

302827

N=2  
2Ej

UNIVERSIDAD MOTOLINIA. A. C.



ESCUELA DE QUIMICA

CON ESTUDIOS INCORPORADOS A LA U.N.A.M.

ESTUDIO DE TEXTUROGENOS PRIMARIOS  
EN NIXTAMAL MASA Y TORTILLA COMO  
BASE PARA DETERMINACION DE CALIDAD  
TORTILLERA DEL MAIZ

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO  
P R E S E N T A :

*ELIZABETH CALDERON CHAVEZ*

MEXICO, D. F.

1994

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## **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 está 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.

Este trabajo se realizó en el Departamento de Graduados e Investigación en Alimentos de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas bajo la dirección del **M. en C. Santiago Reyes Herrera** y con el financiamiento de: Malz Industrializado Conasupo S. A. Miconsa y del Instituto Politécnico Nacional a través del proyecto DEPI 931513.

**Gracias, Señor por darme  
agudeza para entender,  
capacidad para retener,  
métodos y facultad para aprender,  
sutileza para interpretar,  
gracia y abundancia para hablar,**

**Darme, acierto al empezar,  
dirección al progresar,  
y perfección al acabar**

Doy gracias de todo corazón a quienes me dieron la vida  
y a quienes sin condición alguna me han apoyado y querido,  
y esperando esto recompense en algo sus sacrificios,  
le dedicó este trabajo a **MIS PADRES**

A todos y cada uno mis hermanos, les dedicó este trabajo por su apoyo  
y confianza, esperando que esté les sirva de incentivo

**Virginia, J. Martín, Alberto, Miguel A., Hugo y Ana Laura**

**Por sus enseñanzas, su paciencia y dedicación a todos y cada uno de mis maestros, Gracias**

**A mi amiga Rocio, a quien en todos los momentos ha estado conmigo.**

**Agradezco a todas las personas que de una u otra forma  
han participado en la elaboración de este trabajo:**

**Dulce, Sara, Margarita, Dinora, Ma. de la Luz, Ma. Elena, Hermilo y Everardo**

**Doy gracias a alguien muy especial por su paciencia y atenciones  
y a quien agradezco enormemente su amistad.**

## **INDICE**

### **CAPITULO I**

### **INTRODUCCION**

- 1.1. Planteamiento del problema
- 1.2. Objetivos
- 1.3. Hipótesis

### **CAPITULO II**

### **ANTECEDENTES**

- 2.1. Información general
  - 2.1.1. Importancia socio-económica
  - 2.1.2. Generalidades del cultivo
  - 2.1.3. Consumo e industrialización
- 2.2. Características del maíz
- 2.3. Composición química y valor nutricional
- 2.4. Cocimiento del maíz (nixtamalización)
- 2.5. Características de la textura del grano de maíz, masa y tortilla
- 2.6. Control de Calidad
  - 2.6.1. Control de materia prima
  - 2.6.2. Control de fabricación
  - 2.6.3. Control de calidad del producto terminado

### **CAPITULO III**

### **PARTE EXPERIMENTAL**

- 3.1. Diagrama de flujo
- 3.2. Material y equipo
  - 3.2.1. Material
  - 3.2.2. Reactivos
  - 3.2.3. Equipo
- 3.3. Metodología
  - 3.3.1. Granos de maíz
    - Clasificación de la muestra
    - Limpieza del grano
    - Cocción del maíz
    - Lavado del nixtamal

**Reposo**

**3.3.2. Nixtamal**

**Análisis bromatológico (apéndice 1)**

**Análisis fisicoquímicos**

**Penetración (D.U.)**

**Compresión (grano D.U.)**

**Corte (D.U.)**

**Cizallamiento-Extrusión**

**3.3.3. Masa**

**Molienda**

**Análisis bromatológico (apéndice 1)**

**Análisis fisicoquímicos**

**Resistencia a la extrusión**

**3.3.4. Harina de nixtamal**

**Análisis bromatológico (Laboratorio) (apéndice 1)**

**Análisis fisicoquímicos (Planta)**

**Densidad**

**Consistencia**

**3.3.5. Tortillas**

**Preparación y elaboración de tortillas**

**Análisis bromatológico(apéndice 1)**

**Análisis fisicoquímicos (Textum)**

**Pruebas de tensión**

**Determinación de humedad**

**Determinación de color**

**CAPITULO IV**

**RESULTADOS Y DISCUSION**

**4.1 Resultados**

**4.2. Discusión**

**CAPITULO V**

**CONCLUSIONES**

**BIBLIOGRAFIA**

**APENDICE 1, 2**

## **CAPITULO I**

## INTRODUCCIÓN

Durante siglos el maíz ha sido el alimento básico del pueblo mexicano y las tortillas su principal forma de consumo.

Desde su creación hasta la actualidad, el proceso de elaboración de tortillas se basa en el método tradicional de cocimiento de maíz para elaborar el "nixtamal", denominación que se le confiere al grano de maíz una vez tratado por medio de un cocimiento empleando una solución de  $\text{Ca(OH)}_2$ .

El término nixtamal corresponde al vocablo náhuatl nextli: cenizas de cal y tamalli; masa de maíz (10, 12, 20).

El desarrollo de la producción de un producto agrícola que forma parte de la dieta de un pueblo, como es el maíz, está basado además de sus características agronómicas, económicas y culturales, en las propiedades que éste manifiesta, como producto al transformarlo o consumirlo.

En el caso del maíz y en especial para México, los estudios de investigación tecnológica realizados a la fecha, en su mayoría están relacionados entre otros aspectos con:

- 1.- La eficiencia del grano para cultivarse en diferentes zonas climáticas del país.
- 2.- El rendimiento por hectárea que proporcionan.
- 3.- Su resistencia a las plagas
- 4.- Calidad del grano y a las cualidades nutricionales de este para su consumo, tanto para humanos como para animales

Existen muy pocos trabajos publicados en relación a la determinación de la textura de granos de maíz bajo tratamiento térmico-alcálico y aún más escasos para los estudios en donde se involucre a la masa y la tortilla.

La mayoría de las investigaciones realizadas sobre tortilla, están enfocadas hacia los aspectos nutricionales de las mismas.

De los pocos trabajos encontrados en maíz se encuentran los estudios de Paredes (35), en 1982 en

donde se analiza el grano de maíz a través de la microscopía electrónica de barrido de endospermo sometido a diferentes tratamientos térmicos.

La nixtamalización o tratamiento térmico-alkalino, involucra en general la cocción de los granos de maíz a altas temperaturas ( $> 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) en una solución de cal hidratada grado comercial, (el principal compuesto es  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). Este tratamiento se lleva a cabo desde la escala artesanal o doméstica (de 5 a 50 Kg/lote), la comercial a nivel de molinos de nixtamal (de 50 a 5000 Kg/día) así como a nivel industrial (de 50 a 300 ton/h). Este método ha sido descrito y estudiado por varios autores (6, 20, 33).

En cuanto a las generalidades de la metodología empleada correspondiente a textura, existe una cantidad de estudios importantes de utilidad para este trabajo, entre los que podrían mencionarse se encuentran los trabajos de Mohsenin en 1970 (31), y Padua en 1982 (34) quienes realizaron los planteamientos iniciales como propuestas de conceptos elementales que a la fecha existen en relación a la reología y a los estudios de textura aplicada a los alimentos.

Así mismo en relación a la textura de los alimentos, se deben considerar las aportaciones de A. Kramer también en 1973 (26), en cuanto a la medición de atributos de la calidad de los alimentos, evaluando indirectamente la textura de los mismos a través de medir la resistencia de los cuerpos a la deformación, de sus estudios destaca el diseño de una celda multiplacas que se emplea para estudios de extrusión y cizallamiento. La celda Kramer, de acuerdo a los estudios realizados proporciona una respuesta adecuada para correlacionar la respuesta de la deformación de los materiales u algunos de los atributos de la compleja y muy peculiar textura que poseen los alimentos (17, 26, 33).

A pesar de los numerosos trabajos realizados sobre textura, pocos incluyen a la textura del nixtamal y menos aún de masa y tortilla, no obstante sus aportaciones y experiencias con otros alimentos servirán como punto de partida para este trabajo (1, 25, 30, 33).

Actualmente, no existe una definición de calidad tortillera del maíz, este requiere en principio además de los análisis tradicionales (químicos, físicos, microbiológicos y sensoriales) el determinar sus

atributos principales tales como textura, color, olor, entre otros.

A nivel industrial el producto que se obtiene corresponde a harina de nixtamal y en las plantas donde se procesa, se llevan a cabo las pruebas para evaluar de manera indirecta los atributos de la calidad de la harina que se produce, esto se lleva además, observando de forma muy diversa al producto final, bajo la forma en que se consume: la tortilla. (4, 15, 32).

Las normas de calidad, así como los métodos para observarla y medirla, que actualmente se emplean en las plantas están debidamente fundamentados en estudios previos, los factores más importantes para que éstas fueran consideradas técnicas de rutina; son su utilidad y su aplicabilidad.

Resulta indispensable señalar el hecho de que los métodos que se emplean para medir y observar las normas debe ser confirmado, no únicamente en los laboratorios de investigación en donde los patrones de conducta son diferentes a los que se desarrollan en la industria, sino en rutinas diarias de trabajo, en forma práctica, en donde el tiempo dedicado a cada determinación es un factor decisivo.

## **1.2. OBJETIVOS:**

- 1.- Establecer una metodología que involucre a la textura como uno de los parámetros principales para la determinación de la calidad tortillera del maíz.
- 2.- Establecer la metodología para la determinación de los texturógenos primarios para nixtamal masa y tortilla.
- 3.- Evaluar la textura de los productos de masa y tortilla elaboradas con harina de nixtamal.
- 4.- Determinar las características bromatológicas y su posible relación con los texturógenos primarios.

### **1.3. HIPÓTESIS:**

De encontrar una correlación entre los productos que se derivan del maíz (nixtamal, masa y tortilla), en relación con las características del propio grano de maíz muy probablemente se tendría una mayor comprensión sobre la definición de la calidad tortillera del grano.

Con el empleo del Texturómetro Universal Instron, es factible que se pueda realizar diversas pruebas y establecer de entre las pruebas una metodología estadísticamente confiable para determinar algunos de los texturógenos primarios del maíz y de los productos que de este se deriven hasta la obtención de tortillas. Siendo el Texturómetro Universal Instrón el equipo que se describe en la literatura especializada como el de mayor reproducibilidad en la determinación indirecta de textura en granos.

## CAPITULO II

## ANTECEDENTES

### 2.1. INFORMACIÓN GENERAL

El maíz esta presente en la mesa de los mexicanos en todas las épocas del año, en todas las regiones del país y en formas tan diversas como amplias son las necesidades y costumbres de la población. Quizá por encontrarlo tan integrado a nuestra vida cotidiana, nos sea difícil apreciar la importancia social y económica que representa para el país ( Cuadro I y Gráfica No.1)

**CUADRO I. Producción Agrícola en México, 1992**  
(Superficie sembrada, producción y rendimiento)

RESULTADOS 1992 DE GRANOS BASICOS			
CULTIVOS	SUPERFICIE SEMBRADA		RENDIMIENTO
	(miles Ha)	%	TON/ha
Maíz	8,000	42.1	2.4
Frijol	1,900	10.0	0.6
Sorgo	1,500	7.9	3.6
Trigo	1,000	5.3	4.1
Cebada	300	1.6	2.2
Arroz Palay	100	0.5	4.5
<b>Subtotal</b>	<b>12,800</b>	<b>67.4</b>	
Hortalizas	800	4.2	
Frutales	1,000	5.3	
Otros	4,400	23.2	
<b>Total</b>	<b>19,000</b>	<b>100</b>	

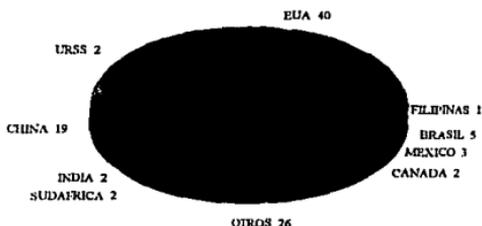
FUENTE: SARH

El maíz es el cultivo más importante en la agricultura nacional y la mayoría de los campesinos que cuentan con una porción de tierra cultivable siembran este grano aunque sea para su propio consumo. Más de la tercera parte de la tierra que se siembra en México se destina a este cereal (por ejemplo en 1992 se sembraron alrededor de 19 millones de hectáreas de las cuales ocho fueron de maíz) (38).



En cuanto a la producción mundial el maíz se produce aproximadamente en 153 países lo que significa un poco más del 94% de los países que forman el globo terráqueo, se encuentra disperso en América, Europa, África, Asia y Oceanía. Los principales países productores son: EE.UU. con una superficie de 27.7 millones de Ha. que representa el 40% de la producción mundial que es de 494 millones de Ton. aproximadamente, China la cual representa el 19.2% con una producción de 90 millones de Ton, en orden de importancia le siguen Brasil con 12 millones de Has., México 7.4 millones de Has. con un rendimiento de 2.4 Ton/Ha y una producción de 14.6 millones de Ton (Gráfica No. 2)

**Producción de maíz a  
Nivel mundial 1992.  
Total 479 Millones de Ton.**



Fuente: FAO 1991.

*Gráfica 2*

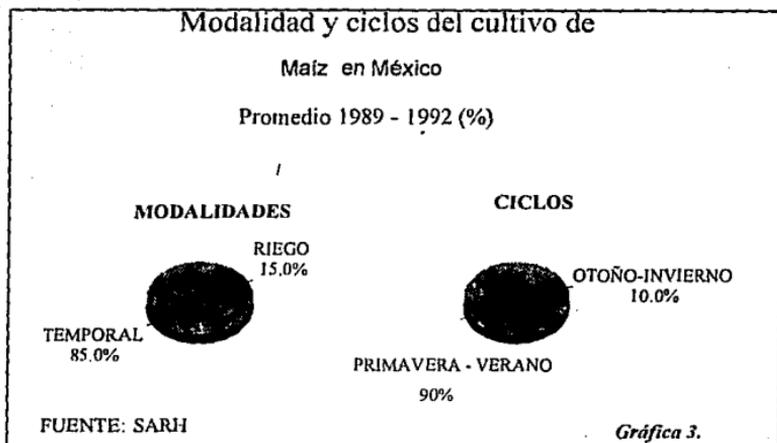
### 2.1.1. IMPORTANCIA SOCIO-ECONOMICA

Para entender la importancia socio-económica del maíz en el México contemporáneo, es imprescindible esbozar por lo menos un perfil de los cultivadores de esta planta.

En México podemos diferenciar dos grandes grupos de productores de maíz: los minifundistas, ejidales o privados, que conforman entre el 70 y 80% de los cultivadores de este grano y cuya motivación principal para desarrollar esta actividad es el autoconsumo y los productores que comercializan toda su producción o la mayor parte de ella, es decir, la venden (38).

### 2.1.2. GENERALIDADES DEL CULTIVO

De las 19 millones de hectáreas. cultivadas en México en 1992, cerca del 42% se destinan anualmente a la producción de maíz (Gráfica No. 1) de estas un millón de hectáreas se cultivan bajo riego (Gráfica No. 3), 3.5 millones bajo un régimen de lluvias favorables y más o menos la misma cantidad bajo un régimen deficiente, se estima en 700 kg/Ha y su potencial en 1.4 Ton/Ha, el de temporal favorable en 1.8 Ton/Ha y su potencial en 4.5 Ton/Ha y el de riego en 3.6 con un potencial



### 2.1.3. CONSUMO E INDUSTRIALIZACIÓN

Actualmente se estima que aproximadamente del total de la producción mundial de maíz cuantificada en unos 479 millones de Ton, 335 millones son destinados al consumo animal (70%), 105 millones al consumo humano (22%) y el resto 38 millones de Ton (8%) para uso industrial no alimenticio incluyendo semillas. El maíz crece rápidamente y tiene buenos rendimientos en climas cálidos cuyas temperaturas varían entre 20 y 30 °C y con suministros de agua abundante como el tropical o subtropical húmedo. Las necesidades de agua para la evapotranspiración en el cultivo son de 400 a 800 mm. Las áreas de temporal donde se pueden lograr buenas cosechas deben disponer de una precipitación bien distribuida y que acumulen más de 800 mm entre los meses de mayo y noviembre (38) pérdidas (Gráfica No. 4)

## DESTINO DE LA PRODUCCION DE MAÍZ EN MÉXICO Y A NIVEL MUNDIAL

(Mill. de Ton)



La demanda total para maíz en México, se ha expandido rápidamente desde los inicios de la década de los 60's aumentando a una tasa promedio anual de 3.4% entre 1961 y 1986, la demanda se ha expandido rápidamente durante los 70's mientras que en el intervalo de 1980 a 1986 declinó levemente (38).

El consumo anual per capita de maíz aumentó de 100 kg en 1950 a 190 kg en 1980 y se estima que alcanzará los 248 kg en el año 2000 para satisfacer a una población de 100 millones de mexicanos. Ello implica prever un incremento promedio anual de 1.5% en el consumo respecto al de 1980 y un abasto necesario de casi 30 millones de Ton de grano para cubrir la demanda de fines de siglo (38).

México es el principal consumidor de maíz blanco en el mundo con un total de 10 millones de Ton anuales para consumo humano y 4.2 millones de toneladas para uso forrajero e industrial no derivado de productos alimenticios. (Gráfica No. 5) en tanto que E.E.U.U. de una producción de 202 millones de Ton, exporta de 50-62 millones de Ton del cereal (25-31 %), y 150 millones de Ton fueron destinadas al consumo interno (72 %), de este consumo interno, 124 millones de Ton fueron para forrajes, grano de engorda y alimento para pollos y de 26.3 millones de Ton para el consumo industrial y humano (Gráfica No. 6)

### Consumo de Maíz en México en 1991

(Miles de toneladas)

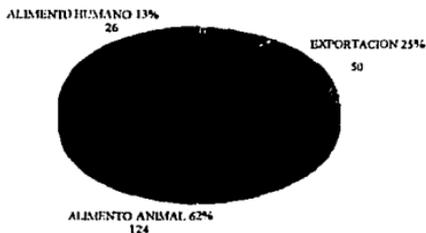


Total estimado en 14.22 millones de Ton.

Gráfica 5

### Distribución de la Producción de maíz.

E.U.A. EN 1991.



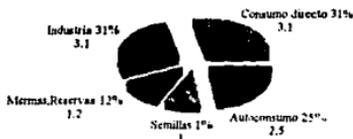
Millones de Ton. de maíz amarillo

PRODUCCION DE 200 MILLONES DE TON.

Gráfica 6

El consumo humano es del orden de 10 millones de Ton de maíz blanco destinado a las industrias, al autoconsumo, al consumo directo, a la semilla a mermas y a reservas, (Gráfica No. 7) el resto del consumo no humano se abastece parcialmente con la producción nacional e importaciones (38).

## Consumo Humano de Maíz en 1992



Consumo humano de 10 millones de Ton.

Gráfica 7

## 2.2. CARACTERÍSTICAS DEL MAÍZ

### Origen y clasificación

El maíz conocido botánicamente como *Zea mays Linnacus*, es una de las semillas más versátiles del mundo.

El maíz es una planta cultivada en nuestro país desde hace más de 5000 años y supera a cualquier otro cereal en la riqueza de sus variedades.

Botánicamente, un grano de maíz recibe el nombre de cariósipide, por el hecho de que el pericarpio es delgado y esta íntimamente ligado a la semilla.

La forma, tamaño, estructura y composición del grano están determinados por su variedad y genética.

Las semillas de maíz surgen de la planta agrupadas alrededor de un cuerpo rígido central, los granos a diferencia de muchos otros cereales no se encuentran expuestos directamente al medio ambiente, estas se encuentran protegidos por medio de capas de hojas tenaces, a esto en conjunto se les

denomina mazorcas, de esta forma las semillas resultan incapaces de reengendrarse por si mismas, por lo que no se reproduce si el hombre no lo cuida (1, 14, 18).

### 2.3. MORFOLOGÍA, COMPOSICIÓN QUÍMICA Y VALOR NUTRICIONAL

La estructura general del grano de maíz está constituida por dos grandes secciones, la exterior o cubierta denominada pericarpio y la interna en donde se localizan claramente definidos los componentes estructurales y de reserva (endospermo) y las funcionales propias de la herencia y reproducción (germen). La cubierta externa, formada por diversas capas constituyen el pericarpio o la pared del ovario maduro, estas capas se encuentran compuestas por celulosa y hemicelulosa principalmente y comprenden las capas exteriores de la célula hasta el recubrimiento de la semilla (Figura 1).(18).

Cuadro 2 Composición química

COMPOSICIÓN QUÍMICA PROXIMAL DE GRANOS DE MAÍZ		
Componente (%)	Promedio % (*)	Intervalo
Materia Seca	89.0	87.0-91.0
Almidón	72.0	64.0-78.0
Proteínas	10.0	9.3-10.7
Lípidos	4.4	4.0-4.8
Fibra Cruda	2.2	2.1-2.3
Cenizas	1.2	0.9-1.5

\*B.S. (base seca) (ref. 13)

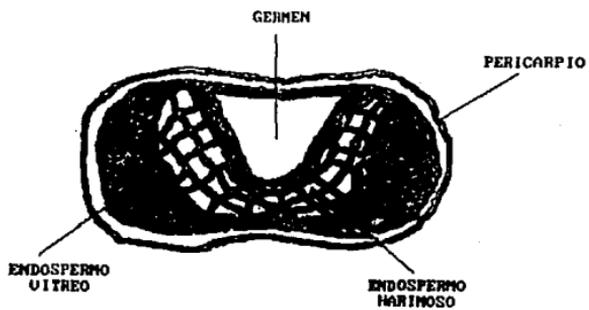
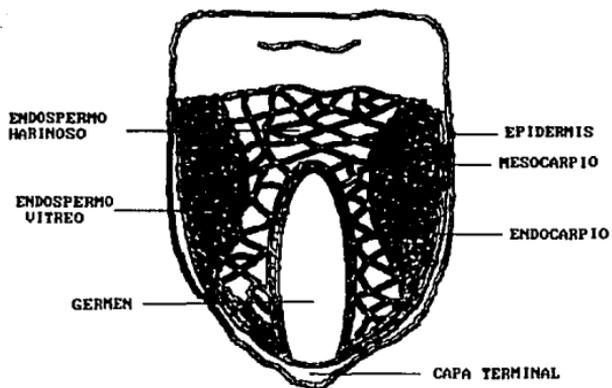


Figura 1 Sección longitudinal de grano del maíz (arriba)

Sección transversal del grano de maíz (abajo)

El germen, formado por escutelo (cotiledón) y embrión, es el que contiene gran parte de las proteínas funcionales de la semilla (cuadro 2) que están presentes en el grano de maíz (de estas una cantidad considerable corresponde a proteínas solubles de tipo albúmina y globulina) además de la proteína en el germen se encuentra una alta proporción de lípidos vitaminas y nutrientes inorgánicos (Tabla 1)

El endospermo es la porción amilácea del grano, esta constituida de dos regiones, endospermo harinoso o suave y endospermo vítreo o duro. La región harinosa tiene mayor contenido de amilosa, y en la región vítrea se encuentra el mayor proporción de amilopectina (1, 18).

### CUADRO 3.

DISTRIBUCIÓN DE LA PROTEÍNA EN EL GERME Y EL ENDOSPERMO EN GRANOS DE MAÍZ.(1, 18).

Fracción de Proteína	Germen %	Endospermo % <sup>1</sup>
Insoluble	0.9	1.9
Soluble en ácido	39.4	26.3
Soluble en álcali	54.0	28.0
Soluble en alcohol	5.7	43.0

<sup>1</sup> (Base seca).

El endospermo representa del 79 al 82 % del grano, el germen del 10 al 13 % y el pericarpio el 5.5 %. Estos porcentajes son variables. ya que la composición del grano depende de muchos factores como son: el suelo, la variedad y cuidados conferidos a la semilla, el clima, la altitud, la humedad, etc. (11, 14).

Como en el caso de la mayoría de los cereales, el maíz tiene bajo contenido de proteínas (aproximadamente un 10 %) el 50% de ellas corresponde a la zeína. Las proteínas en el germen son deficientes en aminoácidos indispensables como la lisina y el triptófano (11, 16).

## 2.4. COCIMIENTO DEL MAÍZ (NIXTAMALIZACIÓN)

La nixtamalización se basa en un tratamiento térmico-alkalino en donde el grano experimenta una serie de cambios en su composición, así como en sus propiedades físicas, químicas y biológicas, este incluye cambios en su estructura y en sus características externas e internas.

Durante el proceso existen cambios químicos y estructurales del grano que condicionan y definen las propiedades funcionales (textura, color, frescura, sabor y vida de anaquel) del producto final, harina de nixtamal.

En la bibliografía se menciona que mediante un pre-remojo antes del tratamiento térmico alcalino se obtiene una reducción del 40% en el tiempo de cocimiento del grano en la obtención del nixtamal, comparado con el método tradicional.

### Transformación de granos crudos a nixtamal

La nixtamalización causa el adelgazamiento de la pared celular facilitando la eliminación del pericarpio y la capa del endocarpio.

Los gránulos de almidón se hinchan en todo el grano. En el endospermo caloso y periférico los gránulos de almidón son parcialmente gelatinizados y el resto permanece igual que en la célula original. La proteína en la medida que se hidrata permanece alrededor de los gránulos de almidón.

El álcali disuelve fracciones de la pared celular facilitando la separación del pericarpio; en los granos que han sido sobrecocidos retienen el pericarpio, mientras en granos poco cocidos el pericarpio se elimina fácilmente.

A medida que continúa este proceso, los gránulos de almidón se rompen y aparecen moléculas libres hidratadas de amilosa y amilopectina y la viscosidad de la pasta se reduce hasta alcanzar un cierto valor en lo que se estabiliza. La temperatura de gelatinización se expresa como un intervalo, ya que no todos los gránulos se hinchan y gelatinizan al mismo tiempo y temperatura, debido a que algunos son más resistentes y por tanto pueden requerir hasta 10 °C más que otros. La cantidad de agua absorbida por los almidones varía entre los diferentes tipos pero podemos considerar que se encuentra

entre 40 y 55 g de agua por 100 g de almidón.

La concentración de cal fue alta en el pericarpio del grano (17) indicando la relación que existe en el contenido de calcio y la degradación de la pared celular.

El pericarpio no se separa uniformemente de la superficie del grano, requiriendo de algún tipo de agitación física o abrasión.

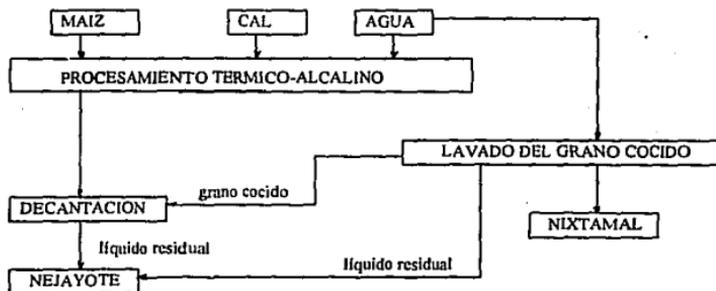
Pflugfelder 1988 reportó que el pericarpio del maíz es el componente primario de 3-9% en la pérdida de materia seca encontrada en el agua de desecho de las plantas procesadoras.

Paredes-López y Saharópulos 1982 reportaron que la degradación de la cutícula y otras capas del pericarpio aparentemente ocurren durante el cocimiento y tiempo de reposo.

Aparte del hinchamiento de los gránulos de almidón se observaron pocos cambios en el endospermo harinoso (20, 35).

De acuerdo a la figura 2, este tratamiento consiste en cocer el maíz durante un tiempo determinado, usando hidróxido de calcio para la obtención de nixtamal. Las condiciones empleadas en México para la obtención de nixtamal difieren considerablemente en función de los hábitos de la región del nivel de producción, de las tradiciones o cultura que se tenga, esto varía sobre todo en cuanto a cantidades y metodologías para prepararlo conservando la esencia del proceso que emplea una solución de  $\text{Ca(OH)}_2$  acompañada de un tratamiento térmico (cuadro 3).

## PROCESAMIENTO DEL MAÍZ PARA LA OBTENCIÓN DE NIXTAMAL



ref (11, 27)

FIGURA 2

Después de cocido, reposado y enfriado, el maíz es lavado con agua, esto último ayuda a separar la cáscara del grano y a eliminar gran parte del hidróxido de calcio.

CUADRO 4

CONDICIONES EMPLEADAS EN MÉXICO PARA EL PROCESO TERMICO-ALCALINO DE MAÍZ.			
<i>Condiciones</i>	<i>Mínima</i>	<i>Recomendable</i>	<i>Máxima</i>
Kg cal/100 Kg (*)	0.6	1.24	4.0
Rel: maíz-agua	1:2	1:3	1:4
Tiempo (min)	15	120	200
Reposo (h)	3	13.5	19
Temperatura oC	75	83	100

(\*) por cada 100 kg de maíz

En la actualidad se lleva a cabo la nixtamalización pero a gran escala y con mejores rendimientos. Por ejemplo ahora se cuenta con transportadores de tipo tornillos sin fin y elevadores de cangilones para la transportación del grano de maíz para su almacenamiento en silos. De igual manera se cuenta con equipos de mayor capacidad como es el caso de los cocedores los cuales se clasifica en dos tipos:

Por lote o continuos que en unos cuantos minutos se obtiene el nixtamal y no en unas horas como el método tradicional, y el reposo que era de toda una noche, siendo ahora de unos cuantos minutos. Hoy en día se cuenta con plantas totalmente automatizadas que elaboran el nixtamal para la obtención de la harina de nixtamal y cuentan con una producción aproximada de 300 toneladas diarias, esto nos da un reflejo de la tecnología a nivel industrial que poseemos, y que demuestra las innovaciones que hemos venido experimentando desde nuestros antepasados ya que en esencia esta corresponde a una tecnología mexicana.

El proceso comercial moderno de la producción de masa ha evolucionado del método tradicional de nixtamalización o cocimiento alcalino, usado por los aztecas. La masa es utilizada para formar las tortillas, tacos, tostadas, tamales, fritos, etc.(28).

#### **Transformación de nixtamal a masa**

Dentro de los cambios que sufren los granos después de la nixtamalización, el total de los lípidos de la masa (del 25 al 50%) estarán libres y parcialmente emulsificados. Los gránulos de almidón y componentes de proteína se hidratan ligeramente por la adición de agua durante la molienda o trituración. La molienda causa que los gránulos de almidón estén sujetos a un calor adicional por la fricción causando una gelatinización extra y un daño al grano.(29)

La degradación o debilidad de la pared celular causada por el cocimiento térmico-alcalino y el reposo, facilitan la molienda y la homogeneización óptima del tamaño de partícula típica de la masa.

La masa se compone de fracciones gruesas que provienen del pericarpio germen y partes del endospermo periferal, fracciones de un tamaño intermedio provenientes del endospermo cómeo y las fracciones finas que incluyen gránulos de almidón libres y solubles.

La proporción de los gránulos de almidón libres, lípidos dispersos y componentes sólidos disueltos en masa, cambian drásticamente las propiedades de la masa, tortillas y productos de está para freír.

La masa se moldea a tortillas y se cocen o se seca para producir la harina la cual puede ser usada como instantánea.(5, 15, 29, 33).

Durante la cocción de la tortilla una degradación de la pared celular, favorece la cristalinidad del almidón. Ocurriendo una destrucción parcial de la estructura de las proteínas.

#### **Transformación de masa a tortillas**

Las condiciones para la elaboración de la tortilla son variables, ya que dependen de los hábitos de consumo y de otros factores. Reyes H., en 1982 reporta la siguiente metodología, la masa obtenida se divide en porciones de 25 a 50 gramos con lo cual se moldea un círculo plano de 15 a 20 cm. de diámetro y de 0.2 cm de espesor, este se calienta en una malla metálica a fuego directo o sobre una superficie caliente (comal) para cocerla hasta un tiempo aproximado de 35 segundos variándose luego el tiempo por espacio de 20 a 35 segundos para cocerse en forma semejante por el lado opuesto, obteniéndose un producto final denominado "TORTILLA".(8, 10, 14, 21)

### **2.5. CARACTERÍSTICAS DE LA TEXTURA DEL GRANO DE MAÍZ, MASA Y TORTILLA.**

La textura es "el conjunto o atributos de un material como resultado de una combinación de propiedades físicas y químicas, las cuales en su conjunto son percibidas por nuestros sentidos".

Para determinar estas características se han instrumentado métodos empíricos o indirectos, clasificándose en función del tipo de material de observación (fluidos, semisólidos, sólidos, etc.).

Por ejemplo, la textura se emplea para relacionarla con el grado de calidad funcional en algunos cereales: arroz (calidad molinera), trigo (molinera y panadera), etc. En otros casos, como en los chícharos y algunas frutas esta determinación se efectúa en relación con el grado de madurez, etc. Sin embargo, para maíz y en especial para aquellos granos destinados a ser procesados para la elaboración de nixtamal los datos son aún más escasos, siendo esto uno de los objetivos del presente trabajo.

Cuando la determinación se efectúa directamente sobre el material (grano de maíz nixtamalizado), es decir se lleva a cabo la medición directa de la fuerza o del trabajo realizado durante la deformación.

del material se le denomina texturógenos primarios. Estos también se representan como la medición de textura y es importante como parte del control de calidad de los alimentos (22, 24, 25,32).

Como antecedente a estudios de textura se encontró que tiene gran influencia el número de cuchillas y su espesor en el funcionamiento de la celda de compresión de tipo kramer y se encontró que los resultados obtenidos en las celdas son dependientes del producto. El espacio de las cuchillas resultó ser un factor crítico en el diseño de la celda y por lo tanto en su resultado (31).

Por otra parte se han desarrollado numerosos instrumentos para este propósito. Probablemente uno de los más conocidos es el sistema de prueba de textura mejor conocido como celda de extrusión-cizallamiento Kramer (KSP), y recientemente el uso del Texturómetro Universal Instrón seguido por el sistema de medición de textura desarrollado en Ottawa (31).

Estos instrumentos son altamente sofisticados, ya que están provistos de sistemas mecánicos, y electrónicos avanzados.

Todos estos instrumentos tienen tres componentes básicos:

1. Un sistema de manejo para la deformación de la muestra.
2. Una celda para contener la muestra
3. Un mecanismo sensible para registrar la resistencia que ofrece el material a observar.

Los instrumentos utilizados del tipo del Texturómetro Universal han tenido éxito en muchas aplicaciones; de hecho hay una continua innovación ya que son más fáciles y baratos para su aplicación en rutinas industriales para la determinación de control de calidad (8, 34, 41).

En el caso del nixtamal, los cambios que pueden afectar la textura son la capacidad de absorción del agua y el grado de gelatinización del almidón del nixtamal, las cuales están relacionadas con las propiedades y características del maíz que afectan la textura y por lo tanto la calidad de la masa como tal.(5)

Un maíz más cristalino perderá un contenido de agua mayor por lo que la gelatinización será diferente al de un maíz harinoso.

Por ejemplo el maíz opaco-2 de endospermo duro, alto en proteínas y en almidón, produce una masa que es más pegajosa, que la masa de maíz normal debido a la alta degradación de gelatinización que ocurre durante el cocimiento alcalino. Según se reporta, esta masa muy pegajosa no es conveniente para la elaboración de la masa para tortillas (34-36).

El contenido de humedad óptimo del nixtamal necesario para producir la mejor tortilla es controversial. Según Sollano y Barriozabal un maíz cocido apropiadamente es obtenido cuando el contenido de humedad del nixtamal llega a alcanzar el 46%. La textura de la masa se verá afectada por la textura del endospermo, tipo de endospermo, secado almacenamiento y firmeza del grano (37-42).

La molienda de granos crudos y poco cocidos en ausencia de álcali, que tienen poco tiempo de proceso, o en las que no se produce la apropiada ruptura de la estructura del grano de maíz hacen que la textura no sea la adecuada para la masa.

La preparación de la masa producto básico para la elaboración de la tortilla, se efectúa a partir del nixtamal, en el cual el maíz se fracciona físicamente por medio de un molino. Se adiciona agua a la harina o nixtamal para compensar la pérdida de humedad en la operación de molido o triturado y para obtener la textura deseada de la masa (36, 42).

De esta manera se observa que el contenido de humedad del nixtamal es importante como una de las características de la masa dependiente para una buena definición de la calidad de la tortilla.

El grado de cohesión y la pegajosidad de la masa se incrementa con el tiempo de cocimiento, temperatura, concentración de cal y reposo. Para ambos esto indica un alto grado de gelatinización en el almidón.(5)

En la producción de harina de nixtamal Lloyd y Sotres mencionan que el cocimiento del maíz debe ser abajo de los 100 °C teniendo un contenido de humedad entre 30 y 50%.

El secado del nixtamal con 35-50% de humedad debe llevar a cabo a temperaturas a abajo de la temperatura de gelatinización del maíz.(23, 32, 33).

## **2.6. CONTROL DE CALIDAD PARA LA HARINA DE MAÍZ NIXTAMALIZADO**

La definición dada por A. Kramer considera que la calidad es "aquella combinación de atributos de un alimento que determina el grado de aceptabilidad del producto por el consumidor y que por tanto, condiciona su valor comercial".

La evaluación de la calidad de un producto se hace por medida de los factores de calidad: sabor, aroma, color, textura y defectos principalmente. La determinación de cada uno de estos factores puede realizarse organolépticamente o midiendo alguna característica física, química o biológica del producto, relacionada con el factor correspondiente (26, 30).

El control de calidad comprende tres fases, que por orden cronológico son: control de materia prima, control de fabricación y control de calidad del producto terminado.

### **2.6.1. Control de materia prima.**

Un buen control de materia prima comprende las determinaciones de:

#### **Estado sanitario:**

Este comprende la evaluación del grado de suciedad, de la contaminación microbiana y de la presencia de residuos de plaguicidas en proporciones superiores a los niveles permitidos

#### **Características sensoriales de calidad**

Este aspecto es el que recibe mayor importancia y entre sus características más importantes están: color, sabor, aroma, textura y defectos. El control de estas características se realiza generalmente de

forma sensorial.

#### **Factores de calidad industrial.**

La materia prima además de satisfacer las exigencias sanitarias y las referentes a sus características sensoriales, deben reunir también ciertas características de calidad industrial que ayuden a mejorar la calidad del producto terminado y el rendimiento de la fabricación principalmente, las características físicas (forma, color, textura) y químicas (composición, riqueza en determinados componentes).

#### **2.6.2. Control de fabricación.**

El control de fabricación consiste en el control individual de cada una de las operaciones de fabricación y en la coordinación de todas ellas.

El control de cada operación comprende los controles de trabajo y los controles de eficacia. Los primeros informan sobre la marcha de la operación o sobre el funcionamiento de la máquina encargada de realizarla y los segundos sobre los resultados conseguidos en cada momento. Ambos exigen un conocimiento preciso de la finalidad que se persigue. De acuerdo con esta finalidad, se establecen los tipos de control que deben seguirse para conseguir resultados óptimos tanto desde el punto de vista cuantitativo (rendimiento) como en calidad del producto elaborado.

#### **2.6.3. Control de calidad del producto terminado.**

Con este se consigue la última información acerca del producto. Este control nos suministra información sobre:

- a) La posibilidad de mejorar tanto la calidad de la materia prima como el proceso de fabricación.
- b) El valor comercial del producto.

Generalmente, la simple observación visual del producto terminado ya sugiere la adopción de cambios de la materia prima y de modificaciones en el proceso de fabricación. La medida de pH, el peso escurrido, la calidad del cierre, etc., suministra información que puede sugerir modificaciones que mejoren notablemente el rendimiento o la calidad del producto terminado. Naturalmente, cuanto antes se realicen estas determinaciones mayor será su efectividad y menores las pérdidas o el descenso de calidad del producto terminado.

En algunas ocasiones es necesario, dejar transcurrir algún tiempo antes de realizar el análisis final para conseguir la estabilización del producto. Otras veces hay que estudiar la evolución de la calidad durante el almacenamiento en determinadas condiciones.

Desde el punto de vista práctico, el control de calidad se realiza siguiendo las exigencias contenidas en las normas vigentes. Cuando no se dispone de normas, se ajusta a los criterios del fabricante, (3).

Existe una norma oficial para la harina de maíz nixtamalizado cuyas especificaciones, sólo podrán satisfacerse cuando en la elaboración del producto, se utilicen materias primas de calidad sanitaria, se apliquen buenas técnicas de elaboración y se realicen en locales e instalaciones bajo condiciones higiénicas, que aseguren que el producto es apto para el consumo humano, de acuerdo con el Código Sanitario de los Estados Unidos Mexicanos, sus Reglamentos y demás disposiciones de la Secretaría de Salud, (4).

Dentro de estas disposiciones y reglamentos la harina de maíz nixtamalizado en su único tipo y grado de calidad debe cumplir con las siguientes especificaciones que se resumen en los cuadros 4, 5, 6 y 7:

**CUADRO 5.**

<b>Sensoriales</b>	
Color	Debe ser blanca amarillenta o característica de la variedad de grano empleado
Olor	Debe ser característica y no presentar signos de rancidez u otro color extraño
Sabor	Debe ser característica del producto y no tener ningún sabor extraño
Aspecto	Debe ser grandioso con una finura tal que el 75% como mínimo pase a través de un tamiz de 0.250 mm de abertura de malla, tamiz NOM No. M.-60 U.S.

(ref. 39)

**CUADRO 6.**

<b>Físicas y Químicas</b>		
ESPECIFICACIONES (*)	MÁXIMO	MÍNIMO
Humedad (%)		11.0
Proteínas % (Nitrógeno*6.25)	8.0	
Cenizas %		1.5
Extracto Etéreo	4.0	
Fibra Cruda		2.0

\* (B.S.)(ref. 39)

**CUADRO 7.**

<b>Microbiológicas</b>
No debe contener microorganismos patógenos
No debe tener más de 1000 Col/g. de hongos
No debe tener biotoxinas fuera de los límites que la Secretaría de Salud y Asistencia señala en esta norma

(ref. 39)

**CUADRO 8.**

<b>Contaminantes Químicos</b>	
Plaguicidas	No debe contener residuos de plaguicidas en cantidades que puedan presentar un riesgo para la salud.
Contaminantes metálicos	No debe exceder el límite de : Arsénico 0.3 mg/kg (ppm) máximo.
Biotoxinas	Aflatoxinas 20 microgramos/kg (0.02 ppm)
Materia Extraña Objetable	Debe estar libre de fragmentos de insectos, pelos y excretas de roedores.
Ingredientes Básicos	Malz, agua y $\text{Ca}(\text{OH})_2$
Aditivos	No se permite el empleo de aditivos (colorantes conservadores).

(ref. 39)

**2.6.4. Factores de Calidad.**

Al definir la calidad se ha dicho que es un combinación de diversas características cuya suma da la calidad global del alimento. Estas características o factores de calidad pueden clasificarse en 4 grupos: **cuantitativos, nutritivos, sanitarios y sensoriales**

Los factores cuantitativos son el peso o el volumen, que corresponde a la cantidad de producto que adquiere el consumidor a un determinado precio.

Los factores nutritivos comprenden todos los componentes relacionados con la nutrición humana, o sea, el contenido de un alimento en grasas, proteínas, hidratos de carbono, vitaminas, etc.

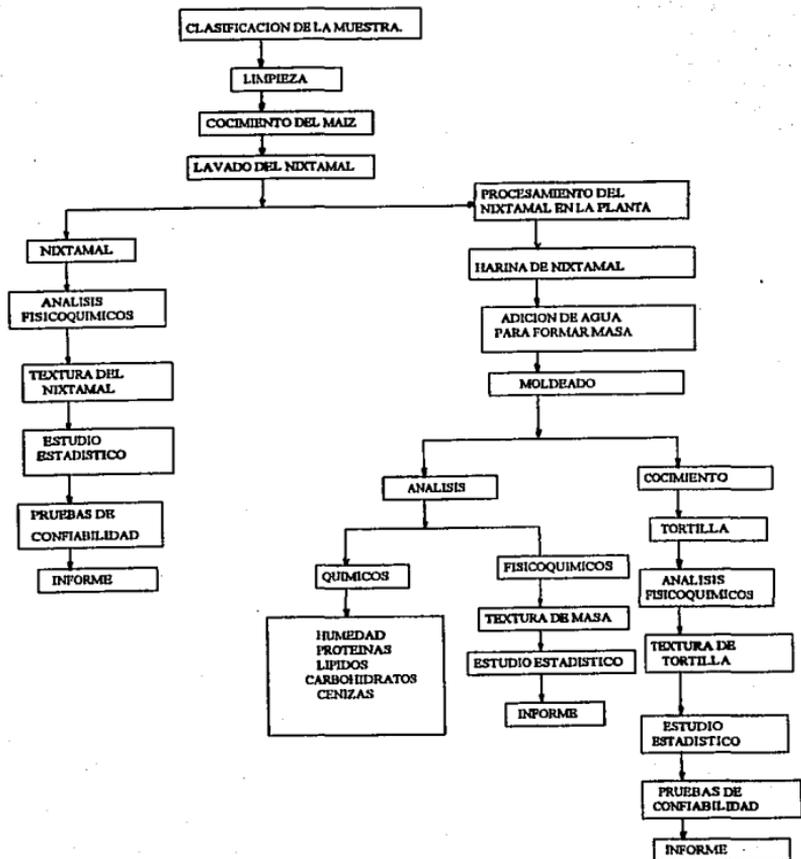
Los factores sanitarios son aquellos que afectan a la pureza, integridad o contaminación de un alimento, como son residuos de plaguicidas, microorganismos viables o no, etc.

Los factores o características sensoriales, que son los que el consumidor aprecia con sus sentidos.

Estos últimos factores son los que más influyen en el consumidor en el momento de aceptar o rechazar un alimento, y a los que se concede mayor importancia al elaborar una norma de calidad, con olvido y en perjuicio de la llamada "calidad interna", o sea de aquellos factores invisibles pero de suma importancia, como son los sanitarios y los nutritivos, (2).

## **CAPITULO III**

## DESARROLLO EXPERIMENTAL



## **3.2 MATERIAL Y EQUIPO**

### **Materia prima**

El material de prueba maíz y harina para el desarrollo del presente estudio fue proporcionado por MICONSA planta ubicada en Tlanepantla Edo. Méx.

### **3.2.1 MATERIAL:**

El material de laboratorio a utilizar es el siguiente:

- Cartucho para extracción
- Lana de vidrio
- Matraz de bola
- Asbesto de fibra mediana
- Matraces Erlenmeyer de 250 ml (pyrex)
- Matraz Kitazato
- Vasos de precipitados de 250 ml (pyrex)
- Olla para la nixtamalización o cocción
- Termómetro (-10 a 150 °C)
- Pinzas para crisol
- Mecheros Bunsen
- Cronómetro
- Crisoles de porcelana

- Probetas graduadas de 100 ml
- Probetas graduadas de 250 ml
- Embudo Buchner
- Espátula
- Batidora (doméstica)

### **3.2.2 REACTIVOS:**

- Hidróxido calcio  $\text{Ca(OH)}_2$  de grado comercial
- Éter de petróleo
- Hidróxido de sodio
- Ácido clorhídrico
- Alcohol de 96%
- Éter etílico
- Ácido sulfúrico

### **3.2.3. EQUIPO:**

- Baño térmico aislado con equipo de agitación mecánica.
- Texturómetro Universal Instrón. (marca Mazal)
- Termobalanza automática Brainweigh MB 300 (marca Ohaus)

- Parrilla eléctrica thermodyne (marca Sybron)
- Balanza analítica (marca Mettler H31)
- Balanza granataria (marca Ohaus)
- Mufla (marca Lindberg)
- Microscopio de disección (marca Will)
- Balanza analítica (marca Mettler)
- Estufa a 100°C (marca GCA corporation)
- Kjeldahl (digestor y destilador) (marca Tecator)
- Soxhlet PS

### 3.3. METODOLOGÍA:

#### Granos de maíz

##### Clasificación de la muestra

Se eligieron al azar de un lote representativo de maíz, las muestras proporcionadas por las plantas de Tlalnepantla, Edo. Mex., de Guadalajara, Jal., de los Mochis, Sin., de Jaltipan, Ver. y Arriaga, Chis.

El material seleccionado se clasificó de acuerdo a las características de forma, tamaño, peso, color, tipo y procedencia entre otros.

Dentro de los factores que se encuentran presentes en los granos y que tienen una influencia en la calidad de la harina, se mencionan los siguientes (a nivel planta):

1. - **Humedad alta:** Los granos con niveles altos de humedad pueden presentarse como material más propenso al desarrollo de microorganismos, situación que incrementa la probabilidad de que durante el almacenamiento en los silos o bodegas proliferen el desarrollo de microorganismos que produzcan aflatoxinas.
2. - **Material picado o quebrado:** Los granos picados o quebrados durante el cocimiento, presentarán niveles o grados de nixtamalización mayores que los granos enteros. En consecuencia, absorberán más agua y presentarán un nivel mayor de gelatinización en sus almidones. Este fenómeno presentará en consecuencia, una harina de consistencia menor, pegajosa y chiclosa. Razón por la cual el porcentaje de material picado o quebrado observado en materia prima debe ser considerablemente bajo o inferior al 3%
3. - **Color amarillo:** Los pigmentos que le confieren al grano de maíz una coloración amarilla se

encuentran principalmente en las capas exteriores del grano, estos pigmentos dan como resultado sustancias de color oscuro, las cuales presentan una marcada influencia en el color final de la harina. Por tal motivo se recomienda emplear preferente grano de maíz blanco.

4. - Grano sobre calentado: Éste puede provocar cambios estructurales irreversibles en los almidones contenidos en el endospermo del grano. Los daños reportados incluyen pérdidas de elasticidad o consistencia y disminución de la capacidad de gelificación de los almidones. Estos daños aunados al proceso térmico alcalino demeritan la calidad de la harina.

#### **Limpieza del grano**

En las plantas se llevó a cabo mediante la utilización de una máquina compuesta por un juego de mallas de separación por tamaño, colocadas en un arreglo paralelo de planos inclinados por medio de los cuales todo material tenderá a circular. El material de tamaño superior al grano de maíz no pasará la primera malla o malla superior, en tanto el material o partículas más pequeñas que los granos se separan por medio de la malla inferior la cual tiene por objeto el retener a los granos de maíz. El material exento de impurezas, pasa a una tolva de carga automática, calibrada para medir lotes de 30 kg. Los granos limpios y pesados pasan a un sistema de transporte continuo de bandas para ser llevados a los cocedores.

En el laboratorio se eliminó todo tipo, de impurezas por medio de un tamiz (mallas número 20, 40, 50, 60, 80 y 100).

#### **Cocción del maíz**

A nivel laboratorio, 1 kg de maíz limpio se procesó en condiciones de temperatura de 80 °C por 30 minutos en medio alcalino al 1 %, con una relación grano:agua 1:3, estas condiciones fueron siempre

constantes.

En las plantas las condiciones que se emplean no son fijas, ni corresponden a valores absolutos que puedan establecerse en definitiva para lograr un producto homogéneo con todos los granos, por el contrario, cada tipo o variedad de grano responderá de manera muy particular, dependiendo tanto de la variedad como de las condiciones a que se lleva a cabo el cocimiento.

En los cocedores o reactores, los flujos o volúmenes de carga de cada uno de los materiales que intervienen en el proceso deben registrarse periódicamente, de tal forma que se obtenga información precisa de las condiciones empleadas en el reactor.

#### Cocedores

En esta etapa se realizó un proceso térmico alcalino llevándose a cabo la transformación del grano a nixtamal.

En esta etapa se utilizan cocedores continuos de 2 m de diámetro y de 6 a 9 m de largo, el grano se transporta a lo largo del reactor, y se deposita en el dosificador éste entra en contacto con una solución de  $\text{Ca(OH)}_2$  (cuya concentración promedio es de 0.9%) y agua caliente la cual en forma continua es calentada con vapor, ambas  $\text{Ca(OH)}_2$  y agua se controlan en forma automática.

Aquí se involucra el control de varios parámetros entre los que se encuentran la temperatura de cocimiento, el tiempo, la concentración de  $\text{Ca(OH)}_2$  y la relación de agua:grano.

#### Lavado del nixtamal

Posteriormente en el laboratorio, se lavaron los granos con agua corriente en un volumen equivalente a 5 veces el contenido de nexayote.

Se dejó reposar el grano, hasta alcanzar una temperatura de 20 °C .

Inmediatamente después se colocan sobre un papel y se retirará el exceso de humedad hasta que queden secos superficialmente. A esto se le denominó grano procesado.

En las plantas el grano recibe un solo lavado con agua circulando a presión. Esta operación ayuda a desprender el pericarpio y a eliminar el exceso de hidróxido de calcio.

### **Reposo**

Después de que el grano de maíz se transformó en nixtamal conteniendo una humedad del 38%, este pasa a reposarse en tolvas aisladas, en donde reposará por espacio de 60 a 90 min periodo durante el cual se prolonga el tratamiento térmico.

### **3.3.2. Nixtamal:**

Una vez que se deja reposar el grano y alcanza la temperatura de 20 °C, se procede a hacer los siguientes análisis.

#### **Análisis Bromatológico**

Para la determinación de este análisis se realizaron las siguientes pruebas. Cuyas técnicas se encuentran explicadas en el (apéndice 1)

Proteína, Carbohidratos, Lípidos, Humedad, Fibra cruda y Cenizas

#### **Análisis fisicoquímicos (Textura)**

Estas determinaciones se realizaron solo a nivel laboratorio. (apéndice 2)

Penetración (D.U) (Determinación unitaria)

Compresión (grano) (D.U)

Corte (D.U.)

Cizallamiento-Extrusión

### **3.3.3 Masa:**

#### **Molienda**

Para el caso de un maíz procesado en planta se realizó lo siguiente:

El nixtamal después de transcurrido su período de reposo pasa a molienda, en este punto se produce un material equivalente a la masa tradicional y que sirve de alimentación al secador.

#### **Análisis Bromatológico**

Para la determinación de este análisis se realizaron las siguientes pruebas. Cuyas técnicas se encuentran explicadas en el (apéndice 1)

Proteína, Carbohidratos, Lípidos, Humedad, Fibra cruda y Cenizas

#### **Análisis fisicoquímicos (Textura)**

Resistencia a la extrusión (apéndice 2)

### **3.3.4. Harina de Nixtamal (planta):**

En la sección en donde se lleva a cabo el proceso de elaboración de harina de nixtamal, se encuentran: molinos de masa, secadores, separadores ciclónicos, cernidores y molinos para la harina.

Esta área cuenta en cada paso con dispositivos para el muestreo de materiales, registro automático de las condiciones del proceso, registros permanentes de las condiciones, así como de una basta y variada metodología tanto para el análisis de materias en proceso, como para el registro y el control de cada operación.

El secado de la masa se lleva a cabo por medio de un secador pneumático tipo Flash, emplea el aire

del medio ambiente, el cual es calentado y mezclado con gases de combustión para alcanzar temperaturas elevadas (superiores a los 350 °C), el aire caliente entra en contacto con la masa la cual es depositada en un tubo tipo Venturi para que el aire caliente arrastre el material a la vez que se lleva a cabo una transferencia de calor entre, la masa y el aire caliente. En segundos la masa húmeda perderá agua hasta un contenido cercano al 12% de humedad. Esta operación se realiza en tan solo 2 ó 3 segundos. La harina seca, se separa del resto del aire por medio de un separador o ciclón.

El proceso en las plantas comprende una serie de determinaciones, que tienen por finalidad proporcionar información valiosa al resto de las áreas de la planta, de esta manera se identifican tanto las características como los atributos de los materiales en proceso y del producto final.

En relación a los métodos de control de calidad en su aplicación a la industria se emplean para las harinas determinaciones que se llevan a cabo en el Laboratorio de Control de Calidad de las plantas.

#### **Análisis Bromatológico**

Para la determinación de este análisis se realizaron las siguientes pruebas, cuyas técnicas se encuentran explicadas en el apéndice 1

Proteína, Carbohidratos, Lípidos, Humedad, Fibra cruda y Cenizas

#### **Análisis fisicoquímico (apéndice 2)**

En las plantas algunos de los métodos corresponden a técnicas de mayor aceptación, debido a su facilidad de manejo, al dominio pleno en su interpretación, y cuyos resultados son representativos y de alta confiabilidad. no requieren de comentarios adicionales, se emplean en todas las plantas y sus valores son estadísticamente reproducibles. Las técnicas en este grupo son :

Densidad y Consistencia

### **3.3.5. Tortilla:**

#### **Preparación y elaboración de tortillas.**

La masa obtenida se divide en porciones de 25 a 50 gramos con lo cual se moldea un círculo plano de 15 a 20 cm. de diámetro y de 0.2 cm de espesor, éste se calienta en una malla metálica a fuego directo o sobre una superficie caliente (comal) para cocerla hasta un tiempo aproximado de 35 segundos variándose luego el tiempo por espacio de 20 a 35 segundos para cocerse en forma semejante por el lado opuesto, obteniéndose un producto final denominado Tortilla.

#### **Análisis Bromatológico**

Para la determinación del análisis se realizaron las siguientes pruebas, cuyas técnicas se encuentran explicadas en el apéndice 1

Proteína, Carbohidratos, Lípidos, Humedad, Fibra cruda y Cenizas

#### **Análisis físicoquímicos (Textura) (apéndice 2)**

Pruebas de tensión

Determinación de color

Determinación de humedad

## **CAPITULO IV**

## 4.1 RESULTADOS

Del maíz proporcionado por Miconsa se realizó las siguientes determinaciones (Tabla I)

**Tabla I Determinaciones químicas en granos de Maíz entero (Base seca)**

Determinación	Valor Promedio	Desviación estándar
Proteína Nitrógeno *5.7	9.7	± 0.73
Extracto etéreo	4.5	± 1.22
Fibra cruda	2.1	± 0.34
Cenizas	1.6	± 0.19
Carbohidratos	73.4	± 8.32

Se puede observar que estos resultados (Tabla II) son congruentes con los datos reportados en la bibliografía (cuadro 2 pág 13) resaltando el hecho de que se trata de una buena fuente de carbohidratos y de proteínas.

### Resultados de Nixtamal

De los diferentes lotes de nixtamal analizados, se realizaron determinaciones químicas de proteína, extracto etéreo, fibra cruda, cenizas y carbohidratos por diferencia

Las determinaciones químicas para nixtamal se le efectuó a granos de maíz con un tiempo de cocimiento de 120 a 300 minutos, no encontrándose diferencias estadísticas significativas. Los datos del resultado de dichas determinaciones se resumen en el siguiente cuadro:

**Tabla II: Resultados de las determinaciones Químicas en granos de Nixtamal**

(base seca)

<b>Determinación</b>	<b>Valor Promedio</b>	<b>Desviación estándar</b>
Proteína Nitrógeno *5.7	8.12	± 0.52
Extracto etéreo	4.14	± 0.70
Fibra cruda	1.56	± 0.49
Cenizas	2.03	± 0.32
Carbohidratos	51.34	± 3.89

Industrialmente, el proceso tradicional de nixtamalización ha sido empíricamente modificado para minimizar costos: reducir cocimiento y tiempo de reposo. Para este propósito la relación grano:agua y la cal :grano han sido incrementadas.

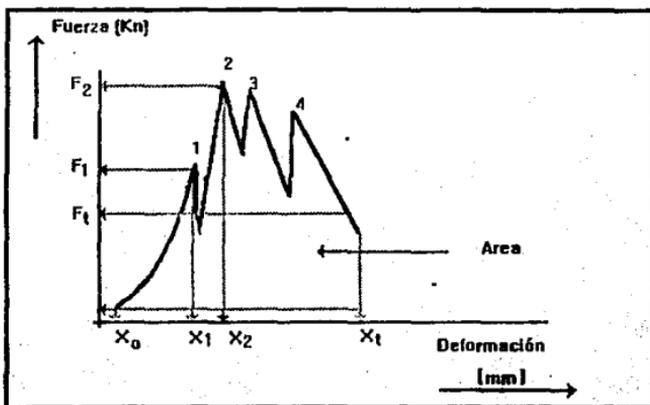
#### **TEXTURA DE GRANOS DE MAÍZ PROCESADOS (NIXTAMAL)**

De las pruebas realizadas sobre los granos de maíz se observó que las características físicas de este material influyen considerablemente en la determinación especialmente en las pruebas unitarias (donde solo se utilizó un grano) tal es el caso de las pruebas de penetración corte y compresión debido a que el valor promedio de las determinaciones posee una desviación estándar bastante alta mostrando una amplia dispersión de los datos obtenidos.

La representación gráfica típica del comportamiento obtenido en el Texturómetro Universal Instrón, para granos de maíz (Gráfica 2) se puede interpretar de la siguiente manera:

La deformación o camino recorrido en la prueba expresada en mm ( $x$ ) se determinó en la gráfica obtenida empleando los siguientes subíndices:

- (0) Para el inicio de la prueba.
- (1) Para la deformación necesaria para alcanzar la  $F_{máx}$  antes de presentar fracturas o rompimiento del grano, es decir el valor del primer pico de la gráfica.
- (2) Para el segundo pico.



Gráfica 2 Representación gráfica del Texturómetro Universal Instrón  
a) Penetración  
b) Compresión  
c) Corte

Los conceptos antes mencionados, así como también, el tipo de lectura, clave empleada y unidades obtenidas en la determinación se resumen en el (Tabla III), dicha nomenclatura se empleará para discutir los resultados de las pruebas antes mencionadas.

**Tabla III Interpretación y valores gráficos de textura**

<i>Concepto</i>	<i>Determinación</i>	<i>Clave</i>	<i>Unidades</i>
$F_{\max}$ en $X_1$	$F_1$	$F_1$	Kn
$F_{\max}$ en $X_n$	$F_{\max}$	$F_n$	Kn
$F_{\max}$ $X_1$	$F_1$	$F_1$	Kn
$I:(Fdx)$	Área	$A_r$	Kn:mn
Unidad de Penetración	$X_1-X_0$	$dx$	mm

$X_0$  inicio de la prueba

$X_1$  final de prueba

### Resultados de resistencia a la penetración

Como se manifestó, este tipo de prueba aporta información muy valiosa sobre las características individuales de los diferentes granos nixtamalizados analizados.

En resumen, para las pruebas realizadas de resistencia a la penetración, se obtuvieron en promedio los siguientes resultados:

- En el primer pico se encontraron valores mínimos de 0.1, mientras que el máximo fue de 0.95 siendo el valor medio de 0.36, concluyendo que el primer pico no puede emplearse para efectos de comparación de las condiciones del proceso (Tabla IV).
- La frecuencia en que los picos presentaron un máximo resultó casi dividida en los tres primeros picos.

c) Los datos de trabajo (área bajo la curva Ar), fuerza máxima al final de la prueba (Ft), así como de penetración o deformación muestran resultados similares a los discutidos anteriormente, es decir, desviación estándar bastante elevada, % de desviación e intervalo entre mínimos y máximos (estadísticamente), con elevada irregularidad respecto al valor promedio (Tabla IV).

Tabla IV

RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE LAS PRUEBAS TEXTUROMÉTRICAS EN GRANOS DE MAÍZ						
Tratamiento térmico-alkalino						
Prueba (penetración)						
Datos	F1	Fn	#Fn	Ar	Ft	dx
X	0.36	0.57	f(1)=10	39.4	0.39	7.28
S	0.20	0.28	f(2)=9	17.3	0.28	3.21
%desv	0.57	0.49	f(3)=11	0.44	0.68	0.25
Xmáx	0.95	1.3		73.0	1.1	13.0
Xmín	0.10	0.12		7.0	0.11	4.5

### Resultados de resistencia a la compresión (nixtamal)

En el (Tabla V) se resumen los datos obtenidos para la prueba de resistencia a la compresión observándose estadísticamente que los resultados muestran que esta prueba así como la anterior resultan de interés individual cualitativo de cada grano, y que no se recomienda emplear como método cuantitativo ya que no pueden emplearse confiablemente y en este caso aún más debido a la gran fracturabilidad del material manifestada a la compresión como resultado de las fuerzas tanto de la prueba como del material mismo al experimentar fuerzas de compresión en el plano horizontal al grano, como se puede observar en el número de picos presentes.

Tabla V

RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE LAS PRUEBAS TEXTUROMÉTRICAS EN GRANOS DE MAÍZ						
Tratamiento térmico-alcálico						
Prueba (compresión)						
Datos	F1	Fn	#Fn	Ar	F1	dx
X	0.23	0.31	f(1)=5	42.9	0.31	5.76
S	0.12	0.15	f(2)=9	22.7	0.14	1.67
%desv	0.05	0.47	f(3)=10	0.53	0.48	0.29
Xmáx	0.49	0.58	f(4)=5	96.0	0.62	9.0
Xmín	0.02	0.25	f(5)=1	12.0	0.10	2.0

### Resultados de resistencia al corte: (nixtamal)

Los resultados obtenidos en la resistencia al corte para granos de maíz empleando una cuchilla triangular manifiestan distancia de corte promedio de los granos de 2.73 mm (transversal al plano horizontal del grano) el primer pico en su mayoría de las determinaciones resultó un máximo, siendo el primero cuya frecuencia fue de 48 para las 60 determinaciones (Tabla VI) proporcionando un corte al grano de tal modo que de la fuerza requerida para este, dependerían las demás fuerzas resultantes; no obstante el porcentaje de desviación con respecto al valor medio (x) fueron superiores al 50% en la mayoría de las determinaciones.

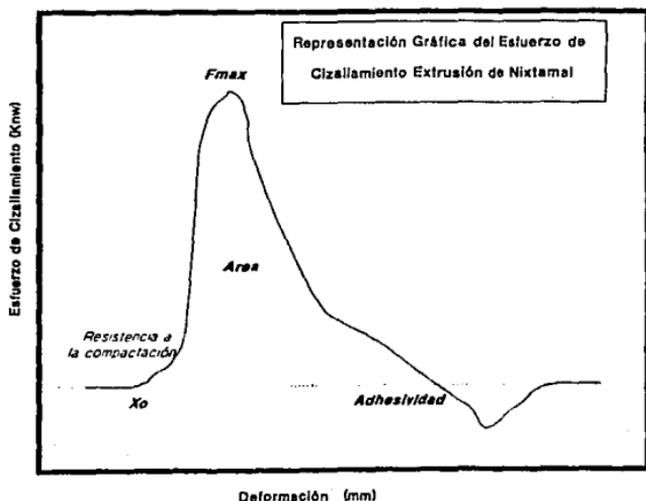
Tabla VI

<b>RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE LAS PRUEBAS TEXTUROMÉTRICAS EN GRANOS DE MAÍZ</b>						
<b>Tratamiento térmico-alkalino</b>						
<b>Prueba (corte)</b>						
Datos	F1	Fn	#Fn	Ar	Ft	dx
X	0.72	0.75	f(1)=24	13.4	0.04	2.73
S	0.46	0.45	f(2)=5	7.5	0.02	0.59
%desv	0.64	0.59	f(3)=1	0.56	0.45	0.22
Xmáx	2.7	2.7		40	0.06	4
Xmín	0.2	0.3		6	0.01	2

### Esfuerzo de Cizallamiento-extrusión (nixtamal)

Los datos aportados por la celda de multiplacas o celda Kramer presentan la mayor confiabilidad y reproducibilidad debido a los resultados promedio con la menor desviación estándar y los datos son reproducibles y de mayor confiabilidad que cualquiera de los otros 3 métodos con los que fueron comparados, lo cual pone en evidencia que esta prueba debido a que se realiza sobre una cantidad específica de material tiende a compensar la influencia que manifiestan las características de cada grano en la prueba (Gráfica 3).

Gráfica 3



En esta prueba se observará que al iniciar el contacto de las placas con el material ( $X_0$  en la gráfica 3) la resistencia se incrementaba considerablemente, no obstante en su inicio, el resultado no es tan pronunciado esto debido a una resistencia de los granos al compactarse a medida que las placas arrastran o desplazan a los granos enteros entre las rejillas de la celda y aquí este valor alcanzaba un máximo hasta el momento en que los granos quebrados se desplazaban entre la celda, disminuyendo el esfuerzo al iniciar la extrusión hasta un punto en el que la adhesión del material provoca una disminución al esfuerzo que realizan las placas.

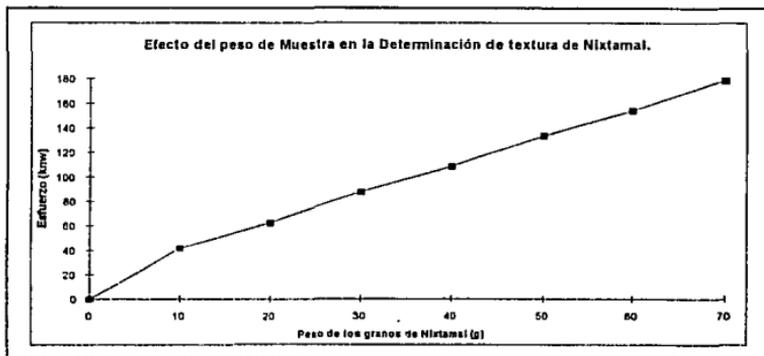
Los resultados estadísticos de la prueba (Tabla VII) muestran una constante reproducibilidad de los datos, obteniendo un porcentaje de desviación para un solo pico inferior al 0.1 fluctuando para la prueba entre valores mínimos y máximos de 80 a 90 respectivamente, por lo que se considera conveniente emplear esta prueba considerando únicamente el valor de la fuerza máxima en el pico único como dato para expresar la dureza de los granos de maíz procesados.

Tabla VII

RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE LAS PRUEBAS TEXTURONÉTRICAS EN GRANOS DE MAÍZ						
Tratamiento térmico-alkalino						
Prueba (Extrusión-Cizallamiento)						
Datos	F1	Fn	#Fn	Ar	Ft	dx
X	84	84	f(1)=30	61.6	7.5	13.2
S	4.1	4.1		7	2.2	0.13
%desv	0.05	0.05		0.11	0.33	0.01
Xmáx	80	90		69	10	18
Xmín	80	80		50	6	12

Se observó también que la dureza dependía de la temperatura y la cantidad de granos de maíz, empleados en la determinación, por lo que se consideró que durante las pruebas respectivas se efectuarán a temperatura constante de 20 °C, mientras que para efectos de corrección se procedió a evaluar el efecto del peso de la muestra sobre la determinación de textura en la celda Kramer.

(Gráfico 4).



Los resultados obtenidos al utilizar diferentes cantidades de muestra en la determinación de textura de los granos de maíz manifiestan una relación directa de la textura en función del peso de muestra empleada en la determinación.

Las muestras tomadas fueron de aproximadamente 50 g cada una en un intervalo desde 10 min hasta 300 min cada una; los granos se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se procedió a determinar su textura en el Texturómetro Universal Instrón tomándose diferentes cantidades ya que a menor tiempo de cocimiento mayor es el esfuerzo del Texturómetro y está es una de las variables que hay que tomar en cuenta para la determinación de esta prueba.

## RESULTADOS DE LAS DETERMINACIONES QUIMICAS EN MASA

La composición química de la masa en relación a su contenido de proteína, extracto etéreo, fibra cruda, cenizas y carbohidratos, se resumen en el siguiente cuadro.

**Tabla VIII Determinaciones químicas en Masa de Maíz**

**Base seca 50.23 % Humedad**

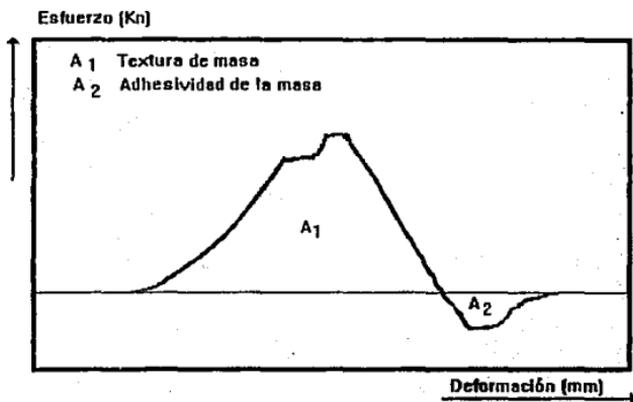
<b>Determinación</b>	<b>Valor Promedio</b>	<b>Desviación estándar</b>
Proteína Nitrógeno *5.7	9.02	± 0.35
Extracto etéreo	2.5	± 0.21
Fibra cruda	1.56	± 0.47
Cenizas	1.98	± 0.28
Carbohidratos	84.81	± 5.14

De acuerdo a la composición bromatológica se pudo observar que no hubo cambios significativos ya que los análisis realizados únicamente son de carácter físico. En donde sensiblemente se observa un cambio es en la determinación de extracto etéreo pero este fue debido al proceso de nixtamalización, al igual que las proteínas

## RESISTENCIA A LA EXTRUSIÓN-CIZALLAMIENTO EN MASA

Al igual que en nixtamal, la prueba empleando la celda Kramer del Texturómetro Universal Instrón, presentó la mayor confiabilidad, aún cuando no se encontraron estadísticamente buenos resultados empleando otros métodos, como la extrusión inversa.

El comportamiento de esta prueba de deformación se representa en la siguiente gráfica:



Gráfica 5 Resistencia a la Extrusión-Cizallamiento  
Masa de nixtamal

Los resultados de esta prueba corresponden a las siguientes condiciones

Capacidad de la celda del texturómetro 50 Kg

Amplitud máxima (magnitud de la carta) 50 Kg

Velocidad del cabezal de prueba para provocar la deformación 10 cm/min

Velocidad de la carta para registrar su perfil de resistencia 10 cm/min

El tipo de accesorio corresponde a la celda Kramer; la cantidad de la muestra, equivale a 20 gramos de masa; la temperatura de la muestra debe ser constante en todo el estudio e igual a 20 °C.

En este tipo de pruebas deberán considerarse las siguientes lecturas:

$F_1$  = Valor del pico máximo dentro del área 1 de esfuerzo de extrusión-cizallamiento expresado en unidades de fuerza.

$F_2$  = Valor del pico (negativo) dentro del área 2 correspondiente a la adhesividad y expresado en unidades de fuerza.

$A_1$  = El área bajo la curva del esfuerzo de extrusión-cizallamiento expresado en unidades de trabajo.

$A_2$  = El área bajo la curva del esfuerzo de la adhesividad también expresado en unidades de trabajo.

**Tabla IX Resultados estadísticos de las pruebas de Extrusión-Cizallamiento en Masa**  
Celda Kramer, 20 g a 20 °C

Parámetro	Unidades	Valor medio	Desviación estándar	Valor Mínimo	Valor Máximo
$F_1$	Kn	40.1	± 2.51	37.2	42.4
$F_2$	Kn	14.7	± 0.76	14.0	16.1
$A_1$	Kn mm	15.3	± 1.40	13.3	16.9
$A_2$	Kn mm	6.4	± 0.43	5.8	6.8

## RESULTADOS DE HARINA DE MAIZ NIXTAMALIZADO

Resultados de las determinaciones de densidad en harina de maíz nixtamalizado.

Tabla X Densidad sin compactar (g/ml)

Densidad SIN Compactar en Harina de Maíz Nixtamalizado	
Nº de muestras	38
Promedio	0.486
Máximo	0.558
Mínimo	0.454
Desviación estándar	± 0.012

Tabla XI Densidad Compactada (g/ml)

Densidad Compactada en Harina de Maíz Nixtamalizado	
Nº de muestras	38
Promedio	0.645
Máximo	0.747
Mínimo	0.524
Desviación estándar	± 0.021

**Tabla XII Consistencia (cm)**

<b>Determinación de Consistencia en Harina de Maíz Nixtamalizado</b>	
Nº de muestras	28
Promedio	11.16
Máximo	16.0
Mínimo	8.40
Desviación estándar	± 0.84

## **RESULTADOS DE TORTILLAS**

### **1. Características de la muestras de estudio:**

Tortillas de harina de nixtamal de tres diferentes marcas, cuyos lotes de aproximadamente 4 kg fueron elaborados el mismo día empleando una misma máquina tortilladora.

Lote 1. Lote etiquetado como Hamasa

Lote 2. Lote etiquetado como Minsa

Lote 3. Lote etiquetado como Maseca

### **2. Condiciones del almacenamiento:**

Los diferentes lotes de tortillas, se almacenaron en una cámara de atmósfera controlada. Con la

finalidad de simular condiciones extremas de humedad relativa (cercanas a los periodos de lluvia) se emplearon las siguientes condiciones de almacenamiento:

Temperatura de bulbo seco de	20 °C
Humedad relativa	90 - 95 %

### **Resultados de la determinación de humedad**

Los datos reportados corresponden al valor promedio de tres determinaciones por cada grupo de tortillas evaluadas. La cámara de almacenamiento permaneció constante a lo largo de la prueba a condiciones en las que se ajustó para realizar la prueba, temperatura de 20 °C y humedad relativa de 90 a 95 %. (Tabla XIII)

:

### **Resultados de la determinación de color:**

Las variaciones de color entre las muestras observadas para los tres días de almacenamiento no resultaron significativas. Por lo tanto, no resulta conveniente expresar el conjunto de las lecturas obtenidas como grupos dependientes del tiempo de almacenamiento. Podría afirmarse que el color de las tortillas de los lotes observados no presentaron variaciones significativas con respecto al tiempo de almacenamiento.

Se presentan por lo tanto los valores promedio de las determinaciones realizadas, tanto en la (Tabla XIV) como en la gráfica, como el valor que corresponde al color de cada lote evaluado.

En el caso particular de la reflectancia relativa debe entenderse que los filtros de referencia

empleados determinan los límites de reflectancia deseada, para el caso particular del presente estudio, estos valores límites corresponden a:

**Negro** Para el filtro en el cual la luz que incide sobre la superficie del disco de referencia es totalmente absorbida, por lo tanto el porciento de luz que refleja es del 0%.

**Blanco** Para el filtro de referencia que refleja el 90 % de la luz.

### **RESULTADOS DE TEXTURÓGENOS PRIMARIOS**

Los resultados de estos se encuentran en la tabla XV para el primer día, tabla XVI para el segundo día y tabla XVII para el tercer día.

#### **Efecto del almacenamiento**

Los resultados para la prueba de Elasticidad se presentan en la tabla XVIII para la prueba de Tensión y trabajo de tensión se observan en la tabla XIX y XX y finalmente para la prueba de Esfuerzo de tensión los resultados se observan en la tabla XXI

**Tabla XIII**

**Determinación de Humedad**  
 Método: Pérdida de peso en estufa  
 Equipo: Estufa Labconco  
 Cond.: 90 ° C, 10 hrs hasta peso constante

DIA 1	Muestra	Tara	Tara + Muestra	Tortilla Muestra	Tara + M. seca	Tortilla Seca	% Humedad	Humedad Promedio
Hamasa	A1	0.89	2.5	1.61	1.9	1.01	59.60	59.07
	A2	0.9	2.55	1.65	1.95	1.05	58.82	
	A3	0.9	2.5	1.6	1.93	1.03	58.80	
Maseca	B1	0.9	3.1	2.2	2.16	1.25	59.68	59.62
	B2	0.9	3.43	2.53	2.31	1.41	58.69	
	B3	0.9	3.4	2.5	2.25	1.35	60.29	
Miconsa	C1	0.9	2.55	1.65	1.9	1	60.78	59.93
	C2	0.9	3.05	2.15	2.21	1.31	57.05	
	C3	0.92	2.55	1.63	1.89	0.97	61.96	

DIA 2	Muestra	Tara	Tara + Muestra	Tortilla Muestra	Tara + M. seca	Tortilla Seca	% Humedad	Humedad Promedio
Hamasa	A1	0.89	3.7	2.81	2.58	1.69	54.32	54.05
	A2	0.9	4.11	3.21	2.81	1.91	53.53	
	A3	0.9	3.5	2.6	2.5	1.6	54.29	
Maseca	B1	0.9	4.13	3.23	2.9	2	51.57	53.38
	B2	0.9	3.1	2.2	2.27	1.37	55.81	
	B3	0.9	4.51	3.61	3.03	2.13	52.77	
Miconsa	C1	0.9	3.29	2.39	2.28	1.38	58.05	55.88
	C2	0.9	3.1	2.2	2.31	1.41	54.52	
	C3	0.92	3.94	3.02	2.69	1.77	55.08	

DIA 3	Muestra	Tara	Tara + Muestra	Tortilla Muestra	Tara + M. seca	Tortilla Seca	% Humedad	Humedad Promedio
Hamasa	A1	0.89	3.9	3.01	2.69	1.8	53.85	53.64
	A2	0.92	4.1	3.18	2.78	1.86	54.63	
	A3	0.9	4.9	4	3.23	2.33	52.45	
Maseca	B1	0.9	4.1	3.2	2.8	1.9	53.66	54.45
	B2	0.92	4.8	3.88	3.1	2.18	54.58	
	B3	0.9	4.9	4	3.1	2.2	55.10	
Miconsa	C1	0.92	5.51	4.59	3.46	2.54	53.90	53.83
	C2	0.91	5.2	4.29	3.31	2.4	53.85	
	C3	0.92	5.21	4.29	3.33	2.41	53.74	

**Humedad de Tortillas.**  
 Almacenadas en cámaras de atmósfera controlada.  
 Condiciones.: 20°C y Humedad relativa del 90 %



Tabla XIV

**Determinación de Color**

Método: Espectrofotometría de Reflectancia Relativa

Equipo: Agtron

Dsp.: 2,000 a

Longitud de onda: Azul, Rojo y verde

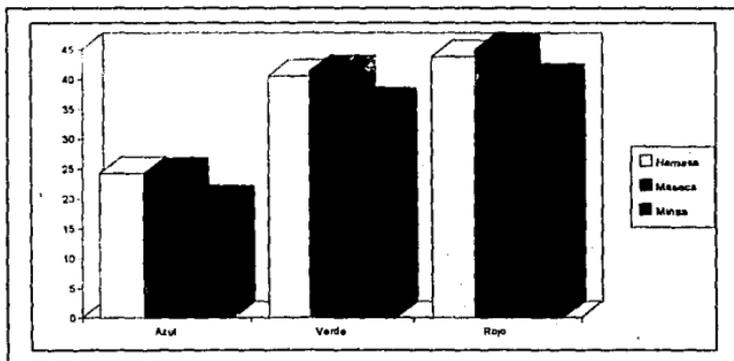
Límites de Reflectancia: 00 - 90

Muestras: Tortillas

Hatasa	A1	A2	A3	A4	A5	Promedio	Desv. Std
$\lambda$ Azul	24	28	23.5	22.5	23	24.2	1.965
$\lambda$ Verde	42	43	39	38.5	40	40.5	1.732
$\lambda$ Rojo	46	44.5	41.5	42	45	43.8	1.749

Maseca	B1	B2	B3	B4	B5	Promedio	Desv. Std
$\lambda$ Azul	24	23.5	25.5	23.5	24	24.1	0.735
$\lambda$ Verde	41	40.5	42.5	41	41	41.2	0.678
$\lambda$ Rojo	46	45	42.5	45.5	45	44.8	1.208

Minsa	C1	C2	C3	C4	C5	Promedio	Desv. Std
$\lambda$ Azul	19	19	19	20	20	19.4	0.490
$\lambda$ Verde	35	36	36	36	36	35.8	0.400
$\lambda$ Rojo	38	40.5	38.5	42	40	39.8	1.435

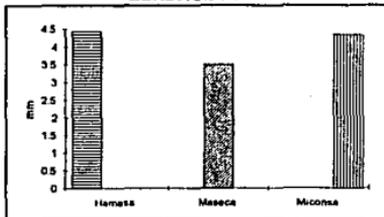


**Tabla XV**

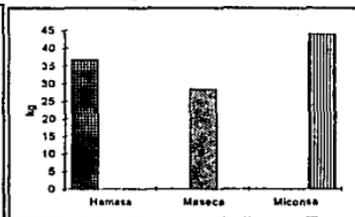
Determinación de Texturógenos primarios en Tortillas  
 Método: Deformación por esfuerzo de tensión  
 Equipo: Texturómetro Universal Instron  
 Cond.: 20 ° C, proporción 1:1 mm

DÍA I	MUESTRA	ELASTICIDAD mm	TENSIÓN kg	TRABAJO kg mm	ESFUERZO kg/mm
Hamasa	A1	4.5	30.0	135.00	6.67
	A2	4.4	45.0	198.00	10.23
	A3	4.0	27.0	108.00	6.75
	A4	4.5	37.0	166.50	8.22
	A5	4.7	44.0	206.80	9.36
		4.5	37.5	168.75	8.33
	Promedio	4.43	36.75	163.84	8.26
Desv. Std.	0.23	7.24	37.40	1.41	
Maseca	B1	3.5	25.5	89.25	7.29
	B2	3.0	26.0	78.00	8.67
	B3	4.0	32.0	128.00	8.00
	B4	3.5	27.0	94.50	7.71
	B5	3.5	31.5	110.25	9.00
	Promedio	3.50	28.40	100.00	8.13
	Desv. Std.	0.35	3.11	19.49	0.70
Miconsa	C1	4.6	49.5	227.70	10.96
	C2	4.9	46.0	225.40	9.39
	C3	4.0	45.0	180.00	11.25
	C4	4.2	50.5	212.10	12.02
	C5	4.0	29.0	116.0	7.25
	Promedio	4.34	44.00	192.240	10.13
	Desv. Std.	0.40	8.70	46.67	1.88

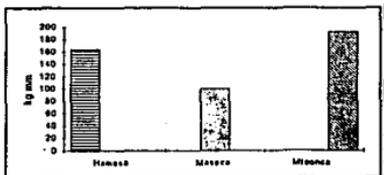
**ELASTICIDAD**



**TENSION**



**TRABAJO**



**ESFUERZO**

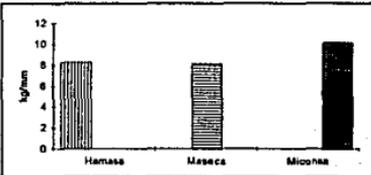


Tabla XVI

Determinación de Texturogenos primarios en Tortillas  
 Métodos: Deformación por esfuerzo de tensión  
 Equio. 20 grados C, proporción 1:1 mm

DIA 2	MUESTRA	ELASTICIDAD mm	TENSION - kg	TRABAJO kg mm	ESFUERZO kg/mm
Hamasa	A1	14.0	22.5	315.00	1.61
	A2	11.5	22.5	258.75	1.96
	A3	14.0	21.0	294.00	1.50
	A4	10.5	17.0	178.50	1.62
	A5	13.8	25.0	345.00	1.81
	Promedio	12.76	21.60	278.25	1.70
	Desv. Std.	1.65	2.95	64.00	0.18
Maseca	B1	7.0	12.0	84.00	1.71
	B2	7.0	15.0	105.00	2.14
	B3	9.5	17.5	166.25	1.84
	B4	8.5	15.5	131.75	1.82
	B5	10.0	16.0	160.00	1.60
	Promedio	8.40	15.20	129.40	1.82
	Desv. Std.	1.39	2.02	35.20	0.20
Miconsa	C1	10.5	23.5	246.75	2.24
	C2	8.9	27.0	240.30	3.03
	C3	9.0	20.5	184.50	2.28
	C4	10.0	25.5	255.00	2.55
	C5	8.0	22.0	176.00	2.75
	C6	9.0	27.5	247.50	3.06
	Promedio	9.23	24.33	225.01	2.65
	Desv. Std.	0.89	2.80	35.08	0.36

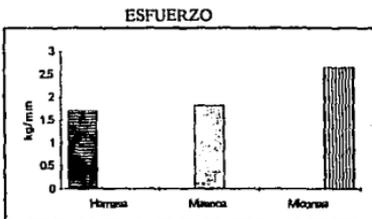
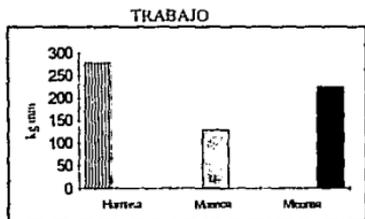
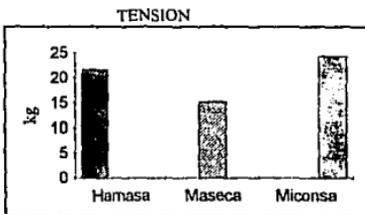
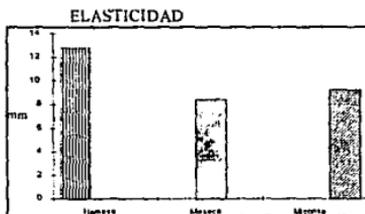
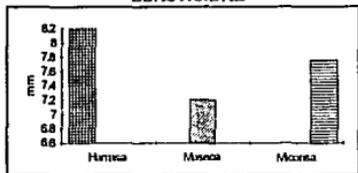


Tabla XVII

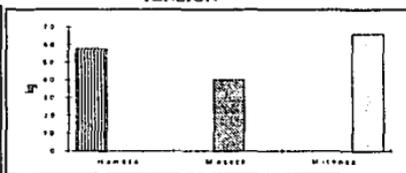
Determinación de Texturógenos primarios en Tortillas  
 Método: Deformación por esfuerzo de tensión  
 Equipo: Texturómetro Universal Instrón  
 Cond.: 20 ° C, proporción 1:1 mm

DIA 3	MUESTRA	ELASTICIDAD mm	TENSION kg	TRABAJO kg mm	ESFUERZO kg/mm
Hamasa	A1	7.5	66.0	495.00	8.80
	A2	8.0	45.0	360.00	5.63
	A3	9.0	62.0	558.00	6.89
	A4	8.0	43.0	344.00	5.38
	A5	8.5	72.0	612.00	8.47
	Promedio	8.20	57.60	473.80	7.03
Desv. Std.	0.57	12.93	118.78	1.58	
Maseca	B1	7.0	49.0	343.00	7.00
	B2	7.0	33.0	231.00	4.71
	B3	8.0	34.0	272.00	4.25
	B4	7.0	44.0	308.00	6.29
	B5	7.0	42.0	294.00	6.00
	Promedio	7.20	40.40	289.60	5.65
Desv. Std.	10.45	6.80	41.69	1.14	
Miconsa	C1	7.3	62.0	452.60	8.49
	C2	9.0	52.0	468.00	5.75
	C3	8.0	84.0	672.00	10.50
	C4	7.5	72.0	540.00	9.60
	C5	7.0	60.0	420.00	8.57
	Promedio	7.76	66.00	510.52	8.59
Desv. Std.	0.78	12.33	100.38	1.77	

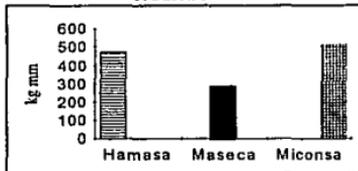
ELASTICIDAD



TENSION



TRABAJO



ESFUERZO

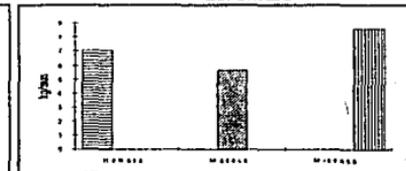


Tabla XVIII

**EFFECTO DEL ALMACENAMIENTO SOBRE LA ELASTICIDAD DE TORTILLAS**

Días	Elasticidad (mm)		
	Miconsa	Maseca	Hamasa
1	9.23	8.4	12.76
2	7.76	7.2	8.2
3	4.34	3.5	4.43

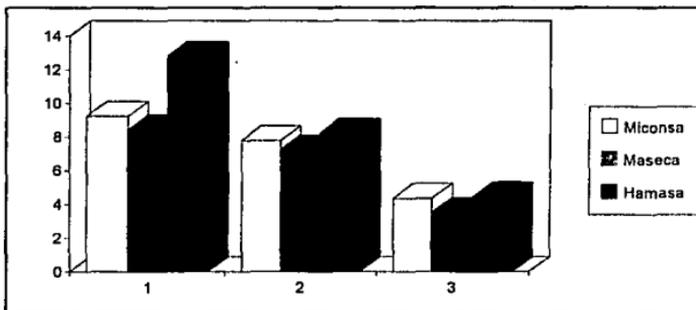


Tabla XIX

**EFFECTO DEL ALMACENAMIENTO SOBRE LA TENSION EN TORTILLAS.**

Días	Tensión (kg)		
	Miconsa	Maseca	Hamasa
1	24.33	15.2	21.6
2	66	40.4	57.6
3	44	28.4	36.75

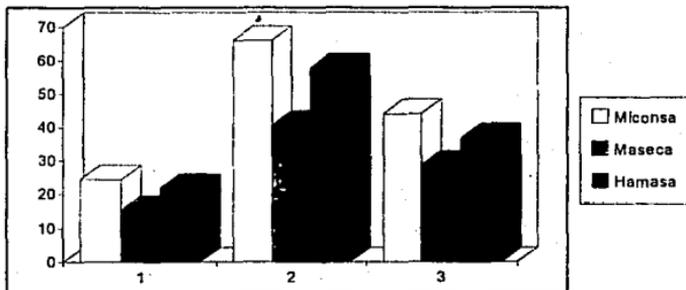


Tabla XX

**EFFECTO DEL ALMACENAMIENTO SOBRE EL TRABAJO DE TENSIÓN EN TORTILLAS.**

Días	Trabajo de Tensión (kg mm)		
	Miconsa	Maseca	Hamasa
1	225.01	129.4	278.25
2	510.52	289.6	473.8
3	192.24	100	163.84

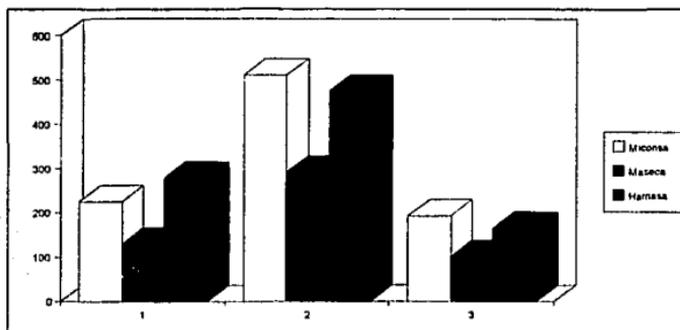
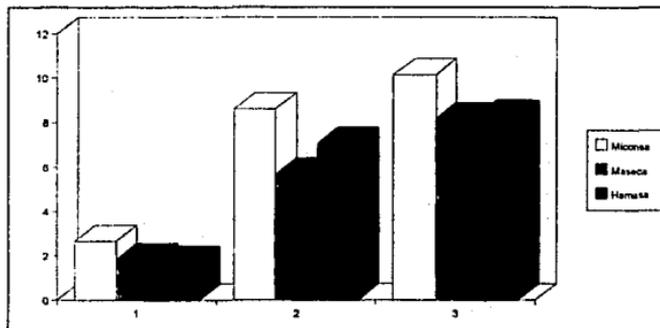


Tabla XXI

**EFFECTO DEL ALMACENAMIENTO SOBRE EL ESFUERZO DE TENSIÓN EN TORTILLA**

Días	Trabajo de Tensión (kg mm)		
	Miconsa	Maseca	Hamasa
1	2.65	1.82	1.7
2	8.59	5.65	7.03
3	10.13	8.13	8.26



## 4.2. DISCUSION

### Nixtamal

#### Gelatinización del grano de maíz durante la nixtamalización

Uno de los propósitos del cocimiento es la incorporación de agua al grano.

Cuando las suspensiones de almidón se calientan a temperatura de más de 50-55 °C , los puentes de hidrógeno intermoleculares de las zonas amorfas se rompen y continúa la absorción de una mayor cantidad de agua, en un fenómeno conocido como gelatinización.

En estas condiciones se puede apreciar visualmente un aumento considerable de tamaño del gránulo.

En la siguiente (figura 4) se puede observar el grado de gelatinización que ha sufrido el grano durante el proceso de nixtamalización en un tiempo de 10 a 300 min.

Durante dicho proceso ocurren cambios químicos y físicos . Los cambios físicos ocurren durante el molido ya que el endospermo está hinchado y consume menos energía en la molienda resultando una masa menos gruesa. Dentro de los cambios químicos ocurre la gelatinización parcial del endospermo y la desnaturalización de las proteínas del germen y del endospermo.

Este fenómeno se observó durante el cocimiento del grano, en la primera mitad del cocedor, los incrementos en el contenido de humedad no son considerablemente altos, la incorporación de humedad asciende a 5 u 8 % del contenido inicial del grano, sin embargo en la segunda mitad del cocedor el incremento llega a duplicarse en relación al valor logrado en la primera mitad, la estructura del grano se torna más suave, alcanzando a la salida del cocedor el nivel de humedad entre 35 y 40% . El valor del contenido de humedad esperado, de acuerdo a las especificaciones de diseño es de 38%.

### **Determinación en masa**

En la tabla VIII puede observarse que el porcentaje de humedad y de las otras determinaciones no difieren de las encontradas en el nixtamal, a pesar de que durante la molienda es necesario adicionarle agua al nixtamal para poder obtener la masa, para que adquiera una consistencia suave y homogénea, que permita manipularla sin que ésta manifieste altas pérdidas de humedad (se agriete). Con lo que respecta a los demás componentes químicos expresados en base seca, no existen cambios significativos que pudieran necesitar una explicación más amplia.

### **Pruebas de extrusión-cizallamiento en masa**

Los resultados observados en la tabla IX son bastante confiables, ya que el promedio de las determinaciones obtenidas en las curvas resulta un porcentaje de error inferior a 6.8 %. La muestra en este caso cuya característica deberá ser la uniformidad, deberá pesarse y moldearse a fin de distribuir la masa equitativamente en la celda para así disminuir defectos en la determinación.

Una de las variables importantes de la composición química a correlacionar con esta prueba es la humedad. En esta se observa que para muestras del mismo lote, que fueron deshidratándose durante la determinación, las pérdidas de humedad son un factor importante a considerar, el comportamiento en la gráfica en todos los casos resulta similar.

En la medida en que la masa pierde humedad, los valores de  $F_1$  y  $A_1$  aumentan proporcionalmente, mientras que  $F_2$  y  $A_2$  disminuyen.

### **Harina de maíz nixtamalizado**

#### **Densidad sin Compactar:**

Como se observa en la tabla X, se obtuvo un valor promedio de 0.486 g/ml, esta determinación proporciona información valiosa sobre el comportamiento de la harina prácticamente bajo la forma en que se obtiene directamente del proceso sin que el producto envasado sea sometido a esfuerzos o vibraciones que durante el manejo del producto podrían representar cambios en su densidad. El

valor obtenido pone de manifiesto la necesidad de emplear un volumen de 2057 ml para envasar un kilogramo de harina.

Los valores máximos y mínimos encontrados para esta determinación fueron de 0.558 y de 0.454 respectivamente, obteniéndose una desviación estándar de 0.012 lo que significa una desviación del 2.47 % en relación al valor promedio, este último valor nos indica que la densidad sin compactar de la harina de nixtamal para las muestras evaluadas presenta variaciones relativamente bajas entre las muestras evaluadas y que puede emplearse con cierta confianza como medida para definir las características del producto a manipular.

#### **Densidad compactada**

De acuerdo a la tabla XI, se obtuvo un valor promedio de 0.645 g/ml, esta determinación proporciona información valiosa sobre el comportamiento de la harina sometida a esfuerzos o vibraciones que durante el manipuleo del producto podrían representar ajustes para el diseño del empaque o el prever posibles rechazos por parte del consumidor. La presentación o envase de un kilogramo de harina requerirá de un volumen de 1,550 mililitros aproximadamente como producto compactado.

Los valores máximos y mínimos encontrados para esta determinación fueron de 0.747 y de 0.524 respectivamente, obteniéndose una desviación estándar de 0.021 lo que significa una desviación del 3.25 % en relación al valor promedio, este último valor nos indica que la densidad compactada de la harina de nixtamal para las muestras evaluadas no se dispersa o que su variación es relativamente baja entre las muestras evaluadas y que puede emplearse con cierta confianza como medida para definir las características del producto.

La diferencia entre las dos determinaciones representa el ajuste que en planta se debe efectuar para definir el volumen final que tendrá el envase, ya que el producto recién elaborado presenta una densidad aparente (sin compactar) de 0.486, en tanto que después de que el producto se somete a una

serie de esfuerzos o vibraciones este cambia por efecto de la compactación de la harina hacia un valor de 0.645, esta circunstancia da como resultado, el obtener espacios vacios en el envase cuyo peso es el mismo, podría significar incluso el rechazo de los consumidores pues los espacios vacios en los envases se interpretan como empaques con menor cantidad de producto.

Tipo	Densidad gr/ml	Volumen en (ml) que ocupa cada Kg
Sin Compactar	0.486	2,057
Compactada	0.645	1,550
Diferencia		507

La diferencia entre ambas determinaciones equivale a un volumen de 507 mililitros por cada kilogramo de peso que se envase, razón por la cual durante el envasado de la harina se requiere de dispositivos que promuevan la compactación y la determinación que se emplea preferentemente en la empresa es el valor de la densidad compactada.

#### Determinación de Consistencia.

Esta medida dentro del grupo de determinaciones sobre la textura relativa de la harina resulta ser una de las pruebas mas confiables, las medidas a emplear en la determinación son constantes y los valores de las determinaciones dan una alta reproducibilidad, de acuerdo a la (Tabla XII) se obtiene un valor promedio de 11.16 cm para el valor de la consistencia, medido como el diámetro que se obtiene por la dispersión de la suspensión de harina en un plano horizontal, en las plantas en donde se realiza esta prueba se tiene establecido como norma que el valor de consistencia de la harina se encuentre dentro de los valores de 12 a 14 cm de diametro de dispersión.

### Tortillas

#### Determinación de humedad

De acuerdo a los resultados presentados en la (Tabla XIII) se tiene que:

### **Primer día**

Las muestras de tortillas al acercarse a un estado de equilibrio con las condiciones de almacenamiento, de alta humedad relativa, presentaron un contenido alto de humedad, fluctuando su contenido para los tres lotes presentados entre 59.07 al 59.93%.

Las diferencias entre los grupos no resultan significativas al cumplirse las primeras 24 horas, de hecho la diferencia entre los valores encontrados es menor a la desviación estándar de las muestras evaluadas.

### **Segundo día**

En el segundo día de almacenamiento se observó una ligera disminución en promedio del 5%. La mayor pérdida relativa de humedad (6.24 % entre el primer y segundo día ) correspondió a las muestras de Mascaca, en tanto las muestras que manifestaron relativamente una menor pérdida de humedad (4.05 % entre el primer y segundo día) correspondió a las muestras de Miconsa.

En el segundo día también se observa el hecho de que no existan diferencias significativas entre los grupos, ya que la diferencia observada entre ellos resulta inferior a los valores de desviación estándar que existe entre cada lote.

### **Tercer día**

Prácticamente podría manifestarse que transcurridos los tres días de almacenamiento los lotes se encuentran en equilibrio con la humedad relativa a la que se encuentran almacenados, su contenido de humedad es alto prácticamente muy similar entre los tres lotes, no se encuentran diferencias significativas entre los grupos observados.

Las variaciones entre el segundo y tercer día son prácticamente poco significativas para el caso de las muestras de tortillas etiquetadas como Hamasa (0.41 % de diferencia entre los promedios observados en el segundo y tercer día) en orden de magnitud le siguen las muestras correspondientes a Mascaca (1.07 % entre el segundo y tercer día), en tanto que para el caso de las muestras de Miconsa la variación correspondió al 2.05 %.

En todos los casos se debe observar que el valor de las diferencias encontradas resulta inferior a la existente entre el lote del mismo grupo observado en el segundo día, razón por la cual las diferencias entre grupos e incluso entre el mismo grupo no resultan significativas.

### **Prueba de color**

Las tortillas más blancas o más claras presentarán valores altos de reflectancia, así mismo de obtenerse valores bajos esto significa que la luz es absorbida por efecto de mostrar un color más oscuro.

El espectro de luz puede observarse a través de sus valores relativos a un patrón de colores, como en el caso denominado BGR (de las siglas de colores en inglés), en este sentido las muestras se deben observar a lo largo del espectro tomando en cuenta al menos los tres colores básicos (azul, verde y rojo) (Tabla XIV).

#### **Azul**

Las muestras de tortillas de Hamasa y Maseca resultarán bastante parecidas, mostrando valores más altos que las tortillas correspondientes a Minsa, esta última se presentó ligeramente más oscura.

#### **Verde**

Igual observación a la manifestada para las observaciones encontradas en las determinaciones con la longitud de onda del color azul. Las tortillas del lote de Hamasa y Maseca resultan parecidas y ligeramente más blancas que las tortillas de Minsa.

#### **Rojo**

Los resultados que se observan son parecidos a los dos casos anteriores, los valores de la longitud de onda del rojo en estas tortillas resultan ser más altos dentro de los tres colores básicos observados, confirmando la predominancia de las muestras hacia un color amarillento.

## **Texturógenos primarios en tortilla**

### **Primer día (Tabla XV)**

La elasticidad de las tortillas de Hamasa en el primer día se presentó superior a las muestras de Maseca y de Minsa, en cuanto a la tensión registrada la muestra de Maseca manifestó los valores más bajos los cuales asociados a la baja elasticidad se interpretan como tendencias de mayor fragilidad o de estructura quebradiza, relación que se refleja en los cálculos obtenidos de trabajo de tensión cuyo valor resultó ser de los más bajos.

En cuanto al esfuerzo, valor que puede asociarse a la suavidad e integridad del material (en algunos productos se interpreta como un valor relativo a la frescura), las muestras de Hamasa se muestran más favorables que las tortillas de los lotes de Maseca y Minsa.

En el primer día, las muestras de Hamasa mostraron valores más favorables que los lotes de Maseca y Minsa, presentando tortillas de mayor elasticidad o flexibilidad, poco quebradizas y mucho menos resistentes a la deformación por tensión.

### **Segundo día (Tabla XVI)**

El comportamiento observado en el primer día sigue vigente. Se obtienen datos favorables de textura hacia el lote de tortillas de Hamasa, en tanto que las diferencias entre Maseca y Minsa aparentemente se acentúan, sin embargo, no se encuentran diferencias significativas entre los promedios de las observaciones realizadas.

En todos los casos al comparar las determinaciones del primer día con el segundo se observa que transcurridas 24 h se presentan los siguientes fenómenos: se pierde elasticidad, el trabajo de tensión es mayor, el trabajo que demanda la deformación de las tortillas aumenta, así como el esfuerzo para realizar la prueba.

### **Tercer día (Tabla XVII)**

La elasticidad disminuye por debajo de 50 % de valor encontrado en el primer día de almacenadas, de hecho las diferencias existentes al inicio entre los grupos presentes han disminuido. Las tendencias encontradas en los dos días anteriores se suavizan, exceptuando de estas al caso del trabajo de tensión en donde las diferencias entre las tortillas de Maseca y de Minsa en valores promedio representan el doble de trabajo para Minsa.

### **Efecto del almacenamiento de las tortillas**

#### **Elasticidad (Tabla XVIII)**

En la medida en que transcurren los días del almacenamiento la elasticidad de las tortillas cae notoriamente, la prueba presenta una alta confiabilidad, resulta por sus principios en una prueba de fácil interpretación y refleja con una aceptable tendencia el efecto de la pérdida de elasticidad durante el período de prueba. Se encontró que las tortillas de Hamasa resultaron de mucho mayor elasticidad que las de Maseca y Minsa cuyos valores resultan inferiores.

#### **Tensión y trabajo de tensión (Tabla XIX y XX)**

Pasada 48 horas de almacenamiento el material presenta una estructura quebradiza, lo que provoca en su rompimiento que las fuerzas de tensión, así como, el trabajo que se requiere para provocar una deformación disminuya, durante estas pruebas las tortillas de Maseca resultan ligeramente más quebradizas que los lotes de tortillas de Minsa o de Hamasa.

#### **Esfuerzo de tensión (Tabla XXI)**

En la medida en que transcurre el almacenamiento el esfuerzo de tensión se incrementa, esta relación no muestra grandes diferencias entre los lotes, a excepción de que el lote de tortillas de Minsa en el tercer día de almacenamiento mostró un marcado ascenso equivalente a una mayor dureza de sus estructuras.

## **CAPITULO V**

## Conclusiones

Se ensayaron los métodos de corte, compresión, penetración y extrusión-cizallamiento para la determinación de texturógenos primarios en nixtamal y se concluye que la prueba de cizallamiento-extrusión es una prueba de alta confiabilidad y reproducibilidad, por lo tanto se considera un método factible a utilizar como parámetro para la determinación de la calidad tortillera.

De igual manera el método de extrusión-cizallamiento resultó ser de alta confiabilidad y reproducibilidad para la determinación de texturógenos primarios en masa.

En cuanto a las tortillas la determinación de texturógenos primarios comprendió las pruebas de elasticidad, tensión, trabajo de tensión y esfuerzo de tensión, siendo su respuesta dependiente del contenido de humedad. Los lotes de tortillas mostrarán los mismos fenómenos o comportamiento (pérdida de humedad) cuando son sometidas a almacenamiento a condiciones constantes de alta humedad, exceptuando en algunas ocasiones en donde se observan, pocas diferencias significativas entre sí.

La humedad de las tortillas durante los primeros tres días tiende hacia un equilibrio o hacia un contenido de humedad en equilibrio con las condiciones del medio ambiente a las cuales se les mantuvo almacenadas.

En cuanto a las determinaciones de color por medio del espectrofotómetro de reflectancia, se observó que entre los lotes analizados existen pocas diferencias significativas entre los lotes de Hamasa y Maseca en tanto que el lote de Minsa resultó ser un producto ligeramente menos claro que las dos primeras

La elasticidad medida en mm de deformación de la tortilla previa a la ruptura de su estructura representa en cierta medida un grado de frescura, las tortillas frescas presentan elasticidad (de 8.4 - 12.7) mayor que las tortillas almacenadas después de 24 h y aún más las almacenadas a 72 h (3.5 a 4.4).

En cuanto a la tensión los lotes de tortillas fresca presentan poca resistencia a la tensión transcurridas las primeras 24 h , la resistencia a la tensión se incrementa cuando se observa un alto endurecimiento de su estructura, sin embargo al prolongar el almacenamiento éstas estructuras pierden su resistencia debido a la fragilidad y pérdida de humedad dando en consecuencia un producto quebradizo de baja resistencia a la tensión.

El fenómeno que presenta la tensión muestra en tortillas frescas valores bajos debido a su poca resistencia dada su alta elasticidad esta tensión se incrementa con el tiempo, por la pérdida de elasticidad , sin embargo al prolongar el almacenamiento la estructura se torna frágil o quebradiza, haciendo nuevamente que el esfuerzo de tensión disminuya este comportamiento también es observado al calcular el trabajo de tensión.

El esfuerzo de tensión medido como la pendiente entre tensión y elasticidad representa el fenómeno de endurecimiento con mayor claridad que en los casos anteriores, en la medida en que transcurre el tiempo, el esfuerzo de tensión se incrementa.

Con respecto a la determinación de texturógenos primarios, debido a que éstos se evalúan o determinan a través de la resistencia que el material ofrece a la deformación se recomienda realizar estudios de evaluación sensorial (empleando los sentidos en los métodos de pruebas primarias ) para que a través de jueces entrenados se determinen sus características y se valore y precise la descripción de las pruebas de deformación en los términos que los consumidores o jueces definan.

Aún cuando los lotes en las pruebas de texturógenos mostraron comportamientos muy parecidos, en varias de las pruebas resultó que las tortillas del lote de Hamasa, presento valores más favorables que los lotes de Minsa y de Maseca.

Resulta conveniente el realizar simultáneamente las pruebas en la harina empleada en la elaboración de tortillas, como las de estas mismas a fin de que se proporcione una mayor información y se permita establecer las adecuadas relaciones entre los grupos de muestras a evaluar.

De acuerdo a la composición bromatológica se, pudo observar que no hubo cambios significativos desde materia prima (maíz entero) hasta producto terminado (tortilla). Las pequeñas discrepancias que se presentaron fuerón debidas al proceso de nixtamalización. Por lo tanto se concluye que no existe ninguna relación entre la composición bromatológica y la reología del producto

## BIBLIOGRAFIA

1. Alcántara L., L.; Reyes H., S. Estudio del comportamiento de la textura del grano de maíz durante su procesamiento para la obtención de nixtamal. Tesis, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, I.P.N., (1981).
2. American Association of Cereal Chemists Approved Methods. Eighth edition. A.A.C.C., Vol I, II, (1983).
3. Association of Official Analytical Chemistry "Official Methods of Analysis" A.O.A.C. Washington D.C., (1980).
4. Anderson, R. A. Corn wet milling industry. Corn: Culture, Processing, Products. The AVI Publishing Co., Inc., Westport, Connecticut pág. 151-170, (1979).
5. Bazúa, C. D., Guerra, R. y Sterner, H. Extruded corn flour as an alternative to lime-treated corn for tortilla preparation. J. Food. Sci 44:940-941, (1979).
6. Bedolla, S., Palacios, M. G., Rooney, L. W., Diehl, K. C. y Khan, M. N. Cooking characteristics of sorghum and corn for tortilla preparation by several cooking methods. Cereal Chem. 60(4):263-268, (1983).
7. Bedolla S., Rooney, L.W. Cooking maize for masa Production Cereal Foods World 27 (5):219-221, (1982).
8. Bennett, E. H. Kernel Hardness in Corn. I. A machine for the rapid determination of kernel hardness. Cereal Chem. 27: 222-231, (1950a).
9. Bennett, E. H. Kernel hardness in corn. II A microscopic examination of hard and soft types of dent corn. Cereal Chem. 27:232-238, (1950b).
10. Bressani, R, Paz y Paz R. Chemical changes in corn during preparation of tortilla J. Agric. Food Chem. 6:770-774, (1958).

11. Bressani, R., Benavides, V., Acevedo, E. y Ortiz M. A. Changes in selected nutrient contents and in protein quality of common and quality-protein maize during rural tortilla preparation. Cereal Chem. 67(6):515-518, (1990).
12. Bressani R., Braham, J. E. y Rubio, M. Further studies on the enrichment of lime-treated corn with whole soybeans. J. Food Sci. 44:1707-1710, (1979).
13. Cravioto, R. O., Richmond K. Anderson., Lockhart E. E. Miranda. F., y Harris R. S. Nutritive value of the Mexican tortilla. Food Sci. 102:91-93, (1945).
14. Dalby, Tsai, C. Y. Lysine and tryptophan increases during y germination of cereal grains. Cereal Chem., 53(2):222-226, (1976).
15. Del Valle, F. R., Montemayor E. y Bourges H. Industrial production of soy-enriched tortillas flour by lime cooking of whole raw corn-soybean mixtures. J. Food Sci. 41:349-351, (1976).
16. Del Valle F. R., Perez-V. J. Enrichment of tortillas with soy proteins by lime cooking of whole raw corn-soybean mixtures, J. Food Sci. 39:244-246, (1974).
17. Deman, J. M. and Kamel, B. S. A simple texture test system. J. of Texture Studies (13):241-247 (1982).
18. Earle, F. R., Curtis, J. J. and Hubard, J. E. Composition of the component parts of the corn kernel. Cereal Chem. 23:504-511, (1976).
19. Franz, K. Tortillas fortified with soybeans prepared by diferents methods. J. Food Sci. 40(5):1275-1277, (1975).
20. Gómez M. H., McDonough C. M., Rooney L. W. y Waniska R. D. Changes in corn and sorghum during nixtamalization and tortilla baking, J. Food Sci. 54(2): 330-336, (1989).
21. Haney, R. L. Shelf life of corn tortilla extended by preservatives. Texas A. and M. Univ. System Collage Station, Dairy Food and Enviromental Sanitation (USA), 9(10):552-553, (1989).

22. Havighorst, C. R. Mechanizes age old process. Food Engineering 43(6):60, (1971).
23. Herrera, M., Zyman J., García, P. J., Segura, J. and Vernon, J. Kinetic Studies on the alkaline treatment of corn (*Zea mays*) for tortilla preparation. J. Food Sci. 51:186-190, (1986).
24. Katz, S. H., Hediger, M. L. and Valleroy, L. A. Traditional maize processing techniques in the New World. Food Sci. 18(4):765-773, (1974).
25. Khan, M. N., Desrosier, M. C., Rooney, L. W., Morgan, R. G. Corn tortillas, evaluation of corn cooking procedures. Cereal Chem. 59:279-284, (1982).
26. Kramer, A. FOOD TEXTURE DEFINITION, MEASUREMENT AND RELATION TO OTHER FOOD QUALITY ATTRIBUTES. Texture measurement of foods. D. Reidel Publishing Co., Boston, Mass, U.S.A. pág 1-8, (1973).
27. Maíz Industrializado Conasupo S.A de C.V., Investigación sobre la harina de maíz nixtamalizado IPN-MICONSA, Tomo I y II, (1993).
28. Manual de alimentos de la "Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional" pág 1-9, (1992).
29. Martínez-H., M. L. and Lechance, P. A. Corn (*Zea mays*) kernel hardness as an index of the alkaline cooking time for tortilla preparation. J. Food Sci. 44(2):377-380, (1979).
30. Matz, S. A. FOOD TEXTURE The AVI Publishing Co. Inc., Westport, Connecticut, pág. 286, (1962).
31. Mohsenin, N. N. Application of Engineering techniques to evaluation of texture of solid food materials J. Texture Studies. 1:133-154, (1970).
32. Molina, M. R., Letona, M. and Bressani, R. Drum drying for the improved production of instant tortilla flour. Food Sci. 42:1432-1434, (1977).

33. Morad M. M., Iskander F. Y., Rooney L. W. y Earp C. F. Physico-Chemical properties of alkali-cooked corn using tradicional and presoaking procedures. Cereal Chem. 63(3):255-259, (1986).
34. Padua, G. W., Whitney, R., Application of the Instron Tester for investigation of rheology of corn dough. Cereal Chem. 59(5):361-366, (1982).
35. Paredes-L. O., Saharópulos M. E. Scanning electronmicroscopy studies of limed corn kernels for tortilla making. J. Food Technol. 17:687-693, (1982).
36. Pflugfelder, L. R., Rooney, L. W., Waniska, R. D. Fractionation and composition of comercial corn masa. Cereal Chem. 65(3):262-266, (1988).
37. Saldaña, G. and Brown E. Harold. Nutritional composition of corn flour tortilla. J. Food Sci. 49:1202-1203, (1984).
38. Sanderson J., Wall J. S., Donaldson G. L, Cavins J. F. Effect of alkaline processing of corn on its amino acids. Cereal Chem. 55(2):204-213, (1978).
39. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Subsecretaria de Agricultura. Dirección General de Política Agrícola. Sistema Producto Maíz. Datos Básicos Agosto de (1993).
40. Senti, F. R. y Shaefer, W. C. Corn, its importance in food, feed and industrial uses. Cereal Sci. Today. 17:352-356, (1972).
41. Timbers G. E., Voisey P. W. and Klock M. Influence of number and thickness of blades on the performance of the Kramer type shear-compression cell. J. of Texture Studies (16):303-311 (1985).
42. Vázquez-M., B. and D'Appolonia, B. Alkaline treatment of corn I. Effect on enzyme-susceptible and starch pasting characteristics of masa. Cereal Foods World 24:444-445, (1979).

## APENDICE 1

### Análisis Bromatológico

#### Determinación de humedad:

##### Método:

##### Ternobalanza:

La ternobalanza es un sistema de suministro de energía asociado con una fuente eléctrica de calor y que da un registro continuo de la masa de la muestra mientras se calienta. La temperatura y el tiempo de desecación se regulan de acuerdo con el tipo de muestra. No se necesita enfriar para pesar, el tiempo de trabajo se disminuye a la vez que se eliminan los errores que se deben a esta causa.

La lectura del contenido de humedad se toma hasta que el peso de la muestra se mantiene constante (sin variar).(2)

### Lípidos

#### Determinación de extracto etéreo:

##### Método de Soxhlet:

Se pesan con exactitud de 3 a 10 g de muestra seca dependiendo de su contenido en grasa y se pasan cuantitativamente a un cartucho para extracción, que tenga una cama de lana de vidrio; se tapa con la misma fibra y se coloca en el extractor del aparato, cuyo matraz se ha puesto a peso constante previamente; se añade suficiente disolvente (éter de petróleo), sobre la muestra hasta que haga sifón dos veces. Se calienta con una parrilla hasta que la extracción del lípido sea completa. Se retira la fuente calórica se saca el cartucho (se seca al aire y se guarda para la determinación de fibra cruda). Eliminar el disolvente y secar el matraz a 80 o 90 °C hasta peso constante.(2)

##### Cálculos:

$$\% \text{ de grasa} = a/m (100)$$

##### Donde:

a = gramos de residuo (lípidos)

m = gramos de muestra.

#### **Fibra cruda (Método de Kennedy modificado)**

Determinación de fibra cruda:

Término que se aplica al residuo de cualquier alimento natural o elaborado: cereales, harina, pan, etc. después de una separación de los materiales solubles en éter, ácido y álcalis diluidos.

reactivos:

- a) Asbesto de fibra mediana-
- b) Acido sulfúrico (1.25%)
- c) Hidróxido de sodio (3.25%)

Método:

Colocar la muestra en un vaso de 600 ml, añádase por lo menos 1 g de asbesto preparado y 200 ml de la disolución de  $H_2SO_4$  al 1.25% (caliente) y una gota de antiespumante si es necesario. Colocar el vaso sobre el aparato de digestión y dejar a ebullición durante 30 min, girando periódicamente el vaso para evitar que los sólidos se adhieran a las paredes del mismo. Retírese el vaso y fíltrese el contenido a través de un embudo Büchner. Enjuáguese el vaso con 50-75 ml de agua hirviendo pasándose a través del embudo Büchner. Repítase el lavado con tres porciones de 50 ml de agua y succione para eliminar el residuo del filtrado. Transfírase el precipitado al vaso y añádase 200 ml de la solución al 3.25% de NaOH, y hierva durante 30 min; retirése el vaso y fíltrese el contenido como antes, al final lávese con 25 ml de alcohol. El residuo transfírase a un crisol de incineración; deséquese durante 2 h a 130 °C, enfríese en un desecador y pése. Incinérrese a 600 °C enfríese y pése.

La pérdida de peso se considera que es la fibra cruda.(2).

Cálculos:

$$\% \text{ de fibra cruda en base seca} = a - b / m (100)$$

Donde:

a = peso en g del crisol más muestra

b = peso en g del crisol más muestra calcinada

m = peso en g de la muestra.

### **Materia inorgánica**

Determinación de materia inorgánica:

Cuando los alimentos y sus derivados se calientan a temperaturas superiores a 500 °C, se evapora el agua y otros constituyentes volátiles. El residuo mineral, depende de la composición de la muestra y de las condiciones de calcinación y generalmente lo forman óxidos, sulfatos, silicatos y cloruros de potasio, calcio, sodio, magnesio.

Método:

Se pesan exactamente de 2 a 5 g de muestra (seca o húmeda), en un crisol, que previamente se ha puesto a peso constante. Se carboniza lentamente para evitar pérdidas por arrastre en el humo; cuando cesa su desprendimiento se pasa a una mufla a 500 o 600 °C. Hasta que las cenizas estén libres de carbón (color blanco o gris); en caso contrario, se deja enfriar, se le añade unas gotas de agua destilada o de ácido nítrico, se calienta lentamente y se vuelve a calcinar. Se deja enfriar y se pesa (2).

Cálculos:

% de materia inorgánica =  $a/m (100)$

Donde:

a = peso en gramos del crisol

m = peso en gramos del crisol más los nutrientes

## APENDICE 2

### 3.3.1 Granos de maíz

Clasificación de la muestra

Limpieza del grano

Cocción del maíz

Lavado del nixtamal

Reposo

### 3.3.2 Nixtamal:

Una vez que se deja reposar el grano y alcanza la temperatura de 20 °C, se procede a hacer los siguientes análisis.

#### Análisis fisicoquímicos (Textura)

Estas determinaciones se realizaron solo a nivel laboratorio.

La determinación de texturógenos primarios se llevo a cabo, empleando diferentes dispositivos del Texturómetro Universal Instron. Las mediciones se efectuarán a temperatura ambiente y se llevaron a cabo las siguientes pruebas

#### Determinación Unitaria (D.U)

Para aquellas pruebas que en su determinación requieren de un grano únicamente. Tal es el caso de las pruebas de penetración, compresión y corte.

#### Determinación a granel (D.G)

Para aquellas pruebas que en su determinación requieren de una cantidad específica de granos como en el caso de la celda kramer.

Dentro de las pruebas de texturógenos primarios se pueden incluir las siguientes:

### **Penetración (D.U)**

Esta prueba consiste en medir la fuerza de la resistencia que expone el grano al desplazamiento de un cilindro (punzón cuyo diámetro es 3 mm que va a penetrar el grano de maíz), resistencia que se presenta al introducirse el punzón en el grano de maíz hasta una distancia determinada

A medida que el punzón penetra en el grano, el registrador del Texturómetro Universal Instrón indica la resistencia que manifiesta la celda donde se encuentra el punzón, finalmente el punzón se detiene 3 mm antes de que termine de penetrar totalmente en el grano.

### **Compresión (grano) (D.U)**

Consiste en medir la fuerza necesaria para comprimir un grano de maíz y en la cual a diferencia del penetrómetro el área de contacto no depende del cilindro empleado sino del grano de maíz, esta prueba se caracteriza por su correlación de ciertos términos empíricos como: fracturabilidad, adhesividad, cohesividad, índice de dureza, etc.

### **Corte (D.U.)**

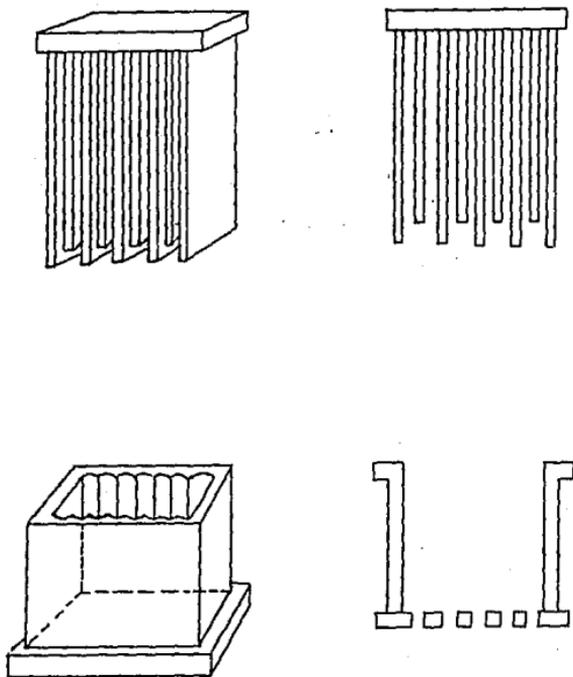
Consiste en medir la fuerza necesaria para cortar por su parte central al grano de maíz colocado por debajo de una cuchilla triangular.

Este al igual que la prueba de penetración, registrara una lectura en el Texturómetro Universal Instrón indicando la resistencia que presenta el grano al corte.

### **Cizallamiento-Extrusión**

Para estas determinaciones se emplea el Texturómetro Universal Instrón el cual consiste en una serie de 12 placas que se deslizan a través de una celda acanalada.

El material se deposita en el fondo de la celda sostenido por la misma cuyo fondo posee una rejilla la cual atraviesa el juego de las 12 placas.



**Fig 3** Representación esquemática de la celda de cizallamiento-extrusión

### **3.3.3 Masa:**

#### **Molienda**

Para el caso de un maíz procesado en planta se realizó lo siguiente:

El nixtamal después de transcurrido su periodo de reposo pasa a molienda, en este punto se produce un material equivalente a la masa tradicional y que sirve de alimentación al secador.

#### **Análisis fisicoquímicos (Textura)**

##### **Resistencia a la extrusión**

Esta determinación se realiza a través del Texturómetro Universal Instron, el cual permite la evaluación de los texturógenos primarios.

La prueba se realiza empleando una celda de extrusión y una celda de carga de 500 kg. Ésta evalúa la resistencia del material a la deformación producida por una velocidad constante de deformación. El material se deposita en el fondo de la celda la cual posee una serie de perforaciones a través de las cuales pasa la muestra al ser extruida por un punzón que se desliza a través de la celda, a medida que el punzón se desliza sobre el material a analizar, el registrador del texturómetro indica la resistencia que manifiesta este material a la deformación (26).

##### **Técnicas de proceso.**

Los métodos que no forman parte del uso cotidiano en todas las plantas se agrupan como métodos de proceso, su uso no está generalizado debido a factores como: el de un entrenamiento especial para su manejo, además de que sus respuestas no son de fácil interpretación, siendo estas subjetivas. Una de estas pruebas de las que se habla, es la que a continuación se menciona y la cual se toma en cuenta para la determinación de texturógenos primarios.

### 3.3.4. Harina de maíz nixtamalizado (planta):

#### Análisis fisicoquímico

En las plantas algunos de los métodos corresponden a técnicas de mayor aceptación, debido a su facilidad de manejo, al dominio pleno en su interpretación, y cuyos resultados son representativos y de alta confiabilidad. No requieren de comentarios adicionales, se emplean en todas las plantas y sus valores son estadísticamente reproducibles. Las técnicas en este grupo son:

#### Densidad

Se define como la relación de una determinada masa por unidad de volumen, donde la densidad relativa o peso específico de los líquidos y los sólidos es la densidad de este material comparada con la del agua a 4°C.

El método consiste en determinar la densidad aparente la cual se realiza colocando la muestra en una probeta graduada, el peso neto de la muestra se llama densidad aparente. Si la muestra es compactada suavemente, la densidad de este se denomina densidad compactada o de masa. Se coloca la muestra en una probeta graduada hasta el aforo final. El peso de la muestra que ocupe este volumen será el peso en g/ml (10).

Densidad aparente = peso / 1000

Se compacta posteriormente la muestra y se mide el volumen.

Densidad compacta = peso / volumen (20)

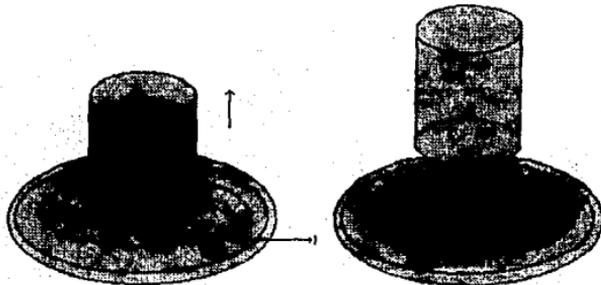
#### Consistencia

En este método, el desplazamiento de una suspensión concentrada de harina en un plano se relaciona fuertemente con la viscosidad cinemática de la suspensión, la resistencia que ofrece al desplazarse se relaciona directamente con las características del coloide, se hace a temperatura ambiente y refleja en

forma por demás sencilla información relacionada con la textura en general. La estabilidad de la suspensión formada varía en función del tiempo, por lo que, la medición debe llevarse a cabo inmediatamente después de preparada la suspensión.

El método consiste en preparar una suspensión en donde se adiciona 125 g de harina con 400 ml de agua, se homogeniza perfectamente la suspensión y se coloca en un cilindro sin fondo sobre una base con plano graduado en sus cuatro posiciones cardinales, se procede a levantar el cilindro y se observa la distancia desplazada por la harina, (2, 26). (Fig 4)

**Figura 4**



**Esquema de la determinación de Consistencia.**

### **3.3.5. Tortilla:**

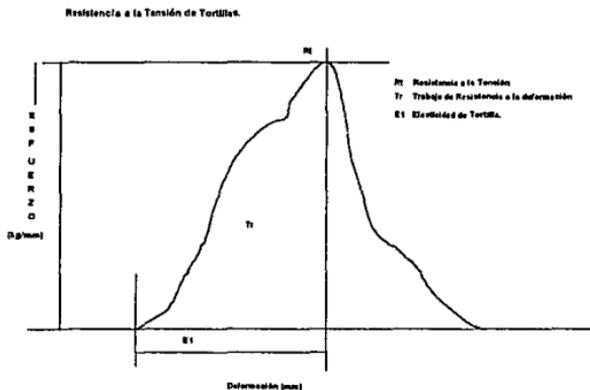
#### **Preparación y elaboración de tortillas.**

La masa obtenida se divide en porciones de 25 a 50 gramos con lo cual se moldea un círculo plano de 15 a 20 cm. de diámetro y de 0.2 cm de espesor, éste se calienta en una malla metálica a fuego directo o sobre una superficie caliente (comal).

## Análisis fisicoquímicos (Textura).

### Determinación de texturógenos primarios

La determinación de texturógenos primarios en tortillas se miden a través de la respuesta a la deformación que experimentan tres tortillas sometidas a fuerzas opuestas en los extremos. La deformación se provoca por medio de dos mordazas de tracción que sujetan un grupo de tres tortillas por los extremos, el material (las tortillas) manifestarán un comportamiento (resistencia) de acuerdo a la estructura de los materiales que le constituyen, las celdas de carga del Texturómetro Universal Instrón registran en un graficador las respuestas a cada deformación. La curva carga/alargamiento que se presenta por el efecto de la deformación a las tortillas, presenta las siguientes características.



### Elasticidad

Determinación que corresponde al alargamiento que experimenta el material sin romper su estructura, se expresa en milímetros. En la gráfica corresponde a la base del triángulo sombreado.

### Tensión

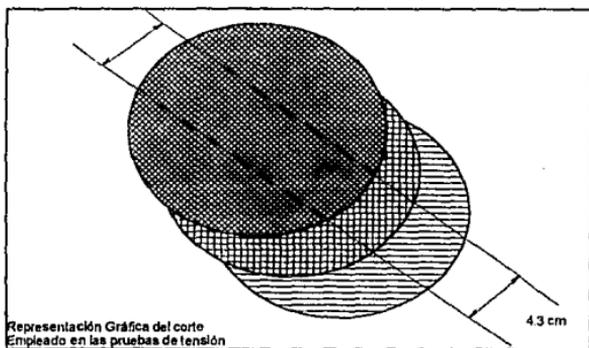
La fuerza máxima que experimenta el material durante la deformación previa a las manifestaciones de ruptura o quiebra del material se pueden medir directamente por medio de fuerza registrada en la celda de carga. se expresa en kilogramos-fuerza y corresponde a la altura del triángulo sombreado.

### Trabajo de tensión

El área bajo el triángulo corresponde al trabajo realizado durante la deformación, se expresa en kgmm, corresponde directamente al área sombreada y se obtiene por cálculo, multiplicando la base (elasticidad en mm) por la altura (tensión en Kg) y dividiendo el resultado entre dos para obtener el área correspondiente. En el caso de emplearse estos datos para establecer una comparación entre grupos, puede omitirse la división.

### Esfuerzo de tensión

La pendiente del triángulo sombreado, corresponde a la relación entre la fuerza de tensión y la elasticidad, a esta se le denomina esfuerzo de la tensión se obtiene por cálculo directo entre ambos valores (tensión / elasticidad), y se reporta en Kg/mm.



Los granos exponen por lo tanto una resistencia al paso de las placas (esfuerzo de cizallamiento), una parte de los granos serán posteriormente empujados por las placas a través de los espacios de las rejillas, registrándose la resistencia que manifiestan los granos para extruirlos.

Esta prueba se realiza empleando un solo dispositivo, en este caso, el Texturómetro Universal Instrón empleando como dispositivo la celda Kramer (este consiste en 12 placas que se deslizan a través de una celda acanalada). (Fig 3)

Velocidad constante de deformación: 2.5 cm/min

Proporción deformación:registro 1:1

Velocidad de la carta: 2.5 cm/min

Celda de carga: 500 kg

Amplitud: 5, 50 y 500 kg

Temperatura: 20 °C

Cantidad: 20 g

### **Determinación de color**

El color es un factor de suma importancia en la calidad de la harina, mide la intensidad de la luz reflejada o transmitida de diversas longitudes de onda, comparada con la transmisión de un patrón.

La determinación se efectúa con el espectrofotómetro de reflectancia Agrón, modelo M- 400 calibrado para lecturas de longitud de onda azul (12).