítica, pero también subjetiva y muchas

de estas variables están relacionadas con el calidad para la nixtamalización. Estas valoraciones subjetivas, aunque son de mucha utilidad cuando se carece de otros medios, conduce a descriptores subjetivos de calidad tales como excelente, bueno, regular, malo y no pueden ser interpretados por otros sujetos fuera del ambito de prueba, ya que es difícil establecer las diferencias de calidad entre éstas categorías. El método de calificación por distancias euclidianas disminuye la subjetividad y facilita la selección en cuanto a calidad de los materiales, por lo que debe emplearse cuando las poblaciones por evaluar sobrepasen 30.

El método agrupa las tres variables utilizadas en la ecuación de la siguiente manera:

- Rolabilidad-esfuerzo a la tensión
- Rolabilidad-fuerza al corte
- Esfuerzo a la tensión-fuerza al corte

Cuando la distancia entre éstos grupos es pequeña, quiere decir que los grupos son semejantes, por lo que el producto tiene rolabilidad, fuerza al corte y mantiene un esfuerzo a la tensión.

#### **4.8 EFICIENCIA PROTÉICA**

*(Martínez, 1997)*

La calidad nutricional de las proteínas se mide por su capacidad biológica para promover el crecimiento de ratas, utilizadas como animales de experimentación. La ganancia en peso relacionada con la proteína consumida expresa el valor de la proteína de prueba. Si se desea evaluar la calidad nutricional se recomienda hacer el **PER** en 28 días con ratas recién destetadas con un promedio de peso determinado con un intervalo de 5g, en condiciones constantes de luz, humedad, temperatura y ruido.

El **PER** es el estudio básico y general para evaluar la proteína, pero para verificar que el crecimiento es auténticamente por la proteína, se puede llevar a cabo el **NPU** (utilización neta de la proteína).

Esta prueba se efectúa con las tortillas obtenidas a partir de los métodos sugeridos. Si se compara el **PER** obtenido de cada uno de ellos, el valor mayor habla de una cantidad de proteína disponible para que sea digerida cuando se consuma.

#### **4.9 EVALUACIÓN SENSORIAL**

*(Newell y MacFarlane, 1996)*

Para evaluar las características de olor, sabor y color se sugiere utilizar tortillas elaboradas hace menos de 24 horas.

La prueba sugerida es de Nivel de agrado (Escala Edónica), ya que se va a evaluar por consumidores potenciales o habituales del producto en estudio, que muchas veces no conocen la problemática del estudio, simplemente deben entender el procedimiento de prueba y responder a ella.

Se elabora un cuestionario con preguntas concretas.

El cuestionario debe aplicarse como un Monádico Secuencial, es decir, si se van a evaluar las cinco muestras, cada una debe presentarse de manera individual y al término de cada evaluación, se proporciona la siguiente muestra. De ésta manera comparan las muestras solo con lo que quedó en su memoria.

Al final de la prueba se recomienda hacer una prueba de preferencia en la que se pregunte cuál de las muestras es mejor:

Nombre \_\_\_\_\_

Sexo \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_

Buen día! Ante usted tiene una muestra de tortilla, indique utilizando la escala el nivel de agrado de la muestra

### Muestra 235

1 - El color de la tortilla:

- \_\_\_\_\_ gusta muchísimo
- \_\_\_\_\_ gusta mucho
- \_\_\_\_\_ gusta moderadamente
- \_\_\_\_\_ gusta un poco
- \_\_\_\_\_ me es indiferente
- \_\_\_\_\_ disgusta un poco
- \_\_\_\_\_ disgusta moderadamente
- \_\_\_\_\_ disgusta mucho
- \_\_\_\_\_ disgusta muchísimo

2 - El sabor de la tortilla:

- \_\_\_\_\_ gusta muchísimo
- \_\_\_\_\_ gusta mucho
- \_\_\_\_\_ gusta moderadamente
- \_\_\_\_\_ gusta un poco
- \_\_\_\_\_ me es indiferente
- \_\_\_\_\_ disgusta un poco
- \_\_\_\_\_ disgusta moderadamente
- \_\_\_\_\_ disgusta mucho
- \_\_\_\_\_ disgusta muchísimo

3 - El aroma de la tortilla

- \_\_\_\_\_ gusta muchísimo
- \_\_\_\_\_ gusta mucho
- \_\_\_\_\_ gusta moderadamente
- \_\_\_\_\_ gusta un poco
- \_\_\_\_\_ me es indiferente
- \_\_\_\_\_ disgusta un poco
- \_\_\_\_\_ disgusta moderadamente
- \_\_\_\_\_ disgusta mucho
- \_\_\_\_\_ disgusta muchísimo

4 - La textura de la tortilla

- \_\_\_\_\_ gusta muchísimo
- \_\_\_\_\_ gusta mucho
- \_\_\_\_\_ gusta moderadamente
- \_\_\_\_\_ gusta un poco
- \_\_\_\_\_ me es indiferente
- \_\_\_\_\_ disgusta un poco
- \_\_\_\_\_ disgusta moderadamente
- \_\_\_\_\_ disgusta mucho
- \_\_\_\_\_ disgusta muchísimo

INSTRUCCIONES: Indique con el número correspondiente el orden de su menor ( $\neq 1$ ) a mayor ( $=5$ ) preferencia por cada muestra de tortilla. No se permiten empates Gracias

Muestras	235	721	558	294	826
Preferencia	_____	_____	_____	_____	_____

Los resultados se tratan con un análisis de rangos y con las tablas de Newell y MacFarlane, con 5% de nivel de significancia y rangos críticos absolutos para todos los tratamientos.

Cuando el valor del rango obtenido de la tabla de Newell y MacFarlane (según el número de muestras utilizada) es mayor que el valor obtenido por la diferencia absoluta entre la suma de los rangos de la muestra, se considera que no existe diferencia significativa entre las muestras.

El resultado del ordenamiento de las muestras se analiza con la prueba de ordenamiento y analizando de igual manera con la diferencia de rangos, si el valor de las tablas es mayor que el obtenido de la suma de rangos, no existe diferencia significativa en las propiedades sensoriales de la tortilla.

Es importante determinar de manera objetiva las características de la tortilla para que las unidades que tienen sus resultados, puedan ser reproducibles y comparables con otras pruebas que se hagan bajo el mismo método. El análisis sensorial nos ayuda a conocer cuál es el perfil del producto ante los consumidores, y con los resultados de los análisis objetivos dar un dictamen acerca de la calidad del producto.

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

## IV. Conclusiones y Recomendaciones

### CONCLUSIONES

El maíz es un cereal que constituye parte importante de la dieta diaria de nuestro país y es materia prima de diferentes productos, como la tortilla

El maíz que se utiliza para ser nixtamalizado en México es un porcentaje de cristalino por sus características de resistencia y menor pérdida de sólidos, y otro porcentaje de harinoso por su contenido de almidón que, al ser gelatinizado, provoca una masa cohesiva y con características de maleabilidad deseables.

La condición que más influye sobre el almacenamiento de los granos de maíz antes de ser procesados es la humedad, porque se favorece la activación de enzimas endógenas, se disminuye la solubilidad de proteínas y se favorece el crecimiento de hongos productores de aflatoxinas.

La nixtamalización es un procedimiento efectivo para la producción de tortillas, ya que promueve la hidratación de los gránulos de almidón que dan cohesividad a la masa, absorben calcio que favorece la absorción de Vitamina D, se hace disponible la niacina, se hacen disponibles la lisina y triptofano y se obtiene un producto (en caso de ser harina) que se conserva por su pH además de producir sabores y aromas característicos de la tortilla.

La nixtamalización es un proceso que elimina agua residual altamente contaminante, porque el pH del nejayote es muy alcalino, provocando incrustaciones en las tuberías y tiene una gran cantidad de sólidos solubles (5 al 14%), que favorece el desarrollo inmediato de microorganismos. Además existe una gran cantidad de gasto de energía.

Los puntos críticos de control de este proceso son el perfil tiempo-temperatura para obtener el nixtamal con una humedad y características adecuadas para el proceso de molienda y así obtener el rendimiento de la masa.

Las harinas instantáneas son una opción que los fabricantes de tortillas miran como ventajosa, ya que para los productores en micro escala o de grandes producciones es un producto que tiene alta vida de anaquel, ahorra equipo, mano de obra, espacio en planta, tiempo de proceso y reducen notablemente problemas ecológicos, de contaminación atmosférica y aguas residuales, lo que ya pasa a ser problema de los productores de harina de maíz.

La incorporación de aditivos y enzimas a la masa del nixtamal tiene como finalidad mejorar su cohesividad y adhesividad para un mejor manejo de la masa, para producir una tortilla que conserve sus características aún después de dos hasta cinco semanas de haber sido elaborada. Se busca que sea flexible, suave, mas blanca, con mejor rolabilidad y elasticidad.

Debido a las desventajas ecológicas que presenta la nixtamalización tradicional, de las propuestas para la elaboración de tortillas de maíz, la que más ventajas tiene es el proceso de extrusión.

- El proceso de extrusión es la mejor alternativa para producir tortillas pues no utiliza tanta cantidad de agua en el proceso, tiene un tiempo de proceso significativamente menor al proceso tradicional y no produce aguas de desecho, aunque requiere de una inversión inicial importante. Las tortillas elaboradas a partir de éste método tienen características sensoriales muy parecidas a las tortillas hechas con nixtamal en el proceso tradicional.

Las harinas enriquecidas se elaboran también por un proceso de extrusión, el problema fundamental radica en la textura y sabor del producto final, no hay producción de aguas de desecho, se elabora en poco tiempo y no hay tanto gasto de agua como en el proceso tradicional. Esta fortificación que brinda la mezcla con soya o con sorgo es una alternativa que el subsidio mexicano ya aplica actualmente, pues el incremento en el contenido de proteína y de grasa si es significativo, aportando más fuente de calorías a la población mexicana.

- El Manix es un proyecto que ofrece principalmente un mayor rendimiento de la cantidad inicial de maíz nixtamalizado, obteniéndose dos veces más de volumen en la masa tiene como aportación el ahorro de un 20% de agua, misma que proviene del agua tratada en la planta de tratamiento sugerida. El tiempo es igual al del proceso tradicional. Las tortillas obtenidas son de excelente calidad sensorial, aportando esto como una *alternativa importante*.
- El proceso de microondas tiene como aportación un rendimiento por cada tonelada de maíz nixtamalizado de 2.5 veces más cantidad en masa, pero se debe hacer una fuerte inversión en equipo, y el tiempo de proceso, agua utilizada y aguas de desecho no son significativamente diferentes al proceso tradicional. Sin embargo las características de las tortillas no son óptimas: presentan notas de sabor y olor poco parecido al *característico, por lo que esto es una desventaja*.
- La micronización es un proceso que no ofrece ninguna ventaja a comparación del proceso tradicional, pues utiliza una gran cantidad de agua, requiere de muchas horas de proceso y si genera aguas de desecho. Las características de sabor y olor de las tortillas son mucho menores comparadas con las obtenidas por el proceso tradicional. Pero comparados con el proceso de microondas, este proceso ofrece características mas parecidas a las de tortillas elaboradas por el proceso tradicional. Además, las tortillas son quebradizas, amarillentas y resacas.

## RECOMENDACIONES

Los procedimientos aquí expuestos dan una alternativa para los productores de harinas de maíz nixtamalizado para saber de procesos que utilizan menor cantidad de energía en la elaboración de tortillas.

Debe tomarse en cuenta que aunque aquí se exponen los resultados de aspecto sensorial de los diferentes procedimientos, cada autor utiliza su metodología y se obtienen resultados bajo diferentes condiciones y variables, por lo que se recomienda que al considerar uno de los métodos de elaboración, se quiera comparar con otro y tener tortillas resultado de cada procedimiento, se evalúen bajo las mismas variables y a partir del mismo lote para obtener resultados mas confiables.

Obviamente cada método de elaboración alternativo al tradicional, ofrece diferentes opciones, mas es evidente que hay que considerar que para cada productor la disponibilidad de capital para la inversión y las condiciones de producción son aspectos importantes a considerar, por ejemplo para el proyecto del Manix, para el grupo Minsa representa una ventajosa opción, con la determinante condición de implementar la planta de tratamiento de aguas para que el proyecto sea completamente atractivo.

Además deben considerarse que los resultados aquí reportados son hechos a partir de diferentes muestras o lotes de maíz amarillo cristalino pero que fueron obtenidos de diferentes partes: unos son muestras proporcionadas por el CIMMYT (Centro internacional de mejoramiento de maíz y trigo), otros de muestras que proporcionan las empresas, como Minsa, por lo que la comparación directa de un tratamiento con otro sería hecha con un alto porcentaje de probabilidad de conclusiones erróneas.

Lo ideal sería hacer de un solo lote la elaboración de nixtamal bajo los distintos métodos, considerando cuáles son las variables que no favorecen a cada método, y así obtener las tortillas para hacer de estos resultados un análisis comparativo estadístico con ANOVA y pruebas de Duncan y tablas de Newell y MacFarlane.

Los aditivos recomendados en este documento son los que empresas como Minsa y Maseca utilizan en sus tortillas, incluso Industrial de Maíz, pero en combinaciones que son fórmulas a las que no se tiene acceso fácilmente, por lo que se recomienda hacer pruebas con mezclas de éstos para obtener las mejores características en las tortillas elaboradas utilizando muestras que se almacenen a temperatura de refrigeración, congelación y ambiente.

En los métodos alternativos al proceso tradicional aquí expuestos, no se habla del efecto que tienen sobre aflatoxinas, calidad protéica evaluada como PER y evaluación de todas las características de calidad de las tortillas, mas si se dan las herramientas necesarias para medir estos parámetros en los productos terminados, hechos con los métodos alternativos sugeridos por lo que se propone para un estudio posterior, llevar a cabo estas evaluaciones.

Además de que no solamente debe hacerse un método cuantitativo, deben realizarse estudios paralelos de características de calidad tanto instrumental como sensorialmente tratando de encontrar la correlación entre éstos.

## BIBLIOGRAFIA

1. Anderson, D.W. and Andond, S.A. 1988. Water-soluble food gums and their role in product development. *Cereal Foods World*. 33(10): 844 - 850.
2. AOAC. 1984, Official methods of analysis. ed. 14th , Association of Official Analytical Chemistry, Washington, D.C., USA.
3. Avtar, S. S., Anantha, N. Koolengode, and Mildford A., Hanna., 1994. Screw Configuration effects on corn Starch expansion during extrusion. *Journal of Food Science*, Vol 59, pp. 895-898.
4. Bazúa, C.D. 1988. Monografía tecnológica No. 2. Una nueva tecnología para la extrusión alcalina de maíz y sorgo. Ed Eón Editores, México.
5. Bazúa, C.D. and Sterner, H., 1979. Extruded corn flour as alternative to lime-heated corn flour for tortilla preparation. *Journal Food Science*. 44:940
6. Bedolla, S. and Rooney, L.W., 1982. Cooking maiza for masa production. *Cereal Foods World*. Vol 27, pp. 219-221
7. Bigio, D., and Wigginton, M., 1990. Mixing in twin screw extruders under starve-feed conditions. *Journal of Food Science*, vol 57, pp. 532-537
8. Boyle, P.J. and Hebeda, R.E., 1990. Antistaling enzyme for baked goods. *Food Technology*, vol 44, pp.129
9. Brazen, R., 1990 Chemistry, technology and nutritive value of maize tortilla. *Food Review International*. vol. 6, pp. 225-232
10. Bressani, R., Benavides, V., Acevedo, E., and Ortiz, M.A., 1990. Changes in selected Nutrient Contents and protein Quality of common and Quality Protein Maize during rural tortilla preparation. *Cereal Chemistry*, Vol 67, pp 515-518.
11. Bressani, Ricardo y Breuner, Mari. *Sobretiro Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 1989. Vol 29, no. 3. pp. 382-396 Contenido de Fibra ácida y neutro detergentes y de minerales en maíz y su tortilla
12. Buterry, R.G. and Ling, L.C. 1995. Volatile flavor components of corn tortillas and related products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. vol 43, no. 7, pp. 1878-1882.
13. Cabrera, L 1992 *Diccionario de aztequismos*. Ed. Colofón, S.A. México D.F.
14. Dominguez, A Una nueva tecnología para la extrusión alcalina de maíz y sorgo Tesis Maestría, Facultad de Química , UNAM. 1988
15. Carrasco Huerta, M.L., Guzmán Pérez, J.B. y Mayorgo, R.L.. 1991 Proceso de microondas en trigo y maíz. *Avance y perspectiva*, México 1992. pp. 27-32.
16. Centro de estadística agropecuaria SAGAR

17. Chu, N.T., Pellet, P.L., and Nawar, W.W., 1976. Effect of alkali treatment on the formation of lysionalanina in corn. *Journal Agriculture Food Chemistry*. Vol 24, pp. 1084-1086
18. De Gortari, E. La tortilla: alimento, trabajo y tecnología. *Complementos del Seminario de problemas científicos y filosóficos*. Ed. Nueva Epoca, México 1987. pp.7-45
19. Della-Valle, G., Tayeb, J., and Melcion, J.P., 1987. Relationship of extrusion variables with pressure and temperature during twin screw extrusion cooking of starch. *Journad Food Engineering*. vol 6, pp. 423
20. Donovan, J.W., Lorenz, K., and Kulp. 1983. Differential scanning calorimetry of heat treated wheat and potato starches. *Cereal Chemistry*, vol 60, pp. 381- 387.
21. Elliasson, A.C. 1985. Starch gelatinization in the presence of emulsifiers: a morphological study of wheat. *Stearke*. vol. 37, no. 12. pp.411-415
22. Entrevista Ing. Celerino Sanches Rodríguez. Jefe aseguramiento de calidad, Grupo Minsa, Planta Centro 1999.
23. Fellows, P. *Tecnología y Procesado de alimentos*. Ed. Acribia, España, 1994
24. Fennema, O. *Food Chemistry*. USA, 1996. pp. 191-201
25. Figueroa, J.D. Martínez B., Jesus González H., Feliciano Sanchez S., 1996. Modernización tecnológica del proceso de nixtamalización Avance y Perspectiva, vol 13, Nov-Dic. pp 323-329.
26. García Martínez, N. *Procesos no convencionales de elaboración de harinas instantáneas para tortilla*. Tesis de Licenciatura. Departameto de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Autónoma Chapingo, México 1994.
27. Garduño, A. La industrialización de los cereales en México. *Industria alimentaria*. Nov-Dic, 1993. pp. 10-19
28. Geankoplis, J Chistie. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. Ed. Cecsa, México 1995
29. Gómez, M.H, Lee, J.K., McDonough, C.M., Waniska, R.D. and Rooney, L.W., 1992. Corn Starch Changes During tortilla and tortilla chip processing. *Cereal Chemistry* Vol 69, No. 23, pp. 275-279
30. Gómez, M.H., McDonough, C.M., Rooney, L.W., and Waniska, R.D., 1989. Changes in corn and sorghum during nixtamalization and tortilla baking. *Journal Food Science*. Vo. 54, pp. 330-336
31. Gómez, M.H , Waniska, R.D. and Rooney, L.W., 1990. Effects of nixtamalization and grinding conditions on starch in masa starch. *Cereal Chemistry*, Vol. 42 pp . 475
32. Gómez, M.H., Waniska, R.D. and Rooney, L.W., 1991. Lime cooking and steeping of corn masa. *Cereal Food World*. Vol 36, pp.704

33. Gómez, M.H., Waniska, R.D. and Rooney, L.W., 1991. Starch Characterization of nixtamalized corn flour. *Cereal Chemistry*, Vo. 68, pp. 578-582
34. González Robledo J. Estudio Monografico de antazolina. Tesis Licenciatura, Facultad de Química ,UNAM 1987
35. Guzmán de la Peña, R., 1992. Las Aflatoxinas en maíz,: un reto a los mexicanos. *Avance y Perspectiva*. vol 40, pp. 15, Cinvestav Irapuato
36. Handbook of food aditives. Vol. 2 CRC Press. USA 1980 pp. 155
37. Hebeda, Ronald and Zobel, Henry. Baked goods freshness. Technology, evaluation ando inhibition of staling. Ed. Board, USA 1996. pp. 2-14<
38. Hidalgo Contreras, Ignacio. Grado de gelatinización en masa de maíz nixtamalizado y su asociación con el tiempo de cocimiento y textura de tortilla. Tesis de Licenciatura. Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Autónoma Chapingo, México,1994.
- 39 [mexicanacunt.com/history.htm](http://mexicanacunt.com/history.htm)
40. Industria alimentaria. Avances en la Manufactura y calidad de productos de maíz nixtamalizado. pp. 4-13
- 41 Informacion técnica de Maquindal México, 1998
42. Información técnica, Grupo Industrial Minsa, México 1997
43. Información técnica, Tic Gums Internacional, México 1998
44. Iturbe Chiñas, F.A., Lucio-Aguerrebe, R.M., Lopez-Munguía, A., 1996. Self-life of tortilla extended with fungal amylases. *International Journal of Food Science and Technology*. Vol 31, pp. 505-509
45. Jackson, D.S., Rooney, L.W., Kunze, O.R., Waniska, R.D., 1988. Alkali processing of stress-cracked and broken corn (*Zea Mays* L). *Cereal Chemistry*. Vol 65, pp 133-137.
46. Johnson Mensah-Agya Pong and William, F.A., Horner. Nixtamalization of maize (*Zea mays* L) Using a single Screw cook-extrusion process on Lime-treated grits. *Journal of Food Agriculture*. 1992, vol 60, pp. 509-514.
- 47 Khan, M.N., Des Roisiers, M.C., Rooney, L.W., Morgan, R.G., and Sweat, V.E., 1982. Corn Tortillas Evaluation of Corn cooking procedures. *Cereal Chemistry*, vol 59, pp. 279-284
48. Kumar, A., Bhattacharya, M., and Padmanabhan, M., 1989. Modeling flow in cilindrical extruderdies. *Journal of Food Science*. vol 54, pp. 1584
- 49 Lehninger, A.L. Bioquímica. Ed Omega, Barcelona, 1985
50. Liang, M., Hsieh, F., Huff, H. E., Hu, L., 1994. Barreal-value Assembly effects twin screw extrusion cooking of corn meal. *Journal of Food Science*, vol 59, pp. 890-894.

51. Mancilla, D.N.. Efecto del procesamiento convencional y de tratamiento térmico por microondas sobre la teoría de nutrientes y cualidad tecnológica del maíz. Tesis de Licenciatura, Universidad Estatal de Campinas, Brasil 1984 Traducción de Eduardo Martínez Flores.
52. Manual de aplicación de Análisis de Riesgos, Identificación y Control de Puntos Críticos. Secretaría de Salud, México 1993.
53. Maron, S. y Lando, J. Físicoquímica Fundamental. Ed. Limusa. México, pp. 229-231
54. Martínez Flores, Eduardo Hector. Estudio bioquímico y nutrimental en tortillas de maíz elaboradas por un proceso de extrusión. Tesis de Doctorado. Departamento de Biotecnología, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN (CINVESTAV). México, 1997
55. Matz, Samuel A. The chemistry and technology of Cereals as food and feed. Ed. Pan-Tech International, EUA, 1991.
56. Memorias curso HACCP (Hazard Analitical Critical Control Points), Canacinstra México, 1997.
57. Memorias de Conferencias en Expotortilla, México 1999
58. Meuser, F., and Van Lengerich, B., 1984. Possibilities of quality optimization of Industrially extruded flat bread. Journal Science, vol 8, pp. 180
59. Montemayor, E., and Rubio, M., 1983. Alkaline cooked corn flour. technology and uses in tortilla and snack products. Introduction Journal of Food Science and Technology. vol 28, pp.577.
60. Morales de León, Josefina. La tortilla, fuente de energía siempre presente. Cuadernos de Nutrición. Vol 14, No. 5 1991, pp. 33 y 34
61. NMX-FF-034-1995-SCFI Maíz
62. NOM-F-46-S-1980 Harina de maíz nixtamalizada.
63. Ortega P.R., Villanueva, J., Fuller, S.: Estado actual de los estudios sobre maíces nativos de México.
64. Paredes-Lopez, O. and Saharoupulos, M.E., 1982. Scanning electron microscopy studies of limed corn kernels for tortilla making. Journal Food Technology. Vol 17, pp. 691
65. Pflugfelder, R.L., Rooney, L.W. and Waniska, R.D., 1988. Dry matter losses in comercial corn masa production. Cereal Chemistry. Vol 65, pp. 127-132
66. Poneros, A.G., And Erdman, J.W., 1988. Bioavailability of calcium from tofu, tortillas, nonfat dry, milk and mozzarella cheese in rats: Effect of supplemental ascorbic acid. Journal Food Science. Vol 53, pp 208-210
67. R. Ortega Packsa et al Estado actual de los estudios sobre maíces nativos de México: Sociedad Mexicana de fitogenética A.C: México, 1991.

- 68 Ramirez-Wong, B , Sweat, V.E., and Torres,P.I., 1994. Cooking time and Moisture Content effect on Fresh Corn masa texture. *Cereal Chemistry*. Vol 71, no. 4
69. Ramirez-Wong,B., Sweat, V.E., Torres, P., and Rooney, L.W., 1993. Development of two instrumental methods for corn masa texture evaluation. *Cereal Chemistry*. Vol 70, pp 286-290
70. Reyes, S , Pedrero, D. y Hecoechea, H. Estudio de algunos parámetros involucrados en la evaluación de texturógenos primarios en nixtamal, masa y tortilla como base para la determinación de calidad tortillera del maíz. Depto de Graduados e innovaciones en alimentos. ENCB IPN, México,1982
71. Rivas Alvarez, Luis Arnulfo. Efecto de las fracciones del almidón sobre la calidad y vida de anaquel de la tortilla. Tesis de Licenciatura. Departamento de Ingeniería Agroindustrial . Universidad Autónoma Chapingo, México, 1996
72. Robles, R.R., Murray, E.D. , and Paredes-Lopez, O., 1988. Physicochemical changes of maize starch during the lime cooking treatment for tortilla making.. *Introduction Journal of Food Science Technology*. vol. 23, pp. 91-98.
- 73 Rodríguez, M. E., Yañez Limón M.: Influence of the Structural changes during alkaline cooking on the thermal, rheological, and dielectric properties of corn tortillas, 1996. *Cereal Chemistry* Vol. 73, no. 5.
74. Romero, Hector M.,Pérez, G., Gargolla,J., Beltrán, A.: Viaje alrededor del maíz. Grupo Minsa, México 1994
75. Rooney, L.W. and Bockhof, A., 1987. Searching form kernels of truth. *Snach Foods* Vol 44, pp. 46-48
76. Rosas, S. 1995. Estudio de conservadores en tortilla de maiz y metodología para evaluación sensorial. Tesis Licenciatura, Universidad Autonoma Chapingo. Chapingo, México
77. Salcido Sanchez B. Estudio monográfico de los fosfatos como aditivos. Tesis Licenciatura, Facultad de Química, UNAM. 1991
78. Sanchez del Angel,L. Evaluación del efecto de almacenamiento sobre macromoléculas del maíz por medio de calorimetría diferencial de barrido. Tesis de Maestría. Facultad de Química , UNAM 1998.
79. Schiffman, R.F. 1985. Microwave challenge-today's heat processing. *Food Engieniering*. vol. 29, no. 11, pp. 72-76
- 80 Serna Saldivar, S R.. Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. Ed. Agt Editor, S.A. México,1996
81. Serna-Saldivar, O., Rooney, W.L.. and Greene, W.L., 1992. Efect of lime Treatment on the availability of calcium in diets of tortillas and beans: Rat Growth and Balance Studies. *Cereal Chemistry*, Vol 68

82. Serna-Saldivar, S.O., Gómez, M.H. and Rooney, L.W., 1990. Technology, chemistry and nutritional value of alkaline cooked products. *Advances of Cereal Science and Tehcnology*, pp. 243
83. Serna-Saldivar, S.O., Gómez, M.H., et al, 1993. A method to evaluated the Lime-cooking Properties of Corn (Zea Mays) *Cereal Chemistry*. Vol 70
84. Serna-Saldivar, S.O., Knabe, D.A., Rooney, L.W., Tanksley, T.D., and Sprohle, A.M., 1988. Nutritional value of sorghum and maize tortillas. *Journal Cereal Science*. Vol 7, pp. 83-94
85. Serna-Saldivar, S.O., Knabe, D.A., Rooney, L.W., 1987. Effect of lime Treatment on energy and protein digestibilities of maize and sorghum. *Ceral Chemistry*, Vol 65, pp 44-48
86. Suhendro, E.L., Almeida-Dominguez, H.D., Rooney, L.W., Waniska, R.D. and Moreira, R.G. 1998. Tortilla Bending Technique: An Objective Method for Corn Tortilla Texture Measurement. *Cereal Chemistry*. Vol. 75, No. 6, 854-858
87. Instituto Nacional de Nutrición "Salvador Zubiran". México, 1996 tablas de composición de alimentos. Edición de aniversario.
88. Instituto Nacional de Nutrición "Salvador Zubirán" Edición Internacional Español-Inglés. México 1996. pp. 10-19 Tablas de valor nutritivo de los alimentos.
89. Torres Salcido, Gerardo: Maíz-tortilla. Políticas y alternativas. Centro de investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades y Programa Universitario de Alimentos. México, 1997
90. Torres, Felipe; Moreno, Ernesto; Chong, Isabel; Quintanilla, Juan: La Industria de la masa y la tortilla. Programa Universitario del Medio Ambiente y Programa Universitario de Alimentos. México, 1996
91. Trejo González, A., Morales, A., and Wild-Altamirano, C., 1982. The role of lime in the alkaline treatment of corn tortilla preparation. *Advances in Chemistry Series* 198.
92. Twillman, T.J. and White, P.J., 1988. Influence of monoglycerides on the textural shelf life and dough rheology of corn tortillas. *Cereal Chemistry* 65(3): 253-257
93. Watson, A S. 1987. Structure and composition in corn: Chemistry and Technology. Watson and Ramstad Eds. Published by the American Association of Cereal Chemistry. Inc. St. Paul, USA
95. Workman Publishing The well filled tortilla cookbook. Nueva York, 1990. pp. 20-33
96. [www.acesvive.edu/asamex/extrusion1.htm](http://www.acesvive.edu/asamex/extrusion1.htm)