

UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISION DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO DE INVESTIGACION Y POSGRADO EN ALIMENTOS

Evaluación de los Cambios en Solubilidad que Sufren las
Proteínas Durante el Proceso de Elaboración de la
Tortilla de Maíz, y sus Efectos en la Textura
de la Masa y el Producto Final.

TESIS

que para obtener el Grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta:

Francisco Vásquez Lara

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Sonora, por ser el lugar de enseñanza e instrumento de superación para muchos estudiantes.

Al Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos, por todas las facilidades prestadas para el desarrollo de este trabajo y durante mis estudios de Maestría.

Al señor Ramón Andrés Molina, por proporcionar la materia prima para llevar a cabo esta investigación.

Al señor Juan Nuñez y a Brenda A. Silva por su valiosa colaboración para que este trabajo cumpliera las metas propuestas.

A mis Sinodales:

M.C. Francisco J. Cinco M. y M.C. Ma. Guadalupe Salazar G. por el apoyo y asesoramiento recibido durante el desarrollo de este trabajo, así como el interés prestado al mejoramiento del mismo.

A mi director de tesis, Dr. Benjamín Ramírez Wong, por la dedicación, paciencia, enseñanza y entusiasmo que mostró durante el desarrollo de este trabajo.

DEDICATORIA

A mis padres:

Francisco y Ana Gloria

Por darme la vida, y ese gran esfuerzo que han realizado durante todo este tiempo para hacer posible la terminación de mis estudios.

A mis hermanos:

Elizabeth, Flora Oralia, Belem Imelda y

Abraham Heriberto

Por ese apoyo que han mostrado siempre hacia mí.

A mi hija:

Ana Elizabeth

Por ser parte de lo más querido en mi vida.

A mis amigos: por su amistad

A mis maestros:

Por su gran esfuerzo, apoyo y dedicación a lo largo de este tiempo.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
LISTA DE TABLAS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xv
OBJETIVOS.....	xviii
INTRODUCCION.....	1
ANTECEDENTES BIBLIOGRAFICOS.....	5
Aspectos Generales del Maíz.....	5
Clasificación del Maíz.....	6
Producción y Usos del Maíz	7
Estructura del Grano de Maíz.....	9
Pericarpio.....	9
Endospermo.....	11
Germen.....	11
Envoltura.....	13
Composición Química del Grano de Maíz.....	13
Carbohidratos.....	13
Proteínas.....	14
Lípidos.....	14
Minerales.....	15
Vitaminas.....	15

Proteínas del Maíz.....	16
Generalidades.....	16
Fraccionación	17
Electroforesis en Gel.....	22
Proceso Para la Elaboración de la Tortilla de Maíz.....	25
Cambios que Ocurren Durante el Proceso.....	26
Cambios Físicos.....	26
Contenido de Materia Seca.....	26
Morfología del Grano.....	26
Distribución del Tamaño de Partícula....	27
Cambios Químicos.....	28
Comportamiento del almidón.....	28
Cambios en las Proteínas.....	31
Cambios Nutricionales.....	32
Textura en Masa y Tortilla de Maíz.....	33
Métodos para Medir Textura en Masas de Maíz.....	34
Métodos para Medir Textura en Tortillas de Maíz.....	39
MATERIALES Y METODOS.....	42
Materia Prima.....	42
Proceso de Obtención de la Masa y la Tortilla.....	42
Recolección y Manejo de las Muestras.....	45

Determinaciones de Textura.....	46
En Masa.....	46
Método de Compresión y Tensión (MCT)....	46
En Tortilla.....	47
Rollabilidad.....	47
Firmeza.....	48
Determinaciones Físicas en Tortillas de Maíz.....	49
Peso.....	49
Diámetro.....	49
Espesor.....	49
Determinaciones Analíticas.....	49
Preparación de las Muestras.....	49
Determinación de pH.....	50
Pérdida de Sólidos Totales.....	51
Índice de Absorción de Agua (IAA).....	51
Índice de Material Soluble (IMS).....	52
Análisis Químico Proximal.....	52
Caracterización de las Proteínas.....	53
Muestras.....	53
Fraccionación en Base a Solubilidad.....	53
Cuantificación de Proteína Soluble.....	55
Electroforesis en Gel.....	56
Diseño de Experimentos y Análisis Estadístico.....	57
RESULTADOS Y DISCUSION.....	59
Análisis Químico Proximal.....	59
Determinaciones de pH.....	59

Pérdida de Sólidos.....	63
Humedad de los Productos.....	66
Nixtamal.....	66
Masa.....	69
Tortilla.....	70
Indice de Absorción de Agua (IAA).....	71
Indice de Material Soluble (IMS).....	71
Características Físicas de la Tortilla.....	74
Propiedades Texturales de la Masa.....	77
Adhesividad.....	77
Dureza.....	81
Factor de Compresión y Tensión (FCT).....	82
Propiedades Texturales de la Tortilla.....	83
Firmeza.....	85
Rollabilidad.....	88
Fraccionación de las Proteínas.....	89
Resultados por Fracción.....	89
Resultados por Producto.....	95
Análisis Electroforético.....	100
Correlaciones Simples Entre las Diferentes Determinaciones Realizadas.....	107
Correlación Entre Algunas Características Físicas y las Fracciones Proteicas del Nixtamal y Nejayote.....	108

Correlación Entre las Características Texturales, Físicas y Fracciones Proteicas de la Masa.....	108
Correlación Entre las Características Texturales, Físicas y Fracciones Proteicas de la Tortilla.....	111
Correlación Entre las Propiedades Texturales y Humedad de la Masa y la Tortilla.....	113
CONCLUSIONES.....	116
RECOMENDACIONES.....	118
BIBLIOGRAFIA.....	119

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
1 Producción mundial de maíz en 1992.....	8
2 Composición química del grano de maíz y sus fracciones.....	12
3 Análisis de varianza, cuadrados medios, del pH de los productos obtenidos durante el proceso de elaboración de la tortilla de maíz.....	60
4 Efecto del tiempo de cocimiento sobre el pH de los productos obtenidos del proceso de la tortilla de maíz.....	61
5 Análisis de varianza, cuadrados medios, de los sólidos totales obtenidos a diferentes tiempos de cocimiento.....	64
6 Análisis de varianza, cuadrados medios, de la humedad de los productos obtenidos en la elaboración de la tortilla a diferentes tiempos de cocimiento.....	67
7 Efecto del tiempo de cocimiento sobre la humedad de los productos obtenidos en la elaboración de la tortilla.....	68
8 Análisis de varianza, cuadrados medios, del IAA y del IMS de la masa obtenida a diferentes tiempos de cocimiento.....	72

9	Efecto del tiempo de cocimiento sobre el IAA y el IMS de la masa.....	73
10	Análisis de varianza, cuadrados medios, de las características físicas de la tortilla obtenida a diferentes tiempos de cocimiento.....	75
11	Efecto del tiempo de cocimiento sobre las características físicas de la tortilla obtenida a diferentes tiempos de cocimiento.....	76
12	Análisis de varianza, cuadrados medios, de las características texturales de la masa obtenida a diferentes tiempos de cocimiento.....	78
13	Efecto del tiempo de cocimiento sobre las características texturales de la masa.....	79
14	Análisis de varianza, cuadrados medios, de las características texturales de la tortilla obtenida a diferentes tiempos de cocimiento.....	84
15	Análisis de varianza, cuadrados medios, de las fracciones proteicas de los productos del proceso de elaboración de la tortilla de maíz.....	90
16	Análisis de varianza, cuadrados medios, de las fracciones proteicas de cada producto obtenido en el proceso de elaboración de la tortilla de maíz..	97

17	Efecto del tiempo de cocimiento sobre las fracciones proteicas de los productos obtenidos durante el proceso de elaboración de la tortilla de maíz.....	99
18	Correlaciones simples (r) entre algunas características físicas y las fracciones proteicas del nixtamal y nejayote.....	109
19	Correlaciones simples (r) entre características texturales, físicas y fracciones proteicas de la masa.....	110
20	Correlaciones simples (r) entre características texturales, físicas y fracciones proteicas de la tortilla.....	112
21	Correlaciones simples (r) entre las propiedades texturales y humedad de la masa y la tortilla.....	114

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 Estructura del grano de maíz.....	10
2 Proceso utilizado en la elaboración de la tortilla de maíz.....	43
3 Efecto del tiempo de cocimiento sobre la pérdida de sólidos totales.....	65
4 Efecto del tiempo de cocimiento sobre la rollabilidad y firmeza de la tortilla.....	86
5 Efecto del tiempo de almacenamiento sobre la rollabilidad (A) y firmeza (B) de la tortilla.....	87
6 Efecto del tiempo de cocimiento sobre la fracción I (albúminas y globulinas) de los productos obtenidos durante la elaboración de la tortilla de maíz.....	91
7 Efecto del tiempo de cocimiento sobre la fracción II (prolaminas) de los productos obtenidos durante la elaboración de la tortilla de maíz.....	93
8 Efecto del tiempo de cocimiento sobre la fracción III (gluteninas reducidas) de los productos obtenidos durante la elaboración de la tortilla de maíz.....	94

- 9 Efecto del tiempo de cocimiento sobre la fracción IV (gluteninas) de los productos obtenidos durante la elaboración de la tortilla de maíz..... 96
- 10 Fracción I (albúminas y globulinas) extraídas de las muestras de maíz (M), nixtamal (NIX), masa (MAS) y tortilla (TOR) obtenidas a tiempos de cocimiento de 25, 45 y 65 min..... 101
- 11 Fracción II (prolaminas) extraídas de las muestras de maíz (M), nixtamal (NIX), masa (MAS) y tortilla (TOR) obtenidas a tiempos de cocimiento de 25, 45 y 65 min..... 103
- 12 Fracción III (gluteninas reducidas) extraídas de las muestras de maíz (M), nixtamal (NIX), masa (MAS) y tortilla (TOR) obtenidas a tiempos de cocimiento de 25, 45 y 65 min..... 105
- 13 Fracción IV (gluteninas) extraídas de las muestras de maíz (M), nixtamal (NIX), masa (MAS) y tortilla (TOR) obtenidas a tiempos de cocimiento de 25, 45 y 65 min..... 106

RESUMEN

La nixtamalización es una parte fundamental en el proceso de elaboración de la tortilla de maíz. Cuando ésta se lleva a cabo es importante considerar la concentración de cal, temperatura y tiempo de cocimiento alcalino. Las variables anteriores afectarán grandemente la calidad del producto final. La presente investigación estudió el efecto del tiempo de nixtamalización sobre los cambios en las proteínas del maíz y en la textura de la masa y la tortilla. Asimismo, establecer si existe alguna posible relación entre los cambios en las proteínas con las propiedades texturales. Lotes de 20 kg de maíz fueron sometidos a un proceso de nixtamalización usando una concentración de cal de 1% a temperatura de ebullición del agua. Se probaron tres tiempos de nixtamalización (25, 45 ó 65 min) considerados como de poco cocimiento, buen cocimiento y sobrecocimiento, respectivamente. Al cabo de 14 h de reposo, el maíz se lavó para obtener el nixtamal. El nixtamal se llevó a una tortillería comercial donde pasó por un molino de piedras volcánicas para la obtención de la masa. Después fue sometida a un amasado y moldeado. Al obtener los discos de masa estos fueron cocidos en un horno de tres bandas, y así de esta manera obtener la tortilla. Las muestras obtenidas durante el proceso fueron las siguientes: grano, nixtamal, masa y tortilla, a los cuales se les determinó proteína y

humedad de acuerdo a los métodos propuestos por la AACC (1991). A las mismas muestras se les realizó extracción de proteínas empleando el método de Paulis (1975) y Paulis y Wall (1979). La cuantificación se llevo a cabo con el método de Lowry modificado por Hartree (1972). Los análisis electroforéticos se realizaron utilizando electroforesis en gel bajo condiciones disociantes siguiendo el método de Laemmli (1970). A la masa se le determinó su textura utilizando el método de compresión y tensión (MCT). Las pruebas texturales que se le hicieron a la tortilla fueron rollabilidad y firmeza, y se llevaron a cabo a las 2, 24 y 48 h después de haberse elaborado. Además, a las muestras de nejayote, nixtamal, masa y tortilla también se les determinó pH. Por otra parte al nejayote se le realizó determinación de pérdida de sólidos, mientras que a la masa se le midió índice de absorción de agua (IAA) e índice de material soluble (IMS). Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar donde el único factor fue el tiempo de cocimiento con tres niveles: 25, 45 y 65 min. Los datos obtenidos se analizaron con análisis de varianza y se obtuvieron sus niveles de significancia (valor p). A tiempo de cocimiento de 65 min la masa tuvo el mayor IAA y el menor IMS. La humedad se incrementó en el nixtamal y la tortilla al incrementarse el tiempo de cocimiento, mientras que en la masa permaneció constante para todos los tratamientos. Con respecto a propiedades texturales de la

masa; la adhesividad incrementó con el tiempo de cocimiento. La dureza y el FCT alcanzaron sus máximos valores a tiempo de cocimiento de 45 min, sin embargo, al aumentar el tiempo de cocimiento se observó una disminución en dichas mediciones. La firmeza y la rollabilidad de la tortilla disminuyeron al aumentar el tiempo de cocimiento. Con respecto al tiempo de almacenamiento, la firmeza aumentó al incrementar el tiempo de almacenamiento, mientras que la rollabilidad disminuyó.

Las fracciones proteicas I y II disminuyeron su solubilidad al irse desarrollando el proceso de obtención de la tortilla en los diferentes tiempos de cocimiento. Mientras que la fracción III se incrementó en nixtamal y masa. La fracción IV no varió en los diferentes productos al ser sometidos a los diferentes tiempos de cocimiento. Los análisis electroforéticos demostraron que las diferentes fracciones proteicas disminuyeron en su número de bandas e intensidad a medida que se va avanzando en el proceso de obtención de la tortilla. También sucede lo mismo cuando se incrementa el tiempo de cocimiento, haciéndose esto más notorio en las fracciones proteicas extraídas de la tortilla. Las correlaciones que se hicieron entre las características texturales, y fracciones proteicas de la masa mostraron que no existe alguna relación entre ellas. Al igual que en la masa, los cambios sobre las fracciones proteicas de la tortilla no afectaron la firmeza y rollabilidad de la misma.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Conocer los cambios que sufren las proteínas durante el proceso de elaboración de la tortilla de maíz, así como el efecto de estos cambios en la textura de la masa y producto final.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

Determinar el efecto del tiempo de cocimiento alcalino sobre las proteínas del maíz durante el proceso de elaboración de la tortilla.

Determinar el cambio que van sufriendo las proteínas del maíz, durante las diferentes etapas del proceso de la tortilla de maíz.

Determinar el efecto del tiempo de cocimiento sobre la textura de la masa.

Determinar el efecto de los tiempos de cocimiento y de almacenamiento sobre la textura de la tortilla.

Evaluar el efecto del cambio en las proteínas sobre la textura de la masa y la tortilla de maíz.

INTRODUCCION

En México y América Central, el maíz ha sido un alimento básico desde el establecimiento de los primeros pobladores y la tortilla de maíz ha sido la principal forma de consumo. Se ha estimado que el maíz y sus productos suministran cerca del 70% del consumo total calórico y el 50% de la proteína de una dieta de la población rural de Mesoamérica; la tortilla de maíz aporta las 2/3 partes de este consumo.

La tortilla de maíz y alimentos relacionados, son elaborados de la masa, la cual se prepara utilizando el proceso de nixtamalización o cocimiento alcalino. El carácter alcalino del proceso de cocimiento, produce cambios que son únicos en el grano de maíz afectando la textura, el sabor, el olor y valor nutricional de la tortilla. Así mismo ocurren cambios en los principales componentes del maíz. De los principales cambios estudiados han sido en almidón y en proteínas durante el proceso de elaboración de la tortilla. Sin embargo, estos estudios han sido hechos sin variar condiciones de proceso.

El proceso tradicional de la producción de la tortilla, se puede considerar como un proceso poco eficiente, ya que consume mucho tiempo y energía. Se ha intentado diseñar un

proceso continuo con poco o ningún tiempo de reposo, pero con poco éxito. Se considera que es difícil el diseño de procesos a escala industrial, los cuales sean eficientes y capaces de producir tortillas con la textura, sabor y olor deseables en los productos preparados de masa de maíz (Pflugfelder, 1986). Si se desean mejorar los procesos comerciales de producción de la tortilla, es necesario conocer cuáles son los mejores cambios químicos y físicos que ocurren durante el proceso de la tortilla.

Muchas de las investigaciones del proceso de la tortilla de maíz se han realizado en los Estados Unidos. A este respecto se puede decir que los estándares de una buena tortilla en ese país, son diferentes a los que tienen en los procesos industriales mexicanos. Esto implica que muchos de los resultados obtenidos por los investigadores de aquel país, no necesariamente reflejan los cambios químicos y físicos que ocurren en los procesos utilizados en México y en los cuales poco se ha hecho en nuestro país. En México, la tortilla típica es aquella que tiene buenas características de textura u organolépticas cuando esta fresca (de consumo inmediato), pero no dura mucho tiempo (no más de tres días), mientras que en Estados Unidos una tortilla típica tiene una alta vida de

anaquel (más de dos semanas) que se comercializa en supermercados, pero que sus propiedades de textura y organolépticas son deficientes.

La textura de la masa es de gran importancia en el proceso de obtención de la tortilla. Esta se evalúa comercialmente en forma subjetiva por el maestro tortillero: esto es, tomando un pedazo de masa y comprimiéndola entre los dedos, y guiándose por el sentido del tacto determina si la textura de la masa es la adecuada. Al referirse a una buena textura, esto implica que la masa posea características de consistencia y adhesividad que permita un buen manejo durante el procesamiento de la masa, así como lograr el rendimiento más alto sobre la producción de tortillas con características organolépticas óptimas.

Pocos trabajos se han hecho para buscar que componentes químicos del maíz son los que le dan las propiedades funcionales tanto a la masa como a la tortilla. De esos componentes el almidón es el que se le ha dado mayor importancia, dejando por un lado otros componentes tan importantes como las proteínas y los lípidos. En el caso particular de la proteína, los estudios se han enfocado más desde el punto de vista nutricional, o los cambios que van

sufriendo durante el proceso de elaboración de la tortilla. Sin embargo, nunca se han relacionado a propiedades texturales.

Por lo anterior expuesto, se hace necesaria la realización de un estudio detallado de los cambios en las proteínas principalmente de la masa y la tortilla y que podrían suministrar un mejor entendimiento de sus características texturales, reológicas y de vida de anaquel. Además, esto podría ayudar a conocer mejor el efecto de las variables de proceso sobre las proteínas y como afecta las propiedades funcionales de esos productos.

ANTECEDENTES BIBLIOGRAFICOS

Aspectos Generales del Maíz

En el mundo entero los cereales constituyen la fuente más importante de calorías. Se consumen en forma natural o ligeramente modificados como artículos básicos de la dieta, se convierten mediante el procesamiento en harinas, almidón, aceite, salvado, jarabes de azúcar, y un gran número de ingredientes adicionales empleados en la fabricación de otros alimentos (Potter, 1978).

Los cereales se han cultivado desde hace muchos años contribuyendo enormemente con abundancia, producción y usos en el desarrollo de la civilización moderna. Dentro de los cereales más importantes se encuentran el trigo, arroz, maíz, avena, sorgo, centeno y mijo (Kent, 1983). El maíz juega un papel muy importante en la dieta de la gente en los países de Latino América. Su principal forma de consumo es en forma de tortillas las cuales proveen el 70% de las calorías y la mitad de las proteínas en la dieta de algunas poblaciones.

El maíz es el mejor cereal que se ha originado en América. Fue domesticado en México probablemente de una hierba salvaje llamada Teosinte (Zea mays sp. mexicana) hace 10000 a

7000 años. El maíz está comprendido dentro de la familia de las Gramineae, de la tribu Maydae. Cuando Colón descubrió esta planta en 1492, se percató que el maíz era el alimento principal en la alimentación de los nativos, quienes lo llamaban Mahyz. Fue entonces cuando Colón lo introdujo a Europa y llegó a ser conocido como Maíz en español. Desde España se extendió a través del Sur de Europa hasta Turquía. En los años 1700 el maíz fue cultivado en gran escala desde los Balcanes hasta el Sur de Francia. Cuando los colonizadores ingleses descubrieron los cultivos de Maíz en América, ellos aplicaron el término inglés "corn" para el grano (Watson, 1982).

Clasificación del Maíz

El maíz tiene una gran cantidad de variedades, y ésto es notorio debido a las diversas formas y tipos de granos: el dentado, el cristalino, el dulce, el harinoso y el reventador. La diferencia existente entre las variedades se debe básicamente a los diferentes tipos de endospermo. El maíz dentado, que es el tipo más ampliamente cultivado en Estados Unidos, se caracteriza por una depresión o diente en la corona de la semilla. Esta es causada por un depósito de almidón suave en la corona. Mientras mayor sea la cantidad de este depósito, mayor será la dentación (Duffus y Slaughter, 1988).

El maíz cristalino difiere del dentado en que contiene menos almidón suave. El maíz dulce se cosecha antes de la madurez, y se caracteriza por tener en su grano una cantidad de azúcar y tan poco almidón que se arruga cuando se seca. Los granos del maíz están compuestos, en su mayor parte, de almidón suave y tienen poca o ninguna dentación.

El maíz reventador se caracteriza por tener pequeños granos duros y es realmente la forma extrema del maíz cristalino; su endospermo contiene solo una pequeña proporción de almidón suave (Duffus y Slaughter, 1988).

Producción y Usos del Maíz

La producción mundial de maíz se ha incrementado desde 1930, ocurriendo un aumento importante en los últimos 35 años. Este incremento ha sido debido a una mayor área de tierra usada en la producción del maíz y a un aumento en el rendimiento por unidad de área de tierra (Tabla 1).

La producción en México se obtiene de las cosechas de los ciclos Primavera-Verano y Otoño-Invierno. Actualmente el maíz es la cosecha de cereales más importante en México, en donde en el ciclo 92-92 se obtuvieron 16 929 342 toneladas en este cereal (INEGI, 1994).

Tabla 1. Producción mundial de maíz en 1992.

Región	Área cosechada (Miles ha)	Rendimiento (kg/ha)	Producción (Miles T)
África	20 521	1 168	23 963
América	57 512	5 383	309 585
Asia	39 539	3 346	132 301
Europa	11 621	4 546	52 824
Oceanía	74	5 068	375
URSS	2 999	2 455	7 362

Fuente: INEGI, 1994.

El maíz es utilizado principalmente para la alimentación de grandes grupos de gente en América Latina, Asia y Africa. Cada cultura tiene un alimento tradicional elaborado a base de maíz. Por ejemplo, en México y América Central es usado para elaborar tortillas; en Venezuela y Colombia para hacer arepas, en Africa es utilizado para preparar atoles y bebidas alcohólicas y no alcohólicas, en los Estados Unidos, se utiliza para alimentación animal y producción de harina de maíz, hojuelas, almidones, tortillas, botanas, desayunos y jarabe de maíz (Ramírez, 1989).

Estructura del Grano de Maíz

El grano de maíz es un fruto encerrado en una semilla simple (Fig. 1) y es conocido botánicamente como una cariopsis. El grano de maíz varía considerablemente en tamaño y forma entre los diferentes tipos de plantas. Está compuesto de cuatro partes principales: 82% endospermo, 12% germen, 5% pericarpio, y 1% envoltura (Johnson, 1991).

Pericarpio

Es la estructura más externa de la semilla. Es una membrana delgada, hialina, casi invisible. Se adhiere fuertemente a la superficie externa de la capa aleurona y es considerada como la responsable de impartir propiedades

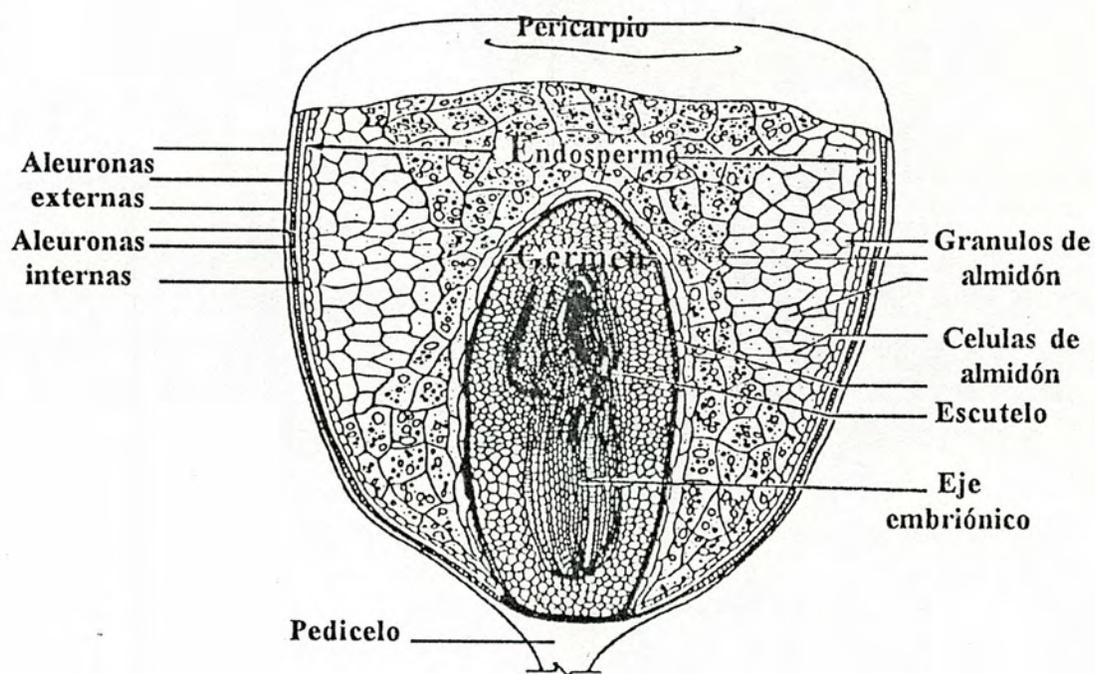


Figura 1. Estructura del grano de maíz.

Fuente: Duffus y Slaughter, (1988).

impermeables al grano de maíz. El pericarpio se encuentra en un 5 a 6% del peso seco del grano (Tabla 2). Todas las partes del pericarpio están compuestas de células muertas que son tubos celulósicos. El pericarpio se extiende a la base del grano, uniéndose con la envoltura (Watson, 1987).

Endospermo

Constituye el 82-84% del grano en peso seco (Tabla 2), el cual está compuesto de 86 a 89% de almidón. Comprende células extendidas llenas de gránulos de almidón incrustadas en una matriz proteica continua. El endospermo es de 2 tipos, harinoso y córneo. El endospermo harinoso es opaco, desmenuzable y se quiebra fácilmente entre los dedos. La región del endospermo harinoso se caracteriza por células grandes, gránulos redondos y grandes de almidón y una matriz proteica delgada. El endospermo córneo tiene gránulos pequeños de almidón y matriz proteica densa (Watson, 1987).

Germen

El germen del maíz normal dentado es el 11.5% del grano (Tabla 2). El escutelo y el eje embriónico son las dos partes principales del germen. El escutelo constituye el 90% del germen y almacena los nutrientes movilizados durante la germinación; durante esta transformación, el eje embriónico se desarrolla como semilla. El escutelo contiene células

Tabla 2. Composición química del grano de maíz y sus fracciones^a.

Fracción	Grano	Almidón	Proteína	Lípidos	Azúcar	Ceniza
Grano	100.0	71.5	10.3	4.8	2.0	1.4
Endospermo	82.3	86.4	9.4	0.8	0.6	0.3
Germen	11.5	8.2	18.8	34.5	10.8	10.1
Salvado	5.3	7.3	3.7	1.0	0.3	0.6
Envoltura	0.8	5.3	9.1	3.8	1.6	1.6

^a Los valores anteriores están expresados en % de base seca.

Fuente: Salunke y Col., (1985).

parenquimatosas ricas en aceite, las cuales poseen una pared celular gruesa. De los azúcares presentes en el germen aproximadamente el 67% es glucosa (Earle et al., 1946).

Envoltura

La envoltura constituye cerca del 1% del peso del grano en base seca (Tabla 2). Extrayendo la envoltura del grano revela una capa circular café oscura, conocida como la capa negra o hiliar, de ese modo tiende en contra de la base del germen y endospermo. La capa hiliar parece ser una incisión de la capa, con una probable función garantizando la envoltura del grano (Watson, 1987).

Composición Química del Grano de Maíz

La composición química del maíz varía significativamente dependiendo de la variedad y tipo, ya que es influenciada por factores genéticos, factores climáticos, tipos de suelo y de cultivo.

Carbohidratos

Dentro de los carbohidratos encontrados en el grano de maíz está la parte que no es digerible, conocida como fibra cruda (principalmente celulosa). Químicamente la celulosa es un polímero lineal formado por unidades de D-glucosa ligados

por uniones beta 1-4. En el maíz se encuentra en las capas externas del grano. Otro polisacárido importante es el almidón, el cual se encuentra en forma de gránulos microscópicos. El almidón después de la celulosa es el componente químico más abundante del grano de maíz, encontrándose en una proporción de 60 a 75% del peso del grano. El maíz normal contiene cerca del 27% de amilosa y el 73% de amilopectina (Watson, 1987).

Proteínas

Constituyen cerca del 10% del peso del grano de maíz. El 20% de las proteínas se encuentran en el germen y el 80% en el endospermo. De las proteínas del endospermo, la prolamina (zeína) constituye la mayor fracción; 47.2% en el caso del maíz normal y, en el maíz Opaco-2 contiene 69% más lisina que el endospermo del maíz normal. La zeína y la glutelina constituyen la mayor parte de las proteínas del endospermo y el germen contribuye con la porción principal de albúminas y globulinas del grano de maíz (Watson, 1987).

Lípidos

El contenido de lípidos en maíz es influenciado principalmente por cambios genéticos. Cerca del 85% de los lípidos en maíz están en el germen en una concentración de 30 a 38% y el resto son lípidos libres. Los triglicéridos

comprenden el 80% del total de lípidos, los cuales están constituidos por ácidos grasos de 16, 18 y 20 carbonos, conteniendo, 0, 1, 2 y 3 dobles enlaces. El maíz comprende otros lípidos menores tales como esteroides, β -sitosterol, campesterol y estigmasterol (Watson, 1987).

Minerales

El germen de maíz es rico en elementos minerales, contiene 78% de los minerales del grano. Los componentes inorgánicos más abundantes son el fósforo. La mayor parte está presente como sales de potasio y magnesio, de ácido fítico. La fitina es una importante forma de almacenamiento de fósforo, el cual es liberado por enzimas fitasas para iniciar el desarrollo del embrión. El sulfuro es otro elemento abundante en maíz, está presente en forma orgánica como un constituyente de los aminoácidos metionina y cisteína (Watson, 1987).

Vitaminas

El maíz contiene 2 vitaminas liposolubles, A (β -caroteno) y E, y otras vitaminas hidrosolubles. El β -caroteno contenido en el maíz varía genéticamente en híbridos. Este es gradualmente destruido por oxidación, junto con otros pigmentos carotenoides, durante almacenamientos prolongados. Las vitaminas hidrosolubles tiamina y piridoxina están

presentes en concentraciones suficientes para ser importantes en raciones animales (Watson, 1987).

Proteínas del Maíz

Generalidades

Las proteínas del maíz se encuentran en el endospermo como cuerpos proteicos separados y como una matriz proteica. Los cuerpos proteicos están compuestos principalmente de una prolamina llamada zeina. El endospermo contiene 5% de albúminas además de globulinas, 44% de zeina, y 28% de glutelinas. El restante 17% es una fracción no encontrada en trigo por el procedimiento clásico de fraccionación de Osborne y Mendel. Esta es una fracción de zeina con enlaces disulfuro que es soluble en alcohol conteniendo mercaptoetanol o un solvente similar. Este es básicamente el procedimiento de Landry y Moureaux de clasificación de proteínas en cereales. Las proteínas de maíz tienen un alto nivel de ácido glutámico, pero solo cerca de la mitad del nivel encontrado en trigo. El bajo nivel de nitrógeno amoniacal muestra que el ácido glutámico está presente como el ácido y no como la amida.

El interés particular en la composición de aminoácidos es el alto nivel de leucina. Esta ha sido implicada en la incidencia de pelagra. Ambas fracciones la soluble en agua y

en solución salina, y la fracción glutenina parecen tener un buen balance de aminoácidos. La zeína y la fracción de zeína con enlaces cruzados son bajas en lisina y muy altas en leucina. Es importante también el alto nivel de prolina (18%) que tiene esta fracción de zeína.

El maíz tiene endospermo vitreo y opaco en su grano, y la distribución de proteínas es diferente en esos dos tipos de endospermo. Por lo tanto la composición de aminoácidos es también diferente (Hoseney, 1986).

Fraccionación

Osborne y Mendel (1914) fueron capaces de concluir que la zeína fue la proteína que limitó la habilidad del maíz para suplir nutricionalmente aminoácidos esenciales y que la sustitución de otras proteínas de maíz por zeína pueden mejorar el valor nutricional del maíz.

La separación clásica de proteínas en fracciones basadas en solubilidad fue desarrollada por Osborne clasificándolas como sigue: albúminas (solubles en agua), globulinas (solubles en solución salina), zeína o prolaminas (solubles en alcohol acuoso), gluteninas y residuos (no solubles en agua, solución salina, o alcohol acuoso), con las gluteninas existentes por las proteínas extraídas con álcali diluido. Landry y Moureaux

(1970), usaron de agente reductor 2-mercaptoetanol para mejorar la extractabilidad de las gluteninas (y algunas zeinas) siendo esto ampliamente adoptado.

También Landry y Moureaux (LM) utilizaron un sistema identificado por números romanos. La fracción N soluble en solución salina (LM-I) es frecuentemente subdividida en no proteínas N, albúminas y globulinas. La fracción LM-II, aquí llamada zeina-I, corresponde también a las reportadas por Osborne y Mendel como zeina; LM-III y LM-IV son subdivisiones de la fracción clásica de gluteninas, pero contiene pequeñas cantidades o no de lisina. LM-III contiene cantidades variables de zeina-I, no extraída previamente, ocasionando el término zeina-II. Frecuentemente, pero no siempre, la fracción LM-II y LM-III son combinadas para tener una zeina total o fracción prolamina. Debido a que ésta fracción combinada es siempre extremadamente baja en lisina, es útil una subdivisión. La proteína LM-IV es algunas veces extraída con la proteína LM-III y algunas veces como una fracción separada extraída por un buffer a alto pH más un agente reductor, una causa potencial de confusión (Landry et al., 1983). La fracción remanente (V) contiene solo 17% del total del N en el endospermo (22% si el residuo es añadido). Estos resultados

son de varios tipos de maíz, bajo condiciones ambientales diferentes, pero ellos pueden ser considerados como representativos de un promedio.

Byers et al., (1983) mostraron que la fracción glutelina en trigo varía con diferentes tratamientos: calor, procedimientos de desgrasado, temperaturas de extracción, buffers, y solventes, entre otros. Ellos concluyeron que la división clásica de gluten soluble en alcohol (prolaminas) y proteínas insolubles en alcohol (glutelinas) no fue altamente válida. Ellos sugirieron tres clasificaciones de proteínas en semillas: metabólicas (citoplásmicas), de almacenamiento y estructurales. Mifflin y Shewry (1979), propusieron que las proteínas de almacenamiento en semillas sean definidas como proteínas que: 1) no tienen función metabólica otra que no provea N para la germinación de la semilla, 2) son formadas relativamente tarde en el desarrollo de la semilla, 3) incrementa preferencialmente si el N suministrado a la planta es incrementado, 4) puede ser almacenado en un empaque separado, usualmente conocido como un cuerpo proteico, y 5) puede estar compuesto de un número limitado de polipeptidos similares. Las proteínas metabólicas y estructurales, tales como las albúminas, globulinas y algunas glutelinas, son también hidrolizadas durante la germinación para liberar

aminoácidos que serán utilizados por la semilla, pero esto es secundario a sus funciones metabólicas durante el desarrollo de la semilla.

Las fracciones proteicas del germen son totalmente diferentes a las del endospermo. Más del N del germen de maíz es soluble en solución salina. Los dos mayores tejidos de la semilla son diferentes, por lo tanto, es necesario que sean considerados separadamente. Extracciones con altas temperaturas mejora la extracción de algunas proteínas pero pueden desnaturalizar otras proteínas incluyendo la fracción glutelina. Asimismo, enzimas proteolíticas pueden ser activas en algunos estados; la presencia o ausencia de sales afecta otras fracciones; son muestras almacenadas en forma diferente; las plantas son cultivadas bajo diferentes niveles de fertilización y de diferentes híbridos. Así, los resultados presentados son solo una generalización de fraccionación de proteínas en maíz.

Landry y Moureaux (1980, 1981) presentaron un ejemplo particularmente completo de su sistema para la fraccionación de proteínas en endospermo y germen, con análisis de aminoácidos de todas las fracciones. Ellos sugirieron que esas fracciones pueden ser clasificadas en dos grupos: 1) proteínas básicas esencialmente metabólicas (por ejemplo proteínas

solubles en solución salina, glutelinas G-3 y proteínas residuales) y 2) proteínas específicas del endospermo (zeína y las gluteninas G-1 y G-2. Estas proteínas específicas del endospermo son solo unas de las muchas reportadas para encontrarse en los cuerpos proteicos.

Vivas et al., (1987) fraccionaron proteínas usando el método reportado por Paulis et al. (1975), y Paulis y Wall, (1979). Cuatro fracciones secuenciales o extractos fueron obtenidos de muestras de harina de maíz (1.5 g). Cada fracción fue extraída dos veces; la primera por 2 h y la segunda por 1 h usando la misma proporción de solventes por harina (6:1 p/v) en cada ocasión. Todos los extractos fueron centrifugados en 10 000 x g por 20 min y el supernadante fue analizado. Las albúminas y globulinas (fracción I) fue extraída con solución salina 0.5 M. Las prolaminas o zeínas (fracción II) fueron extraídas con alcohol terbutílico al 60%. La fracción III o gluteninas reducidas solubles en alcohol (ASG) fueron extraídas con una mezcla de alcohol terbutílico al 60% o alcohol isopropílico al 70% y β -mercaptoetanol al 2% (β -ME). La fracción glutenina (fracción IV) fue obtenida con un buffer conteniendo Tris 0.0625 M (pH 6.8), SDS al 2% y β -ME al 5%. De la fraccionación anterior encontraron cambios en la solubilidad de las fracciones proteicas; la fracción I y II

disminuyeron después del procesamiento, por otra parte la fracción III registró un incremento mientras que la fracción IV permaneció constante.

Electroforesis en Gel

El proceso de electroforesis puede definirse como la migración de partículas cargadas, hacia el ánodo o cátodo, dependiendo del signo de su carga neta, bajo la influencia de un campo eléctrico. Macromoléculas biológicas, como las proteínas, están dispersas en solución como partículas de tamaño coloidal, las cuales poseen cierta carga debido a sus grupos de la superficie capaces de disociarse electrolíticamente. La carga neta de la partícula, se determina principalmente por la concentración de hidrogeniones del medio y puede modificarse por la interacción con iones de bajo peso molecular u otras macromoléculas.

Estos procedimientos han llegado a separar un amplio número de polipéptidos que poseen pesos moleculares por arriba o alrededor de 140 000 Daltons. El peso molecular de cualquier componente puede ser estimado tomando como referencia a proteínas de peso molecular conocido. Sin embargo, los pesos moleculares estimados varían de acuerdo a variaciones en el procedimiento de electroforesis (Bunce et al., 1985).

Asimismo, enfoques importantes de las proteínas del maíz es la que provee la electroforesis en gel de poliacrilamida y sodio dodecil sulfato (SDS-PAGE), la cual separa en base al tamaño de la proteína. Las proteínas del embrión analizadas electroforéticamente han revelado un número diferente de polipéptidos, con la no predominancia de proteínas sencillas o grupos de proteínas. Este resultado es consistente con la idea de que el embrión contiene proteínas metabólicamente activas con diferentes funciones; lo anterior también sugiere la relativa falta de proteínas específicas de almacenamiento. En contraste, estudios realizados con las proteínas del endospermo han revelado un número menor en el total de las bandas y algunas de ellas, especialmente las zeínas están presentes en grandes cantidades. Los cuerpos proteicos aislados del endospermo contienen solo proteínas que predominan en el extracto total del endospermo. Los cuerpos proteicos son pequeños cuerpos unidos a membranas, aparentemente homogéneos, los cuales tienen poliribosomas asociados con la superficie exterior durante el periodo de desarrollo.

Duvick, (1961) concluyó que los cuerpos proteicos son los sitios de deposición de zeína. Aquí observó que los cuerpos proteicos contienen cinco o seis fracciones mayores de

proteínas, las cuales pueden ser identificadas individualmente por SDS-PAGE.

Una preparación de zeína que no es reducida antes de la electroforesis tiene un patrón conocido como zeína "nativa", la cual implica que no son usados agentes reductores en la extracción del endospermo o en la preparación de la muestra para SDS-PAGE.

En estudios realizados con albúminas del endospermo han revelado un gran número de bandas cuando son separadas por SDS-PAGE. Esto no es sorprendente por que las células pueden contener miles de diferentes enzimas por el metabolismo durante el desarrollo de la semilla. Una banda de albúmina fue notada que apareció en maíz Opaco-2 de los híbridos Oh43 y R802A. Pequeñas diferencias fueron observadas en SDS-PAGE de diferentes híbridos, pero estas no parecen ser útiles para la identificación de líneas de híbridos. Mayores diferencias en las bandas se observaron cuando las albúminas de diferentes híbridos fueron separadas por PAGE no desnaturizante (Wilson, 1981).

Otro ejemplo de SDS-PAGE es desarrollado en globulinas del endospermo las cuales difieren de las albúminas teniendo un menor número de bandas, con algunas de ellas en cantidades

relativamente altas. De nuevo, pequeños cambios en los patrones fueron inducidos por el maíz Opaco-2 y algunas diferencias son aparentes entre híbridos. Similarmente gluteninas también han sido estudiadas como en el caso de las fracciones albúminas y globulinas por su composición de aminoácidos y por SDS-PAGE.

Proceso Para la Elaboración de la Tortilla de Maíz

El proceso para la elaboración de la tortilla de maíz utilizado actualmente tiene como base el método tradicional de nixtamalización. En términos generales el proceso consiste en el cocimiento alcalino del grano, a una temperatura inferior al punto de ebullición del agua. Después de llevar a cabo el cocimiento alcalino, el maíz se deja reposar durante toda la noche. El nixtamal obtenido se separa del líquido de cocimiento (nejayote) para posteriormente ser lavado dos o tres veces. Al término de los lavados, el nixtamal es molido para obtener una masa suave la cual será utilizada para la elaboración de la tortilla. Posteriormente la masa es colocada en la tolva de la tortilladora, aquí será moldeada y cortada para formar discos de masa que serán transportados al horno de gas de tres pasos con una residencia de 35 s aproximadamente para su cocimiento. La tortilla obtenida es enfriada, y finalmente empacada (Ramírez, 1989).

Cambios que Ocurren Durante el Proceso

Cambios Físicos

Contenido de Materia Seca. En un proceso de nixtamalización tradicional las pérdidas de materia seca estimadas durante el cocimiento alcalino, reposo y lavado del grano de maíz son del 5 al 14% (Plugfelder et al., 1988). La materia seca perdida se compone principalmente del pericarpio del grano (formado de hemicelulosa); proteínas, lípidos y almidón que constituyen pérdidas mucho más pequeñas.

Esta pérdida de materia seca se ve incrementada cuando se utiliza maíz con endospermo suave, granos dañados (quebrados o agrietados), por la aplicación de altas temperaturas durante el reposo y los altos niveles de cal que contribuyen a aumentar la pérdida de dichos materiales. Se ha encontrado que los tiempos prolongados de reposo (16-24 h) ocasionan las más altas pérdidas de sólidos en un proceso tradicional. También durante la molienda ocurre una disminución adicional de aproximadamente 6% de materia seca.

Morfología del Grano. Se han observado también cambios estructurales en el maíz durante el proceso de elaboración de la tortilla. El álcali debilita la pared celular, facilitando

la remoción del pericarpio, solubiliza la pared celular en el endospermo periférico, causando hinchamiento y destrucción parcial de los gránulos de almidón, y modifica la apariencia física de los cuerpos proteicos. La masa (nixtamal molido) consiste de pequeñas partes de germen, pericarpio, aleurona y endospermo, gránulos libres de almidón, células fragmentadas, sólidos y lípidos disueltos o dispersos en agua. Durante la cocción de la tortilla, ocurre una degradación de la pared celular, pérdida de cristalinidad del almidón y destrucción parcial de los cuerpos proteicos (Gomez et al., 1989).

El principal cambio observado en el grano es el hinchamiento que ocurre debido a la absorción de agua. Además el procesamiento alcalino al que es sometido el maíz, produce alteraciones en la capa más superficial del pericarpio facilitando el desprendimiento de la cutícula durante la etapa de lavado (Paredes-Saharópulos, 1982).

Distribución del Tamaño de Partícula. Otro punto importante es la distribución del tamaño de la partícula en el proceso de elaboración de la tortilla, ya que ésta se ve afectada principalmente por las condiciones de molienda utilizadas en dicho proceso. Durante la molienda, el esfuerzo al corte al que es expuesto el grano, la abertura entre las piedras del molino y la temperatura producida en esta operación afectan

severamente el tamaño de partícula. Además, los tiempos de cocción y las cantidades de cal utilizadas también contribuyen a la reducción del tamaño.

Cambios Químicos

Durante el proceso de elaboración de tortilla los constituyentes químicos se pierden de dos formas; por pérdidas físicas de los componentes del grano y por destrucción química de los mismos (Bressani et al., 1958).

Comportamiento del Almidón. Uno de los más importantes cambios físicoquímicos que ocurre durante la nixtamalización es la gelatinización del almidón. Se ha encontrado que ocurren diversos cambios en los gránulos de almidón durante el procesamiento.

Paredes-López y Saharópulos (1982), observaron que el endospermo del maíz se modifica en el cocimiento alcalino debido a que algunos gránulos de almidón se hinchan y gelatinizan, y una porción de la matriz proteica se hidrata. En estudios realizados sobre la cinética de difusión del agua (Cabrera et al., 1984) y la gelatinización del almidón en el cocimiento alcalino del maíz a temperaturas de 70-90°C, se encontró que el grado de gelatinización afecta la absorción de humedad. Otros estudios han revelado que los granos de maíz

nixtamalizados desarrollan buena consistencia cuando se tiene bastante almidón gelatinizado. Los almidones sin gelatinizar contenidos en los sistemas continuos de amilosa, amilopectina y proteínas forman masas cohesivas. Entre los principales cambios que le ocurren al almidón se pueden mencionar los siguientes:

Pérdida de la cristalinidad. El cocimiento del grano de maíz, rompe parcialmente la estructura cristalina del almidón, lo que provoca una disminución de la cristalinidad. Esta se recobra durante el reposo del grano cocido, debido al proceso de recristalización. Sin embargo, a través del horneado donde la masa se expone a altas temperaturas, ocasiona la pérdida casi total de la estructura cristalina del almidón (Gomez et al., 1992).

Cambios en la solubilidad. Se ha encontrado que muestras de nixtamal contienen un promedio de 44.7% de almidón soluble disperso, no siendo aparentemente afectado el potencial de dispersión del almidón por el tratamiento alcalino, pero sí existe un incremento en la solubilidad al aumentar la temperatura del tratamiento. Menos del 3% del almidón se solubiliza a 65°C mientras que a 85°C o más este porcentaje aumenta considerablemente (Gomez et al., 1992).

Cambios en la birrefringencia. La mayoría de los gránulos de almidón de maíz nixtamalizado se hinchan, se unen unos a otros y exhiben birrefringencia parcial o total. En la masa se pierde de 4 a 7% de birrefringencia, y en el cocimiento de la tortilla las pérdidas aumentan debido al intenso calor el cual promueve la gelatinización del almidón.

Cambios estructurales. El cocimiento alcalino causa hinchamiento en los gránulos de almidón a través del grano, sin embargo, en el endospermo córneo y periférico los cambios que ocurren son muy pequeños permaneciendo el almidón empacado en sus células originales.

Otro cambio químico importante que sucede durante el proceso para la elaboración de la tortilla de maíz es en el contenido y disponibilidad de los nutrientes de éste cereal. Entre los que se encuentra el aumento en el contenido de calcio, el cual se ve favorecido por los niveles de cal utilizados, las temperaturas de cocción y reposo, así como de las características propias del grano. El maíz crudo tiene una relación de calcio-fósforo de 1 a 20 aproximadamente, mientras que en la tortilla ésta relación es de 1 a 1, lo que significa que aún cuando hay un incremento en el contenido de fósforo durante la elaboración de la tortilla, el aumento de calcio es mucho mayor (Bressani, 1990).

Cambios en las Proteínas. En lo que respecta a la proteína, estudios realizados por Bressani y Scrimshaw (1958), encontraron que se presenta una disminución en la solubilidad de la misma a través del proceso, en donde la fracción de proteína insoluble se ve incrementada.

La solubilidad de las proteínas de maíz es afectada por el procesamiento alcalino en la elaboración de las tortillas. Las cantidades de las fracciones proteicas tales como albúminas, globulinas y prolaminas son reducidas después del procesamiento (cocimiento en álcali del maíz para obtener nixtamal, molienda del nixtamal para obtener masa, y cocimiento de la masa para obtener la tortilla); mientras que la fracción glutenina se incrementa. Un aumento en la cantidad de la proteína en el residuo fue observada después del procesamiento, aparentemente causado por la pérdida de solubilidad de albúminas, globulinas y prolaminas (Vivas et al., 1987).

En estudios realizados por Gomez et al., (1989) se observó que durante el cocimiento de la masa para elaborar la tortilla de maíz la proteína es modificada por el calentamiento de cocción, siendo ésta probablemente un componente de capas amorfas de material localizado alrededor de los gránulos de almidón. Asimismo, observó que en los

bordes exteriores de la tortilla, muy pocos cuerpos proteicos fueron visibles. El efecto del calentamiento en los bordes de la tortilla parece ser suficientemente severo como para romper la estructura esférica de los cuerpos proteicos. Las capas de material que aparecen en capas amorfas pueden haber también sufrido algo de oscurecimiento en los cuerpos proteicos intactos. En el centro de la tortilla, el efecto del calentamiento no fue tan severo y los cuerpos proteicos pueden ser vistos intactos. Se mostraron pequeños trozos de células de endospermo visibles en la tortilla de maíz, al igual que en la etapa final del producto, las condiciones de procesamiento no fueron lo suficientemente severas como para romper las células del endospermo.

Cambios Nutricionales. También sucede una disminución en el contenido de diferentes aminoácidos tales como: pérdidas del 21% de leucina, 18% de arginina, 12.5% de cistina y 11.7% de histidina, aunque solo se registran pérdidas de alrededor de 5.3% de histidina.

Se registran pérdidas de vitaminas como tiamina, riboflavina, niacina y carotenos durante el proceso. En investigaciones realizadas con maíz amarillo (Cravioto et al., 1945). Se encontró que aproximadamente el 40% de carotenos se perdieron, y que algunas pérdidas de niacina y tiamina también

ocurrieron. Por otra parte, existen también pérdidas en el contenido de grasa y fibra cruda por el tratamiento alcalino y por la vigorosa manipulación que se le da al grano.

Bressani (1958), realizó investigaciones acerca de los cambios físicos y químicos que ocurren en el maíz durante la preparación de tortillas mediante el método tradicional para variedades con granos de color blanco y amarillo. Así, de esta forma él observó que las pérdidas que ocurren, dependen mucho del tipo de maíz que se utilice así como de las condiciones en las que se lleve a cabo el proceso.

Textura en Masa y Tortilla de Maíz

La textura de la masa y la tortilla de maíz es afectada por la textura del endospermo, tipo de endospermo, secado, almacenamiento, y sólidos del grano de maíz. Las variedades de maíz cristalino (córneo o vitreo) requieren más altos tiempos de cocimiento que las variedades harinosas. El maíz Opaco-2 con un endospermo de textura muy blanda y con una relativa mayor proporción de almidón-proteína produce masas pegajosas debido al alto grado de gelatinización ocurrido durante el cocimiento alcalino. Una masa pegajosa no es conveniente para

la manufactura de tortillas. El secado y almacenamiento de maíz incrementa los requerimientos de cocimiento significativamente.

En general, las condiciones físicas del grano de maíz afectan las propiedades de la masa. En muchos casos, maíz con más del 4% de grano quebrado puede producir una masa pegajosa a menos que el tiempo de cocimiento sea cambiado. La salida de agua y la gelatinización del almidón en el nixtamal, son relacionadas con las propiedades del grano, afectando la calidad de la masa. Un grano de maíz más cristalino puede tener una menor salida de agua y de gelatinización del almidón que en maíz harinoso (Bedolla, 1982).

Métodos para Medir Textura en Masa de Maíz

La textura puede ser medida por métodos subjetivos y objetivos. Los primeros son difíciles de estandarizar por que la evaluación depende de la percepción sensorial de cada individuo. Para realizar las mediciones texturales objetivas, se utilizan instrumentos que proporcionan resultados numéricos en unidades físicas (kg, m, s) y no dependen del operario. Dentro de los métodos objetivos para medir textura, Ramírez (1989), reportó adhesividad usando el método de compresión y tensión (MCT), y el método de adhesividad mecánica (MAM). En el primero utilizó el método seguido por The General Food

Instrumental Profile. Dos platos planos y lisos de acero inoxidable con un diámetro de 6.9 cm, se acoplan a un texturómetro. El plato superior se fija a una celda de carga de compresión-tensión de 1000 lb, mientras que el plato inferior se une al cabezal el cual se mueve de arriba hacia abajo a una velocidad constante y preestablecida. En el plato inferior se coloca la masa a la que se le medirá su textura. Esta muestra recibirá una fuerza de compresión y una de tensión, que dependiendo de la magnitud de éstas se podrá conocer el tipo de textura que tiene esa masa.

Otro método reportado por este autor para medir textura, utiliza un dispositivo mecánico que mide la pegajosidad de la masa. Este instrumento se compone de dos partes. La primera consiste de dos barras rectangulares hechas de aluminio con superficies planas y lisas. Estas barras miden 25 cm de largo, 1.6 cm de ancho y 1.6 cm de altura. Las placas están sujetas una a la otra en uno de sus extremos por una placa metálica. El extremo opuesto de la placa de arriba es móvil, puede subir y bajar, por medio de un tornillo incrustado en la barra de abajo, la cual es estacionaria. La posición inicial de las barras es en forma paralela, con una separación de 1.2 cm entre ellas (Ramírez, 1989). La segunda parte que forma al dispositivo, es un aparato que sirve para cortar la masa después de que ha sido puesta entre las barras. Este

instrumento consiste en un armazón rectangular hecho de acrílico de 3 mm de espesor, con dimensiones de 30 cm de largo, 1.6 cm de ancho y 1.6 cm de altura; dos cuerdas de guitarra están sujetas al centro de un extremo de la pieza. En el extremo opuesto las cuerdas están fijas una a cada lado en las paredes del aparato. La "v" que se forma funciona como cortador de masa. El dispositivo completo funciona como sigue: primeramente las barras son colocadas en posición horizontal paralelas. Después de una cantidad de masa es moldeada manualmente para formar un cilindro de 15 cm de longitud y 3 cm de diámetro; enseguida se levanta la barra superior para colocar el cilindro en la barra estacionaria. Se baja de nuevo la barra superior a la posición horizontal, comprimiendo la masa. Usando un hilo dental, se cortan las orillas de masa que sale de las barras al ser comprimida, esto forma un block de masa entre las barras. Después, el block se corta parcialmente a lo largo de la sección longitudinal con el cortador de masa. Posteriormente la barra superior se sube lentamente, y una parte de la masa queda adherida a ella. La longitud de la masa pegada en la barra superior dá un índice de textura, y se calcula mediante la siguiente formula:

$$\% \text{ Adhesividad} = \frac{\text{cm de masa adherida}}{15 \text{ cm}} \times 100$$

15 cm

Ramírez (1989), estudió la textura de masas preparadas bajo diferentes condiciones de tiempo de cocción, molienda y contenido de humedad, utilizando los métodos MCT y MAM. Observó que el maíz cocido por 80 min, molido a tamaño de partícula de mediano a grueso sin importar el contenido de humedad, produjeron los más altos valores de adhesividad y los más bajos valores de dureza. Estas masas tuvieron problemas de pegajosidad cuando fueron manejadas con los rodillos formadores de tortillas. Por otro lado, las masas producidas con maíz cocido por 20 min, con grado de molienda de mediano a grueso y con su contenido de humedad original, dieron como resultado los más bajos valores de adhesividad y los más altos valores de dureza. Estas masas fueron difíciles de manejar con los rodillos formadores debido a su baja adhesividad, produciendo tortillas duras.

El nixtamal cocido por 55 min, molido a tamaño de partícula mediano y contenido de humedad de 55%, dieron los más apropiados valores de adhesividad para ambos métodos de evaluación de textura utilizados.

El método de adhesividad mecánica (MAM) resulta económico, ya que requiere solo de 175 g de muestra y aproximadamente 12 min por prueba. Además, el aparato puede ser construido fácilmente. Sin embargo, este método tiene la

desventaja de que dá como resultado una adhesividad empírica, la cual es más sensitiva al contenido de humedad de la masa que a las variables de proceso.

El método de compresión y tensión (MCT), mide tres propiedades texturales: adhesividad, dureza y el factor de compresión y tensión reportándolas en unidades científicas. El MCT, es sensitivo a las condiciones del proceso tales como tiempo de cocción y grado de molienda. Sin embargo, esta prueba resulta más costosa que el MAM debido al alto costo del texturómetro que se utiliza para llevarla a cabo.

El factor de compresión y tensión se define como la razón de la fuerza máxima de compresión y la fuerza máxima de tensión aplicada a la masa. Las masas con altos valores de FCT resultan de masas pegajosas. El rango óptimo de FCT se encuentra entre 2.4 y 2.7 (Ramírez, 1989).

Gracia y Silva (1992), midieron la textura en masas producidas a diferentes tiempos de cocción y concentración de cal. Se observó que la adhesividad fue afectada por las condiciones del proceso antes mencionadas. A más altos porcentajes de cal utilizados para la nixtamalización se obtuvieron los valores mayores de adhesividad. Se encontró que la adhesividad permanece casi igual para los tiempos de

cocción de 35 y 50 min, pero ésta se incrementa notablemente al aumentar el tiempo de cocimiento (65 min).

Métodos para Medir Textura en Tortillas de Maíz

Las principales propiedades texturales de la tortilla de maíz que se han medido para un buen control de calidad de las mismas, son la firmeza y la rollabilidad. Un método para evaluar la firmeza en tortillas es la celda de Kramer adaptada a un texturómetro. Este método consiste en medir el esfuerzo máximo necesario para romper un pedazo de tortilla de área conocida. El diseño de la celda de Kramer simula la acción de masticación humana (Kramer, 1973).

El procedimiento consiste en cortar una pieza de área conocida del centro de una tortilla, y se coloca dentro de la celda de Kramer. Después se hace bajar el cabezal del texturómetro, aplicándose una compresión uniaxial. Se registra la fuerza requerida para romper la tortilla, obteniéndose una curva de deformación y ruptura por el graficador del texturómetro. Para llevar cabo esta evaluación se emplea una celda de carga, una velocidad de cabezal y una velocidad de carta previamente establecidas. Así, de las curvas obtenidas se calcula la fuerza máxima como la altura del pico y el trabajo requerido para romper la muestra como el área bajo la curva.

La rollabilidad de la tortilla es otra prueba donde se mide el grado de flexibilidad de la misma. La evaluación consiste en cortar tiras de tortilla de 2 cm de ancho para después enrollarlas por separado en un rodillo de madera de 2 cm de diámetro. Una vez enrolladas las tiras se observa el grado de agrietamiento de las tortillas. Se utiliza una escala de 1 a 5 para calificar la rollabilidad; donde 1 significa que la tortilla se rompe totalmente y es de pobre calidad en cuanto a textura se refiere. Un valor de 3 nos indica que existió una ruptura parcial y 5, la tortilla es muy flexible o rollable, no se rompe (Torres y McDonough, 1986).

Ramírez (1989), encontró que la firmeza y rollabilidad en tortillas de maíz se ve afectada por condiciones de proceso tales como tiempo de cocción, y contenido de humedad. También observó que al cabo de un periodo 2 a 24 h de elaboradas las tortillas, la firmeza aumenta considerablemente. Después de 48 h de almacenamiento, la firmeza aumenta para todas las condiciones del proceso. En este tiempo la rollabilidad de las tortillas es mayor en aquellas que alcanzan más altos contenidos de humedad.

Gracia y Silva (1992), estudiaron como es afectada la firmeza, dependiendo de la cantidad de cal y el tiempo de cocción durante el proceso. Observaron un incremento considerable de esta propiedad durante las primeras 24 h de almacenamiento, a tiempos de cocción de 35 min y 65 min.

MATERIALES Y METODOS

Materia Prima

Se utilizó maíz blanco cosechado recientemente en el estado de Sonora, y el cual es empleado en tortillerías de la localidad. El maíz fue limpiado utilizando un limpiador (Marca Clipper, Modelo M2BC).

Proceso de Obtención de la Masa y la Tortilla

La obtención del nixtamal se llevo a cabo en la planta piloto con que cuenta el Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos (DIPA) de la Universidad de Sonora, mientras que la masa y la tortilla se obtuvieron en una tortilleria comercial de la localidad. La Fig. 2 presenta el proceso que se utilizó para preparar la tortilla.

Se emplearon lotes de 20 kg de maíz, los cuales se nixtamalizaron a diferentes tiempos de cocimientos (25, 45 ó 65 min). El objetivo fue obtener masas con diferente textura (poco cocidas, óptimamente cocidas y sobrecocidas). La concentración de cal fue del 1% (en base al peso de maíz) y la cantidad de agua utilizada fue de 60 litros (relación 3:1,

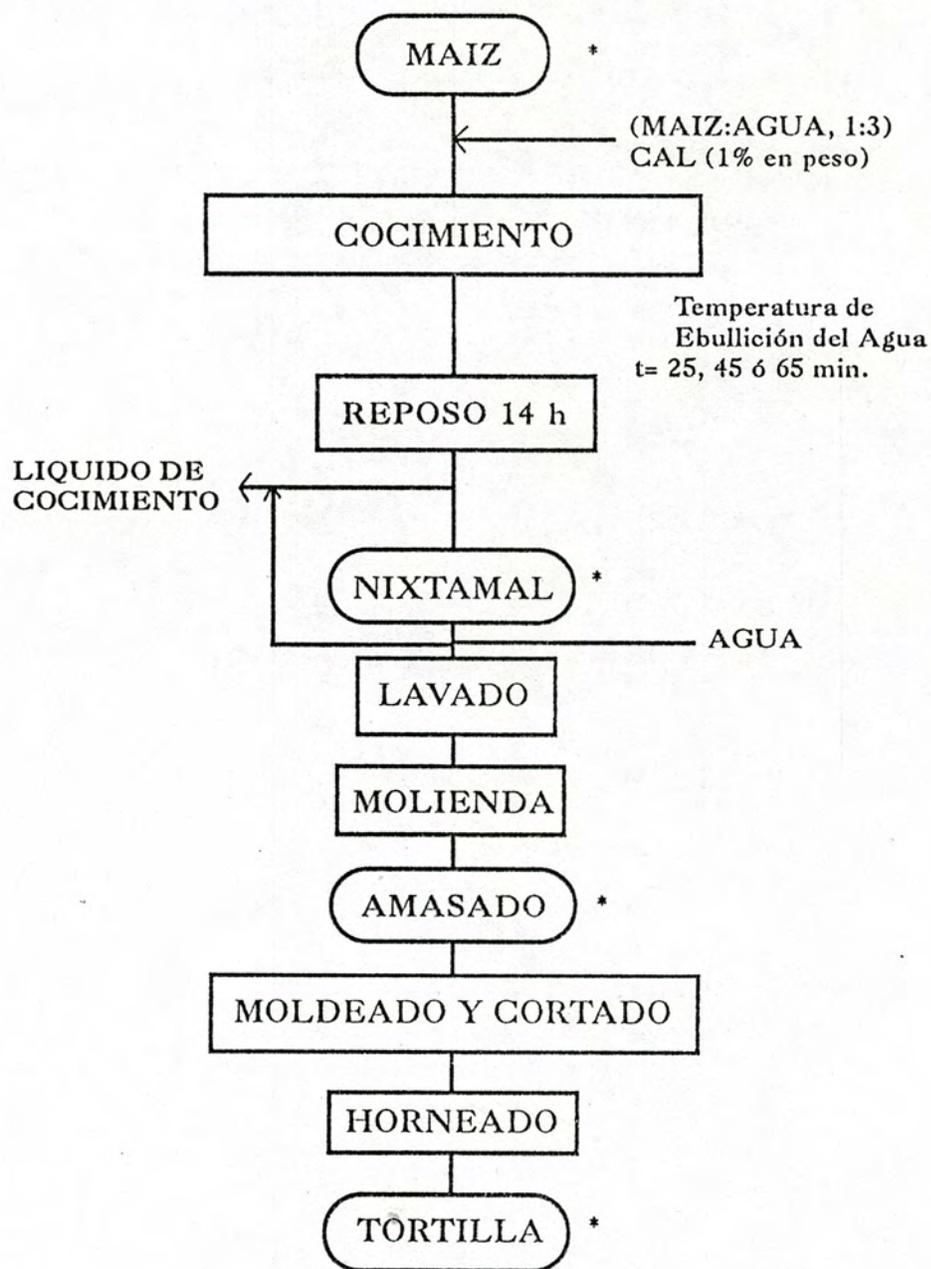


Figura 2. Proceso utilizado en la elaboración de la tortilla de maíz.

agua-maíz). La temperatura de cocimiento del maíz fue la de ebullición del agua. Una vez cocido, el maíz se dejó reposar durante 14 h a temperatura ambiente. Al cabo de este tiempo se hizo una separación del líquido de cocimiento (al cual se le determinó sólidos totales), y el nixtamal. El grano cocido fue lavado dos veces con 20 litros de agua en cada ocasión para eliminar exceso de cal, pericarpio y germen. El agua de lavado fue agregada al nejayote para determinar la pérdida de sólidos. El nixtamal lavado se llevo a una tortillería comercial y se molió en un molino de piedra volcánica de 10 HP y se obtuvo la masa. En esta operación se le adicionó agua para evitar el sobrecalentamiento provocado por la fricción de las piedras. Posteriormente la masa fue amasada en una mezcladora de 3/4 HP esto con la finalidad de darle mejores características de cohesividad. La masa se colocó en la tolva de la tortilladora comercial en donde pasó a través de un tornillo sin fin para ser extruída. Después pasó a través de unos rodillos para ser moldeada y cortada y así obtener discos delgados de masa. Estos fueron cocidos en un horno de 3 pasos cuyas temperaturas fueron de 324°C, 302°C y 244°C, respectivamente. El tiempo de residencia de la tortilla fue de 35 s. Las tortillas obtenidas fueron extendidas sobre una mesa para que se equilibrarán a la temperatura y la humedad relativa ambiente. Posteriormente fueron empacadas en bolsas de polietileno.

Recolección y Manejo de las Muestras

Las muestras que se colectaron durante el proceso de elaboración de la tortilla en cada uno de los tratamientos fueron nixtamal, masa, tortilla, nejayote y aguas de lavado (ambos se juntaron y se homogenizaron). Dependiendo el tipo de evaluación fue el tipo de almacenamiento que se le dió a cada muestra.

Nejayote. Se colectaron los sólidos del nejayote y aguas de lavado (esto después de secarse), para así someterse a molienda y almacenarlo en bolsas de polietileno a temperaturas de refrigeración.

Maíz. Se colectó una sola ocasión en bolsas de polietileno y se guardó a temperatura de congelación. Una parte fue utilizada para pruebas de humedad y pH, el resto se guardó para análisis químicos posteriores.

Nixtamal. Se tomaron muestras en fresco para determinar humedad y pH, se almacenó a temperaturas de congelación en bolsas de polietileno para análisis químicos posteriores.

Masa. Se dejó reposar hasta alcanzar su temperatura ambiente. Posteriormente se procedió a la realización de pruebas texturales y se colectó muestras en fresco para determinación

de humedad y pH. Se almacenaron en bolsas de polietileno a temperatura de congelación para análisis químicos posteriores.

Tortilla. Al igual que la masa se dejó reposar hasta alcanzar su temperatura ambiente. A las muestras en fresco se les determinó pH y humedad, también se realizó pruebas texturales y se almacenó en bolsas de polietileno a temperaturas de congelación para análisis químicos posteriores.

Determinaciones de Textura

En masa

La textura de las masas se evaluó 2 h después de haberse elaborado. Para la evaluación textural de la masa, se utilizó el método de compresión y tensión (MTC) reportado por Ramírez y Col. (1993).

Método de Compresión y Tensión (MTC). Este método requiere del uso de un texturómetro (Marca Instron, Modelo 1131) en donde dos platos de acero planos y lisos fueron conectados al texturómetro de tal forma que quedaron centrados al plato superior con respecto al inferior. Esto se realizó una vez que el texturómetro fue calibrado con una celda de tensión y compresión con capacidad de 500 kg. La prueba consistió en tomar una muestra de 4.5 g y moldearla en un anillo de PVC

para obtener un disco de masa uniforme de 2.9 cm de diámetro y 0.6 cm de altura. El disco de masa se colocó entre los platos planos donde fue comprimido hasta obtener un espesor de 2 mm. Inmediatamente después, el plato superior regresó a su posición original. Tanto la fuerza de compresión como la de tensión se registraron originando dos curvas: una en la dirección positiva (compresión), y la otra en dirección negativa (tensión). De esta forma se obtuvieron tres propiedades texturales de la masa: adhesividad (N-m), dureza ($N.m^{-2}$) y el factor de compresión y tensión (FCT). Las velocidades de cabezal y carta utilizados en el texturómetro fueron de 5 y 100 ($cm.min^{-1}$), respectivamente.

En Tortilla

Las mediciones texturales en la tortilla se realizaron a las 2, 24 y 48 h después de haberse elaborado la tortilla de maíz. Entre los métodos que se utilizaron están los siguientes:

Rollabilidad. Esta prueba tiene la finalidad de conocer que tan flexibles fueron las tortillas obtenidas de los diferentes tratamientos. Para ello se cortaron tiras de tortilla de 2 cm de ancho y se enrollaron en un cilindro de madera de 2 cm de diámetro. Dependiendo del número de rupturas que presentó la

tortilla fue el grado de flexibilidad. Se utilizó la escala de 5 si no sufría ninguna ruptura, 3 si la tortilla se rompía parcialmente y 1 si se rompía totalmente (Torres, 1988).

Firmeza. Para realizar esta evaluación se utilizó la celda de Kramer, que consiste de un dispositivo adaptado a un texturómetro (Marca Instron, Modelo 1131). Este dispositivo simula la masticación que se efectúa al comer la tortilla. Este método consistió en medir la fuerza requerida para romper un pedazo de tortilla de área conocida. Se cortó una pieza del centro de la tortilla y se colocó en una caja rectangular con que cuenta la celda de kramer y bajando el cabezal del texturómetro, se aplicó una compresión uniaxial que registró la fuerza requerida para romper la tortilla. Una vez realizada la prueba, el texturómetro registró una curva en la que la altura del pico es la fuerza máxima que se aplicó a la tortilla para poder romperla y el área bajo la curva es el trabajo requerido para romperla. Esta prueba se llevó a cabo en los mismos tiempos que la prueba de rollabilidad. La firmeza fue calculada como el esfuerzo máximo requerido para romper la tortilla. La firmeza, se corrigió por el espesor de la tortilla.

Determinaciones Físicas de la Tortilla

Las mediciones físicas que se realizaron a las tortillas de maíz obtenidas en cada uno de los tratamientos fueron las siguientes:

Peso. En esta prueba se tomaron 10 tortillas de cada tratamiento y se registró el peso en gramos para cada una de ellas.

Diámetro. Al igual que en la prueba anterior, se tomaron 10 tortillas y se les midió su diámetro con una regla graduada en cm. Esto se hizo, midiendo dos veces el diámetro de cada tortilla en forma perpendicular obteniendo finalmente un valor promedio de ambos.

Espesor. A las mismas tortillas de las mediciones anteriores se les midió su espesor con la ayuda de un vernier, obteniendo un valor en cm.

Determinaciones Analíticas

Preparación de las Muestras

Las muestras de grano, nixtamal, masa y tortilla que se almacenaron a temperatura de congelación fueron secadas en un

tunel de aire caliente (S/M) a 60°C durante 4 h. Posteriormente se molieron en un molino de café y se guardaron en bolsas de polietileno a temperaturas de congelación.

Para el caso del nejayote y el agua de lavado, se tomaron muestras de 200 ml y se secaron en un horno de convección a una temperatura de 105°C. Posteriormente los sólidos totales obtenidos fueron molidos y almacenados de la misma manera que las muestras anteriores.

Determinación de pH

El pH se les midió a las muestras frescas de nejayote, nixtamal, masa y tortilla obtenidas en cada uno de los tratamientos. Al maíz colectado inicialmente también se le determinó pH.

Para el caso del nejayote, se tomó una muestra líquida de 10 g, se colocó en un vaso de precipitado conteniendo 100 ml de agua destilada recientemente hervida y a temperatura ambiente. La mezcla fue agitada con una varilla de vidrio y se le midió el pH con un potenciómetro (Marca Corning, Modelo 2000 Plus), previamente calibrado con soluciones buffer de pH=7 y pH=10 (AOAC, 1986).

Las muestras de nixtamal, masa y tortilla primero fueron molidas en un molino de café para tomar los 10 g requeridos para la medición, y luego fueron tratadas de la misma manera que el nejayote.

Pérdida de Sólidos Totales

Para esta determinación se llevo a cabo una homogenización del contenido de sólidos de las muestras de nejayote y agua de lavados. Se tomaron 3 alícuotas de 200 ml en vasos previamente tarados y se evaporó hasta sequedad en una estufa de convección (Marca Blue M, Modelo OV-490A-2) a 105°C. La Cuantificación de sólidos totales se realizó por medio de pérdida de peso (AACC, 1991).

Índice de Absorción de Agua (IAA)

Esta prueba se llevo a cabo en las diferentes masas obtenidas en los diferentes tratamientos, las cuales previamente fueron secadas y molidas. La técnica utilizada fue la propuesta por Anderson y Col. (1969).

En un tubo de 50 ml se colocó 1 g de muestra y se adicionó 15 ml de agua destilada. La suspensión se agitó durante 30 min seguida de una centrifugación a 5000 rpm durante 30 min. El sobrenadante fue colocado en un platillo de aluminio previamente tarado, y se colocó en una estufa de

convección (Marca Blue M, Modelo OV-490A-2) a 105°C. El peso del gel fue tomado como aquel del precipitado, y el IAA fue calculado como:

$$\text{IAA} = (\text{g de gel} - \text{g de muestra seca}) / \text{g muestra seca}$$

El IAA fue expresado en g de agua por g de muestra seca.

Indice de Material Soluble (IMS)

Al igual que la determinación anterior, esta prueba se llevo a cabo únicamente en la masa obtenida de cada tratamiento. El IMS se obtuvo de la relación que existe entre la muestra seca del sobrenadante (utilizado para determinar IAA) y la cantidad de muestra seca total.

Análisis Químico

Se efectuó un análisis químico a las muestras secas y molidas de maíz, nixtamal, masa y tortilla de maíz de acuerdo a los métodos propuestos por la A.A.C.C. (1991). En este análisis químico se determinó proteína (método 46-12) y humedad (método 44-40). Para el grano de maíz también se determinó grasa (método 30-20) y ceniza (método 08-03).

Caracterización de las Proteínas

Muestras

Las muestras empleadas para llevar a cabo estas determinaciones fueron las de nejayote (sólidos totales), maíz, nixtamal, masa y tortilla que se habían molido y almacenado y previamente descritas en la sección de preparación de muestras.

Fraccionación en Base a la Solubilidad

La fraccionación de las proteínas fue hecha de acuerdo al método reportado por Paulis y Col., (1975), y Paulis y Wall, (1979) con ligeras modificaciones.

Se colocaron en un tubo de plástico (50 ml) 1.5 g de muestra en base seca y 9 ml de NaCl 0.5 M. Luego se agitó durante 2 h con un agitador (Marca Wrist-Action, Modelo DD) dentro del cuarto frío a 4°C y se centrifugó durante 20 min a 10 000 rpm. El sobrenadante se colectó y el precipitado se sometió al mismo tratamiento que la muestra original, excepto que el tiempo de agitación fue de 1 h. Los sobrenadantes obtenidos fueron la fracción de albúmina y globulina (fracción I) la cual se almacenó a 4°C. Al precipitado obtenido de estas

extracciones se le adicionó 9 ml de alcohol terbutílico al 60%, se agitó por 2 h a temperatura ambiente y se centrifugó por 20 min. El sobrenadante obtenido en esta etapa se guardó bajo condiciones de refrigeración. El precipitado fue tratado igual que el anterior excepto que la agitación duró 1 h. Los sobrenadantes fueron fracción prolamina (fracción II) y se almacenaron a 4°C.

El precipitado originado de la extracción anterior se le agregó 9 ml de alcohol terbutílico al 60% y β -ME al 2%, las condiciones de agitación y centrifugación fueron las mismas que se mencionaron anteriormente. Los sobrenadantes que se obtuvieron comprenden la fracción de gluteninas reducidas (fracción III). Las condiciones de almacenamiento fueron las mismas que las fracciones anteriores. Al precipitado se le adicionó 9 ml de buffer Tris, SDS al 2% y β -ME al 5% y se colocó en un baño de agua (Marca Precision GCA) a 50°C por 2 h. Después se centrifugó a 10 000 rpm durante 20 min y el sobrenadante se guardó. El precipitado se trató igual a excepción del tiempo que duró en el baño de agua que fue de 1 h. Los sobrenadantes obtenidos fueron la fracción glutelina (fracción IV) que se almacenó igual que las fracciones obtenidas anteriormente.

Cuantificación de Proteína Soluble

La concentración de proteína en los sobrenadantes obtenidos de la fraccionación anterior fue determinada usando el método de Lowry modificado por Hartree (1972). El método consistió en el siguiente procedimiento:

En un tubo de ensayo se colocaron alícuotas de las fracciones proteicas obtenidas y se ajustaron a un volumen de 1 ml con agua. Se les adicionó 0.9 ml de una Solución A (2 g tartrato de sodio y potasio y 100 g de Na_2CO_3 fueron disueltos en 500 ml de NaOH 1 N y diluidos en agua a 1 litro). Después las muestras se colocaron en un baño de agua a 50°C por 10 min. Pasado ese tiempo, se sacaron del baño de agua y se dejaron enfriar a temperatura ambiente. Enseguida se les agregó 0.1 ml de una Solución B (2 g tartrato de sodio y potasio y 1 g de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ fueron disueltos en 90 ml de agua y 10 ml de NaOH 1 N) para continuar con un reposo de 10 min a temperatura ambiente. Luego se les adicionó 3 ml de una Solución C (1 ml Reactivo de Folin más 15 ml de agua), y se colocaron nuevamente en un baño de agua a 50°C por 10 min y se dejaron enfriar a temperatura ambiente. Finalmente, las muestras fueron leídas en un Colorímetro (Marca Spectronic, Modelo 21) usando una longitud de onda de 650 nm obteniéndose los resultados en absorbancia. Para elaborar la curva estándar se utilizó seroalbúmina y se siguió el mismo procedimiento.

Electroforesis en Gel

Alícuotas de las fracciones de proteínas fueron sometidas a electroforesis bajo condiciones disociantes siguiendo el método de Laemmli (1970). Las electroforesis se llevaron a cabo en un gel hecho a base de acrilamida. Este gel consistió de dos partes dependiendo de la concentración de acrilamida; la parte principal, en donde se separan las proteínas, fue formada de un gel de 10% de acrilamida; la segunda parte, llamada de retención, consistió de un gel conteniendo 4% de acrilamida.

Después de elaborar el gel, este se colocó en un buffer apropiado (3 g de tris, 14.4 g de glicina, 10 ml de una solución de dodecil sulfato de sodio al 5% y agua hasta aforar a 1 litro) preparado previamente. Las proteínas en solución se aplicaron en el gel de retención por medio de una jeringa con graduación en microlitros. Después de haber aplicado las alícuotas de las distintas fracciones de proteínas, se aplicó una corriente eléctrica de 200 V. Al cabo de aproximadamente 40 min la separación electroforética se llevo a cabo. Después de transcurrir ese tiempo, el gel se recuperó y se colocó en una solución de azul de Coomassie (1.25 g de azul de Coomassie R250, 500 ml de metanol y 100 ml de ácido acético en un volumen final de 1 litro) el cual tiñe las proteínas separadas. El colorante no unido a las proteínas fue removido

del gel utilizando una solución decolorante (70 ml de ácido acético, 50 ml de metanol y 880 ml de agua) hasta que las bandas de las proteínas fueron visibles.

Diseño de Experimentos y Análisis Estadístico

Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar donde el único factor fue el tiempo de cocimiento con tres niveles: 25, 45 y 65 min. La unidad experimental que se usó fueron los 20 kg de maíz. Las variables respuestas fueron todas aquellas determinaciones llevadas a cabo. Cada tratamiento fue realizado por duplicado y se aleatorizaron. Los bloques fueron los tratamientos llevados a cabo en diferentes días.

Los datos obtenidos del experimento se analizaron con análisis de varianza y se obtuvieron sus niveles de significancia (valor de p). Una prueba estadística fue llamada estadísticamente no significativa (NS) cuando $p > 0.05$ (v. gr., la hipótesis nula (H_0) no fue rechazada cuando $p > 0.05$). Por otra parte, H_0 fue rechazada cuando $p < 0.05$, siendo el resultado significativo (*) si $0.01 < p < 0.05$, y altamente significativo (**) si $p < 0.01$.

Para observar diferencias entre tratamientos específicos, se usó la prueba de Tukey. Además se calcularon coeficientes de correlación simple (r) cuando fue necesario. El análisis estadístico fue llevado a cabo usando el paquete computacional estadístico SAS (SAS Institute Inc., Raleigh, N. C.).

RESULTADOS Y DISCUSION

Análisis Químico Proximal

Este análisis se llevo a cabo únicamente en el grano de maíz. Los valores obtenidos para éstas determinaciones fueron: grasa 3.11%, ceniza 1.1%, proteína 9.51% y humedad 9.42%, todos en base seca. Estos valores coinciden con los reportados en la literatura.

Determinaciones de pH

Para ver el efecto del tiempo de cocimiento alcalino sobre el pH de los productos del proceso de la tortilla, se llevo a cabo un análisis de varianza (ANDEVA) (Tabla 3). El tiempo de cocimiento afectó significativamente ($p < 0.05$) el pH del nejayote y de la masa; mientras que la tortilla fue afectada muy significativamente ($p < 0.01$).

La Tabla 4 muestra el efecto del tiempo de cocimiento sobre el pH de los productos obtenidos del proceso de la tortilla de maíz. Se observa que ha medida que aumenta el tiempo de cocimiento el pH del nejayote disminuye ligeramente. En el nixtamal no se encontró cambios significativos, obteniendose un valor promedio de 8.1. En la masa se obtuvo un pH menor a tiempo de cocimiento de 25 min, mostrando un ligero

Tabla 3. Análisis de varianza, cuadrados medios, del pH de los productos obtenidos durante el proceso de elaboración de la tortilla de maíz.

Fuente de Variación	G.L.	Nejayote	Nixtamal	Masa	Tortilla
Bloque	1	0.49** ^c	0.01NS ^a	5.22*	0.017NS
Tiempo de Cocimiento	2	0.067* ^b	0.05NS	4.20*	0.43**
Error	8	0.014	0.022	0.54	0.027

^aNS= No significativo a un nivel de 0.05 ($p > 0.05$).

^b*= Significativo a un nivel de 0.05 ($p < 0.05$).

^c**= Significativo a un nivel de 0.01 ($p < 0.01$).

Tabla 4. Efecto del tiempo de cocimiento sobre el pH de los productos obtenidos del proceso de la tortilla de maíz^a.

Tiempo de Cocimiento (min)	Nejayote	Nixtamal	Masa	Tortilla
25	11.4a	7.9a	5.5b	7.7b
45	11.3ab	8.2a	7.6a	8.3a
65	11.1b	8.1a	6.6ab	7.9b
Promedio General	11.3	8.1	6.6	8.0

^aDentro de una columna, las medias con la misma letra no son significativamente diferentes a un nivel de 0.05 ($p > 0.05$).

aumento de pH al aumentar el tiempo de cocimiento. La tortilla registró diferencias significativas entre los tratamientos, observándose un valor mayor a tiempo de cocimiento de 45 min.

En estudios realizados por Gracia y Silva (1992), utilizaron tiempos de cocimiento en la nixtamalización de 35, 50 y 65 min. Al igual que en esta investigación, tuvieron valores semejantes de pH en los tiempos de 35 y 50 min de cocimiento, pero al aumentar el tiempo de cocimiento a 65 min, el pH tuvo una ligera disminución.

El pH obtenido en el nejayote pudo deberse a que al aumentar el tiempo de cocimiento el grano de maíz absorbió más cal (compuesto que le está dando el carácter alcalino), ya que hubo un mayor daño de este; de esta forma la concentración de cal en el líquido de nejayote disminuyó, reflejándose esto en el pH. En el pH del nixtamal no se observaron diferencias significativas, posiblemente a que al grano se le dieron dos lavados y esto provocó la eliminación del exceso de cal y consecuentemente se obtuvieron los mismos resultados de pH. En cuanto al pH de la masa dió valores abajo de 7, cosa que no debería haber sucedido por el carácter alcalino del proceso. Sin embargo, el poco cuidado higiénico que se tiene en las plantas comerciales pudo haber provocado que la proliferación

de microorganismos productores de ácidos orgánicos disminuyeran el pH de la masa; ya que esta determinación se realizó 2 o 3 h después de elaborarse el producto.

Pérdida de Sólidos

La Tabla 5 muestra el análisis de varianza de los sólidos totales obtenidos a diferentes tiempos de cocimiento. La pérdida de sólidos fue afectada muy significativamente ($p < 0.01$) por el tiempo de cocimiento.

En la Fig. 3 se puede observar el efecto del tiempo de cocimiento sobre los sólidos totales cuantificados en el nejayote y agua de lavado de cada tratamiento. A tiempos de cocimiento de 25 y 45 min, el % en pérdida de sólidos fue muy semejante, sin embargo, al aumentar el tiempo de cocimiento a 65 min se vió un incremento considerable en el % en pérdida de sólidos. Esto se puede deber a que a mayor tiempo de exposición del grano en el licor de cocimiento crea un mayor daño al pericarpio del grano permitiendo una salida mayor de materia sólida.

En estudios realizados por Gracia y Silva (1992), encontraron que a tiempos de cocimiento de 65 min y una concentración de cal de 3% (es decir, las condiciones más drásticas), obtuvieron las mayores pérdidas de sólidos.

Tabla 5. Análisis de varianza, cuadrados medios, de los sólidos totales obtenidos a diferentes tiempos de cocimiento.

Fuente de Variación	G.L.	Sólidos Totales
Bloque	1	0.33** ^a
Tiempo de Cocimiento	2	0.86**
Error	14	0.020

^a**= significativo a un nivel de 0.01 ($p < 0.01$).

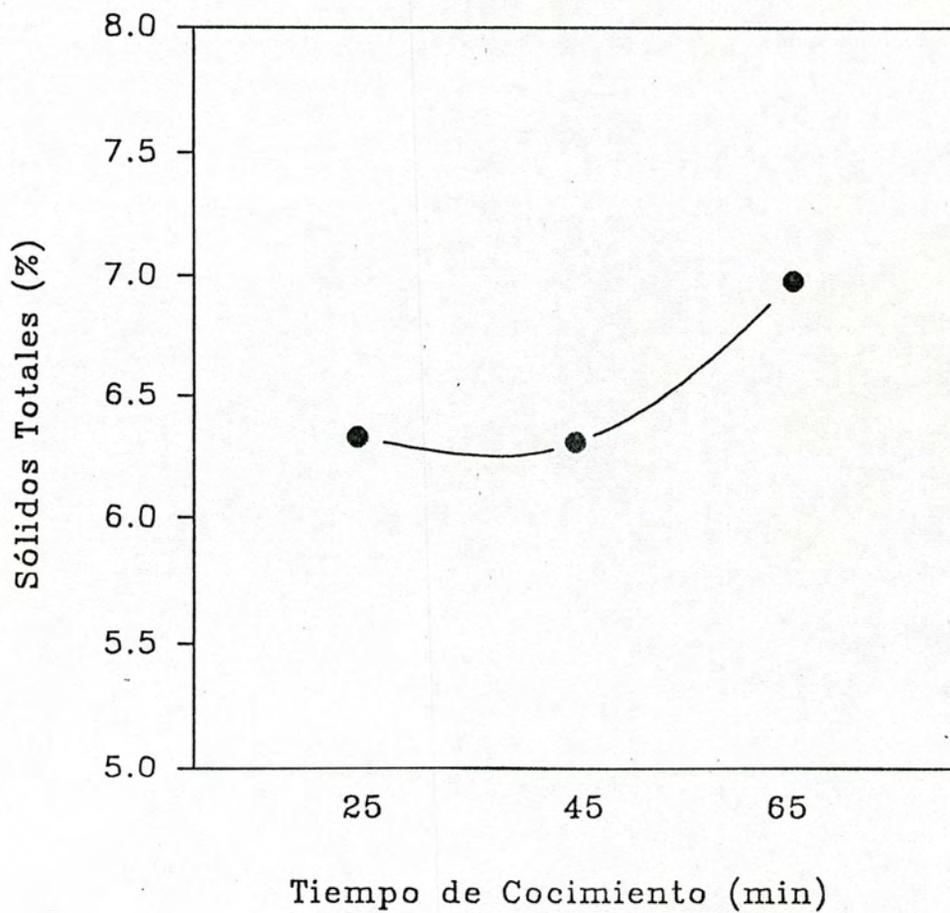


Figura 3. Efecto del tiempo de cocimiento sobre la pérdida de sólidos totales.

También, Ramírez (1989), encontró que incrementando el tiempo de cocimiento de 20 a 80 min, la pérdida de sólidos incremento de 6.7% a 8.9%, respectivamente. Estos resultados coinciden con los obtenidos en esta investigación y pudieran ser un reflejo de los cambios químicos y físicos ocurridos dentro del grano. Por otro lado, entre mayor pérdida de sólidos exista en el proceso, también son mayores pérdidas económicas y mayor contaminación ambiental. Esto último debido a que el material sólido que se va en el nejayote, básicamente es material orgánico.

Humedad de los Productos

El análisis de varianza (ANDEVA) de la humedad del nixtamal, masa y tortilla se presenta en la Tabla 6. El tiempo de cocimiento afectó muy significativamente ($p < 0.01$) a la humedad del nixtamal y a la tortilla, mientras que la humedad de la masa no se afectó significativamente ($p > 0.05$).

Nixtamal

En la Tabla 7 se puede apreciar el efecto del tiempo de cocimiento sobre la humedad del nixtamal, masa y tortilla. En lo que respecta a la humedad del nixtamal, esta se incrementó ligeramente a medida que aumentaba el tiempo de cocimiento.

Tabla 6. Análisis de varianza, cuadrados medios, de la humedad de los productos obtenidos en la elaboración de la tortilla a diferentes tiempos de cocimiento.

Fuente de Variación	G.L.	Producto		
		Nixtamal	Masa	Tortilla
Bloque	1	12.72** ^b	6.74NS ^a	147.75**
Tiempo de Cocimiento	2	8.97**	7.67NS	64.20**
Error	20	0.88	4.00	4.70

^aNS= No significativo a un nivel de 0.05 ($p > 0.05$).

^b**= Significativo a un nivel de 0.01 ($p < 0.01$).

Tabla 7. Efecto del tiempo de cocimiento sobre la humedad de los productos obtenidos en la elaboración de la tortilla^a.

Tiempo de Cocimiento (min)	Humedad (%)		
	Nixtamal	Masa	Tortilla
25	45.50b	52.31a	38.36b
45	45.59b	51.27a	40.16b
65	47.18a	53.22a	43.92a
Promedio General	46.09	52.27	40.81

^aDentro de una columna, las medias con la misma letra no son significativamente diferentes a un nivel de 0.05 ($p > 0.05$).

En este estudio se encontró como promedio general de humedad en el nixtamal de 46.09%, siendo este valor muy semejante al encontrado por otros investigadores tales como Bedolla y Rooney (1982), los cuales determinaron que la humedad óptima del nixtamal para elaborar la mejor tortilla era de 46%. Otros estudios realizados por Rooney y Serna-Saldivar (1987), y Ramírez (1989), encontraron que ésta humedad se encuentra en el rango de 50 a 52%.

Masa

En esta misma Tabla 7 se observa el efecto del tiempo de cocimiento sobre la humedad de la masa. El tiempo de cocimiento no afectó significativamente ($p > 0.05$) la humedad de la masa. Esto se puede deber a que durante la molienda, la persona encargada de la elaboración de la masa tuvo que agregar agua para evitar el calentamiento de las piedras; y así de ésta forma guiándose solamente por el sentido del tacto le dió a la masa la misma humedad para los diferentes tiempos de cocimiento. Este aspecto es muy importante desde el punto de vista práctico, ya que a nivel comercial, en México, no importa el tiempo de cocimiento a que se someta el maíz, el operador del molino ajusta empíricamente la masa a una misma humedad, como fue demostrado en ésta investigación. En éste estudio se obtuvo un promedio de 52.27% de humedad en la masa obtenida en los diferentes tiempos de cocimiento. El contenido

de humedad reportado por Rooney y Serna-Saldivar (1987), Ramírez (1989) y Ortega (1992), fueron en el rango de 42.9 y 56%, respectivamente. A su vez Rooney y Col. (1990), encontraron que el contenido de humedad de masas para producción de tortilla se encuentra entre 52 y 55%.

Tortilla

El efecto que tuvo el tiempo de cocimiento sobre el nixtamal, fue el mismo que tuvo sobre la tortilla. A medida que se incrementó el tiempo de cocimiento la humedad aumentó en la tortilla. En estudios realizados por Ramírez, (1989); y Ortega, (1992) obtuvieron una humedad promedio de la tortilla de 42.9%, mientras que en ésta investigación fue de 40.81%.

Aunque es apreciable (Tabla 7) que la humedad de la masa no tuvo diferencias significativas con los tiempos de cocimiento, se observa que la mayor humedad de la masa fue alcanzada cuando se sometió a tiempos de cocimiento de 65 min. Asimismo, la tortilla mostró un valor mayor de humedad a un tiempo de cocimiento de 65 min, aunque la humedad de la masa fue igual para todos los tiempos de cocimiento. Cuando se obtuvo la tortilla, en esta se reflejó las condiciones de nixtamalización del grano y no la de la masa, ya que su humedad fue similar a la del grano cocido.

Indice de Absorción de Agua (IAA)

En la Tabla 8 se presenta el ANDEVA del IAA y del IMS de las masas obtenidas en los diferentes tratamientos. El tiempo de cocimiento afectó muy significativamente ($p < 0.01$) tanto al IAA como al IMS.

La Tabla 9 muestra el efecto del tiempo de cocimiento sobre el IAA y el IMS de la masa. A tiempos de cocimiento de 25 y 45 min los valores de IAA son muy semejantes y no mostraron diferencias significativas, mientras que a 65 min se obtuvo el valor mayor del IAA. El IAA predice la producción de tortillas para una cierta harina de maíz. A valores más altos de IAA, la producción de tortilla es mayor (Bedolla y Rooney, 1984). Esto significa que masas obtenidas a mayores tiempos de cocimiento, producirán un mayor rendimiento de tortilla debido al incremento en su IAA.

Indice de Material Soluble (IMS)

El IMS mostró diferencias significativas en cada uno de los tiempos de cocimiento, a medida que aumentó el tiempo de cocimiento disminuyó el IMS. La disminución del IMS con el tiempo de cocimiento se pudiera deber a que el grano de maíz se pone más blando al incrementar el tiempo de cocimiento. Esto hace que durante la molienda, la fricción entre el nixtamal y las piedras volcánicas sea menor, provocando menos

Tabla 8. Análisis de varianza, cuadrados medios, del IAA y del IMS de la masa obtenida a diferentes tiempos de cocimiento^a.

Fuente de Variación	G.L.	IAA	IMS
Bloque	1	0.031** ^b	2.74**
Tiempo de Cocimiento	2	0.096**	8.01**
Error	14	0.013	0.148

^a IAA= Índice de Absorción de Agua, IMS= Índice de Material Soluble.

^b **= Significativo a un nivel de 0.01 ($p < 0.01$).

Tabla 9. Efecto del tiempo de cocimiento sobre el IAA y el IMS de la masa^{ab}.

Tiempo de Cocimiento (min)	IAA (g agua/g muestra seca)	IMS (%)
25	1.95b	6.35a
45	1.97b	4.79b
65	2.18a	4.10c
Promedio General	2.03	5.08

^aIAA= Índice de Absorción de Agua, IMS= Índice de Material Soluble.

^bDentro de una columna, las medias con la misma letra no son significativamente diferentes a un nivel de 0.05 ($p > 0.05$).

producción de material soluble en la masa. En cambio a tiempos de cocimiento cortos (25 min) el grano está mas duro y cuando se muele hay mas fricción lo que se ve reflejado en un aumento de la temperatura de la masa.

Características Físicas de la Tortilla

La Tabla 10 presenta el ANDEVA de las características físicas (diámetro, espesor y peso) de la tortilla obtenida a diferentes tiempos de cocimiento. Se observa que el tiempo de cocimiento afectó muy significativamente ($p < 0.01$) al diámetro de la tortilla, mientras que el espesor y peso no mostraron diferencias significativas ($p > 0.05$).

La Tabla 11 muestra el efecto del tiempo de cocimiento sobre el diámetro, espesor y peso de la tortilla. El diámetro disminuyó a tiempo de cocimiento de 65 min, a 25 y 45 min fueron muy semejantes sin mostrar diferencias significativas. El espesor y peso fue muy parecido entre las tortillas obtenidas en los diferentes tratamientos, sin mostrar diferencias significativas importantes. En esta Tabla se aprecian valores de características físicas importantes que determinan en forma importante la calidad del producto final. Para éstas características es determinante el factor operador, el cual esta encargado de elaborar la tortilla de maíz. De acuerdo a los resultados obtenidos y a la similitud de estas

Tabla 10. Análisis de varianza, cuadrados medios, de las características físicas de la tortilla obtenida a diferentes tiempos de cocimiento.

Fuente de Variación	G.L.	Características Físicas		
		Diámetro	Espesor	Peso
Bloque	1	0.0003NS ^a	0.0081NS	6.73NS
Tiempo de Cocimiento	2	0.366** ^b	0.0131NS	0.35NS
Error	14	0.016	0.0126	2.41

^aNS= No significativo a un nivel de 0.05 ($p > 0.05$).

^b**= significativo a un nivel de 0.01 ($p < 0.01$).

Tabla 11. Efecto del tiempo de cocimiento sobre las características físicas de la tortilla obtenida a diferentes tiempos de cocimiento^a.

Tiempo de Cocimiento (min)	Características Físicas		
	Diámetro (cm)	Espesor (mm)	Peso (g)
25	13.68a	1.76a	22.12a
45	13.77a	1.72a	22.26a
65	13.50b	1.77a	22.38a
Promedio General	13.65	1.75	22.25

^aDentro de una columna, las medias con la misma letra no son significativamente diferentes a un nivel de 0.05 ($p > 0.05$).

determinaciones en los diferentes tiempos de cocimiento se manifiesta de manera importante la experiencia de la persona encargada en la elaboración de la tortilla de maíz. Los valores promedios obtenidos para este estudio fueron: diámetro, 13.65 cm; espesor, 1.75 mm; y peso, 22.25 g. Siendo estos valores muy semejantes a los obtenidos en estudios realizados por Ramírez (1989), los cuales fueron: diámetro, 13.8 cm; espesor, 2 mm; y peso, 27.5 g.

Propiedades Texturales de la Masa

En la Tabla 12 se presenta el ANDEVA de las características texturales de la masa. Estas propiedades fueron adhesividad, dureza y el FCT (factor de compresión y tensión). Las características mencionadas anteriormente fueron afectadas muy significativamente ($p < 0.01$) por el tiempo de cocimiento.

Adhesividad

La Tabla 13 muestra el efecto del tiempo de cocimiento sobre las características texturales de la masa. Se observa que la adhesividad permaneció casi constante a tiempos de cocimiento de 25 y 45 min, mientras que a 65 min tuvo un incremento significativo con respecto a los anteriores.

Tabla 12. Análisis de varianza, cuadrados medios, de las características texturales de la masa obtenida a diferentes tiempos de cocimiento.

Fuente de Variación	G.L.	Características Texturales		
		Adhesividad	Dureza	FCT
Bloque	1	0.0005** ^b	1042.6NS ^a	23.03**
Tiempo de Cocimiento	2	0.0004**	7728.88**	24.71**
Error	26	0.00003	530.96	1.95

^aNS= No significativo a un nivel de 0.05 ($p > 0.05$).

^b**= Significativo a un nivel de 0.01 ($p < 0.01$).

Tabla 13. Efecto del tiempo de cocimiento sobre las características texturales de la masa^a.

Tiempo de Cocimiento (min)	Características Texturales		
	Adhesividad (N-m)	Dureza (kPa)	FCT
25	0.008b	84.89b	3.33b
45	0.005b	140.37a	5.88a
65	0.018a	115.81a	3.01b
Promedio General	0.0103	113.69	4.07

^aDentro de una columna, las medias con la misma letra no son significativamente diferentes a un nivel de 0.05 ($p > 0.05$).

En estudios realizados por Gracia y Silva (1992) elaboraron masas a tiempos de cocimiento de 35, 50 y 65 min, y concentraciones de cal de 1 y 3%. Encontraron que independientemente de la concentración de cal, la adhesividad se mantuvo muy semejante para los tiempos de cocimiento de 35 y 50 min, sin embargo, a 65 min de cocimiento y 3% de cal la adhesividad aumentó considerablemente.

Estudios realizados por Ramírez (1994) encontró que la adhesividad de la masa fue afectada significativamente por el tiempo de cocimiento, el grado de molienda y los niveles de humedad. Observó un incremento del 96% en la adhesividad cuando los tiempos de cocimiento fueron de 20 a 80 min. Por otra parte, también encontró que en masas con tamaño mediano de partícula, la adhesividad se incrementó de 153 a 168% cuando el tiempo de cocimiento fue de 20 a 55 min y de 20 a 80 min, respectivamente. Es notable pues, la tendencia de incremento que mantuvo la adhesividad al usar altos tiempos de cocimiento, los cuales son considerados tiempos de sobrecocimiento de la masa, donde se obtienen masas pegajosas debido posiblemente a una gelatinización del almidón. También es necesario considerar que el presente estudio fue realizado con masas elaboradas en una tortillería comercial comparada a los estudios anteriores que fueron a nivel de laboratorio.

Dureza

La dureza de la masa aumentó en forma significativa a medida que se incrementaba el tiempo de cocimiento (Tabla 13). Gracia y Silva (1992), también desarrollaron estudios sobre dureza de la masa. Ellos encontraron que la dureza de la masa hecha con 3% de cal aumentó al incrementar el tiempo de cocimiento de 35 a 50 min y luego disminuyó al incrementar el cocimiento a 65 min, coincidiendo de gran manera al comportamiento que tuvo la dureza de la masa durante los diferentes tiempos de cocimiento (25, 45 y 65 min) empleados en esta investigación. Este comportamiento pudo deberse a que al aumentar el tiempo de cocimiento a 65 min, el almidón sufrió más gelatinización que a bajos tiempos de cocimiento, implicando daño y pérdida de capacidad de retención de agua reflejándose esto en una disminución de la dureza.

Ramírez (1994), realizó estudios semejantes y encontró que la dureza de la masa fue afectada muy significativamente ($p < 0.01$) por el tiempo de cocimiento, y fue afectada significativamente ($p < 0.05$) por el grado de molienda y nivel de humedad. También encontró que masas con tamaño de partícula mediana no fueron significativamente diferentes en dureza en los tres tiempos de cocimiento que él empleo. Las masas preparadas con tiempo de cocimiento de 20 min fue más dura que las masas que fueron hechas con nixtamal cocido a 55 y 80 min.

Factor de Compresión y Tensión (FCT)

En lo que respecta al FCT, éste alcanzó un valor mayor a tiempo de cocimiento de 45 min, en cambio a tiempos de cocimiento de 25 y 65 min los valores permanecieron muy semejantes mostrando diferencias significativas con respecto al tiempo de cocimiento anterior (Tabla 13).

El FCT es definido como la proporción de la fuerza de compresión máxima y la fuerza de tensión máxima aplicada a la masa. Este factor puede predecir el comportamiento que tendrá una masa al pasar por los rodillos moldeadores durante el procesamiento. Un valor óptimo de este factor predice una masa con el grado de adhesividad y dureza adecuados para el buen manejo en los rodillos moldeadores (Ramírez y Col., 1993). En este estudio se encontró un FCT con un comportamiento muy similar al de la dureza de la masa, al registrarse un aumento considerable del FCT al aumentar el tiempo de cocimiento de 25 a 45 min y una disminución del FCT en el tiempo de cocimiento de 65 min hasta llegar a ser muy similar al de 25 min de cocimiento.

Gracia y Silva (1992) notaron este mismo comportamiento empleando tiempos de cocimiento de 35, 50 y 65 min con una concentración de cal de 3%.

Ramírez (1994) encontró que el FCT fue afectado por el tiempo de cocimiento, grado de molienda y el nivel de humedad, al igual que en las determinaciones texturales anteriores a las cuales fue sometida la masa. A su vez encontró que para obtener una tortilla de buena calidad, el FCT debe estar entre 2.4 y 2.7. Sin embargo, estudios realizados por Ortega (1992), con masa y tortilla de maíz elaborada comercialmente observó que el valor promedio de este factor fue de 3.26. De acuerdo a los valores mostrados en la Tabla 13, el FCT a los 25 min fue de 3.33 estando muy cerca al valor obtenido por Ortega, (1992) en su estudio.

Propiedades Texturales de la Tortilla

El ANDEVA de la rollabilidad y firmeza de la tortilla de maíz obtenida en los diferentes tiempos de cocimiento se presenta en la Tabla 14. El tiempo de cocimiento afectó muy significativamente ($p < 0.01$) la firmeza, al igual que la rollabilidad. Por otra parte, el tiempo de almacenamiento también afectó muy significativamente ($p < 0.01$) la firmeza y la rollabilidad. Mientras que la interacción entre el tiempo de cocimiento y el tiempo de almacenamiento no fue significativa ($p > 0.05$) para la firmeza y la rollabilidad de las tortillas.

Tabla 14. Análisis de varianza, cuadrados medios, de las características texturales de la tortilla obtenida a diferentes tiempos de cocimiento.

Fuente de Variación	G.L.	Características Texturales	
		Rollabilidad	Firmeza
Bloque	1	0.0401NS ^a	2381.81**
Tiempo de Cocimiento (TC)	2	0.952** ^b	1969.22**
Tiempo de Almacenamiento (TA)	2	11.05**	3680.49**
TC*TA	4	0.150NS	102.41NS
Error	80	0.118	82.85

^aNS= No significativo a un nivel de 0.05 ($p > 0.05$).

^b**= Significativo a un nivel de 0.01 ($p < 0.01$).

La Fig. 4 muestra el efecto del tiempo de cocimiento sobre la rollabilidad y firmeza de la tortilla. A medida que aumenta el tiempo de cocimiento la firmeza de la tortilla decrece (es más blanda). En cuanto a la rollabilidad, ésta decrece ligeramente al aumentar el tiempo de cocimiento.

Firmeza

En un estudio sobre firmeza realizado por Gracia y Silva, (1992) encontraron resultados muy parecidos a los de esta investigación, observando que la tortilla se hacia más blanda a medida que se incrementó el tiempo de cocimiento. Una observación muy importante para señalar es que la tortilla más blanda fue la que se obtuvo con la masa de mayor adhesividad, lo anterior puede ser un factor determinante para predecir la firmeza y utiliza ésta propiedad a un proceso de control de calidad en la producción de la tortilla.

El efecto del tiempo de almacenamiento sobre la firmeza de la tortilla se presenta en la Fig. 5. Para tiempo de almacenamiento de 2 h la tortilla fue más blanda, pero a medida que se aumentó el tiempo de almacenamiento, la firmeza también se incrementó.

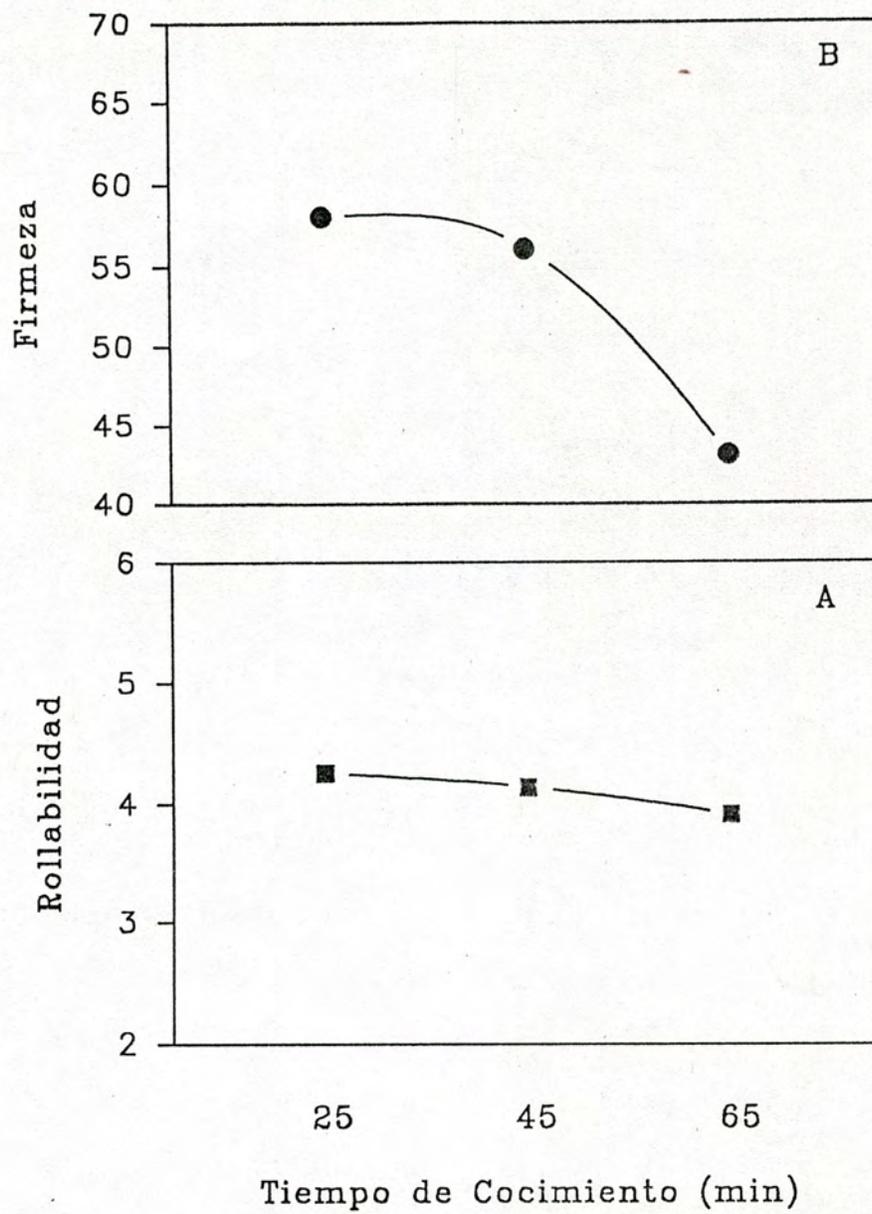


Figura 4. Efecto del tiempo de cocimiento sobre la rollabilidad (A) y firmeza (B) de la tortilla.

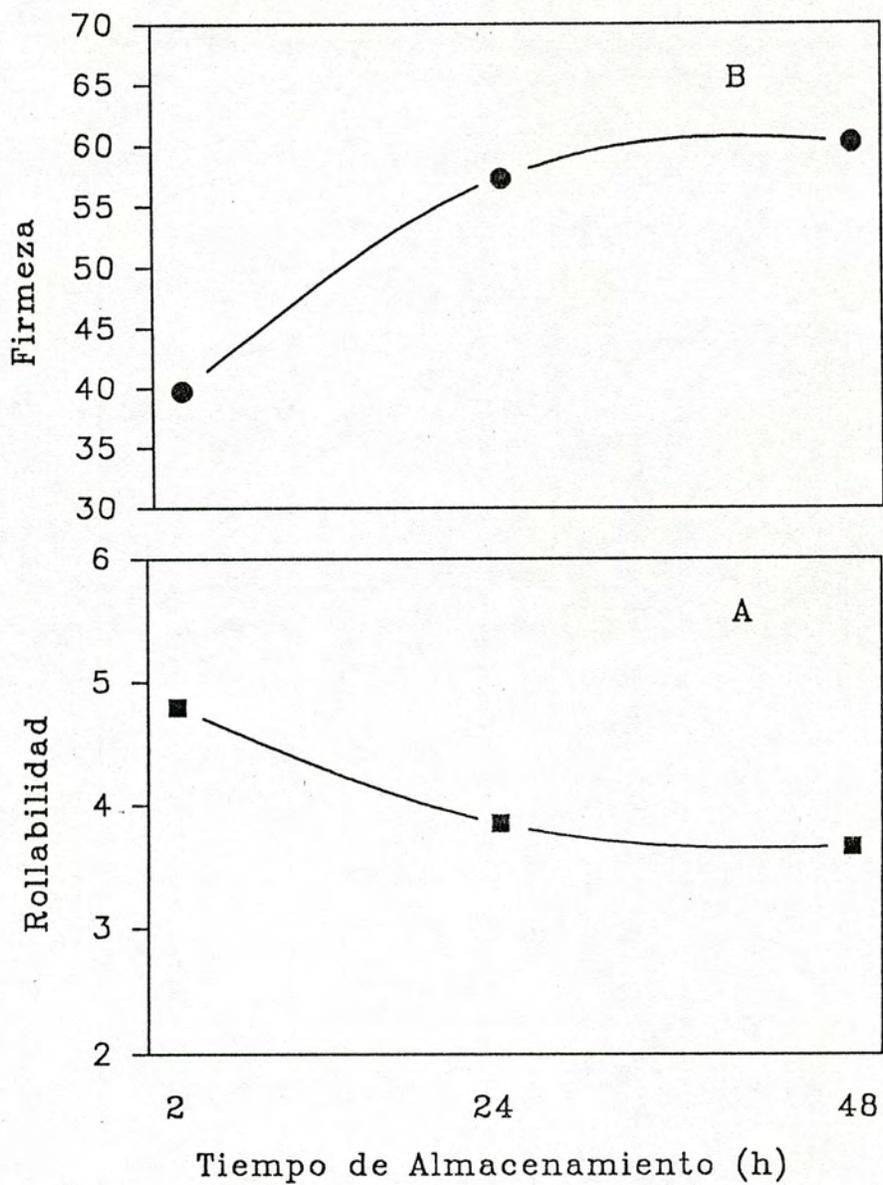


Figura 5. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre la rollabilidad (A) y firmeza (B) de la tortilla.

De acuerdo a estudios realizados por Ortega (1992) y Ramírez (1989), los cambios más drásticos en la firmeza de la tortilla suceden durante las primeras 24 h de almacenamiento. En esta investigación, la firmeza se incrementó significativamente en este período, permaneciendo casi constante en el período comprendido entre las 24 y las 48 h.

Rollabilidad

Los resultados obtenidos de rollabilidad en los diferentes tiempos de cocimiento fueron muy similares. La rollabilidad más baja se obtuvo a tiempo de cocimiento de 65 min, siendo este tratamiento en el cual se obtuvo la masa de mayor adhesividad. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Gracia y Silva (1992) en el cual las tortillas que fueron obtenidas con 3% de cal, la rollabilidad disminuyó ligeramente a medida que aumentó el tiempo de cocimiento.

El efecto del tiempo de almacenamiento sobre la rollabilidad de la tortilla se observa en la Fig. 5. La rollabilidad disminuyó drásticamente en el período comprendido dentro de las primeras 24 h, mientras que permaneció casi constante en el período de las 24 a las 48 h.

Fraccionación de las Proteínas

Para el análisis estadístico de las fracciones, además del tiempo de cocimiento, también se tomó en cuenta cada fracción y cada producto del proceso.

La Tabla 15 presenta el ANDEVA de las fracciones proteicas (albúminas y globulinas, prolaminas, gluteninas reducidas y gluteninas) de los productos obtenidos durante el proceso de elaboración de la tortilla. Las fracciones fueron nombradas como FI, FII, FIII y FIV, respectivamente. Se observa que el tiempo de cocimiento, tipo de producto y la interacción de ambos afectaron muy significativamente ($p < 0.01$) cada una de las fracciones proteicas mencionadas anteriormente.

Resultados por Fracción

Fracción I. La Fig. 6 muestra el efecto del tiempo de cocimiento sobre la fracción I (albúminas y globulinas) del maíz, nejayote, nixtamal, masa y tortilla. Las determinaciones hechas en maíz fueron tomadas como referencia con respecto a los otros productos. Los valores mayores para esta fracción fueron obtenidos en el nejayote; además también fueron mayores que en el maíz. Para el nejayote se tuvieron que hacer diluciones para poder realizar las determinaciones, cosa que no se hizo en el resto de los productos. A medida que se

Tabla 15. Análisis de varianza, cuadrados medios, de las fracciones proteicas de los productos del proceso de elaboración de la tortilla de maíz^a.

Fuente de Variación	G.L.	FI	FII	FIII	FIV
Bloque	1	21.8NS ^b	16.6**	19.9NS	264.1NS
Tiempo de Cocimiento (TC)	2	902.2** ^c	21.1**	15880.5**	1287.0**
Tipo de Producto (TP)	3	56424.9**	665.4**	37117.6**	187648.6**
TC*TP	6	832.4**	73.9**	2785.3**	1132.9**
Error	59	51.1	1.6	32.8	75.8

^aFI= Albúminas y globulinas, FII= Prolaminas, FIII= Gluteninas reducidas y FIV= Gluteninas.
^bNS= No significativo a un nivel de 0.05 (p>0.05).
^c**= Significativo a un nivel de 0.01 (p<0.01).

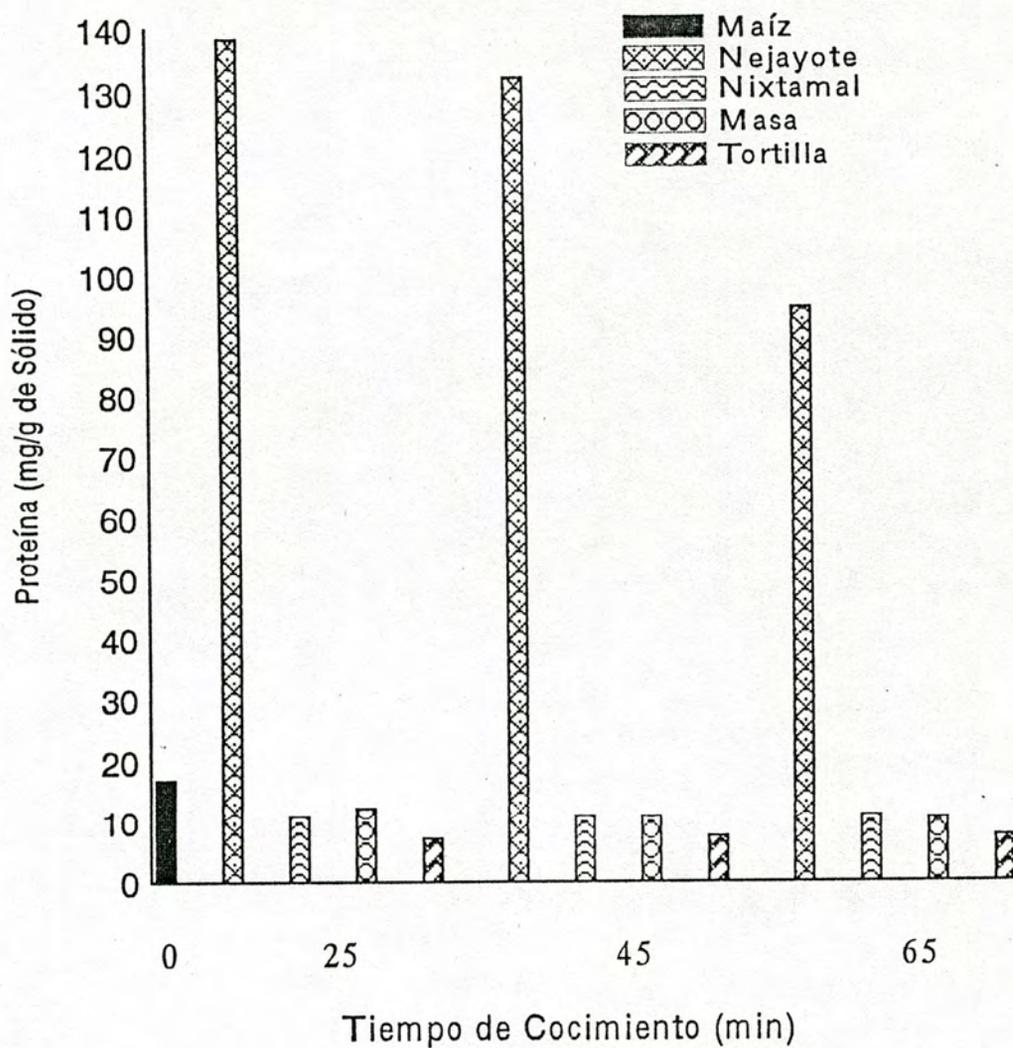


Figura 6. Efecto del tiempo de cocimiento sobre la fracción I (albúminas y globulinas) de los productos obtenidos durante la elaboración de la tortilla de maíz.

incrementó el tiempo de cocimiento, la fracción disminuyó. Esto posiblemente este relacionado con la pérdida de sólidos que fue mayor a medida que aumentó el tiempo de cocimiento a 65 min. En los otros productos; nixtamal, masa y tortilla, no se notaron cambios importantes en los diferentes tiempos de cocimiento, ya que esta fracción permaneció casi constante, y siendo éstas concentraciones menores a las que se encontraron en el grano de maíz.

Fracción II. El efecto del tiempo de cocimiento sobre la fracción II (prolaminas) se observa en la Fig. 7. El comportamiento que tuvo esta fracción en nejayote, nixtamal, masa y tortilla a tiempos de cocimiento de 25 y 45 min fue muy semejante, es decir no se notaron cambios. Sin embargo, a los 65 min de cocimiento el comportamiento de esta fracción fue diferente en nejayote, y tortilla; la concentración de la fracción se elevó en estos productos alcanzando valores muy semejantes. Por otro lado en la masa disminuyó notablemente y en nixtamal permaneció constante con respecto al resto de los tiempos de cocimiento.

Fracción III. La Fig. 8 muestra el efecto del tiempo de cocimiento sobre la fracción III (gluteninas reducidas) en maíz, nejayote, nixtamal, masa y tortilla. A medida que se incrementó el tiempo de cocimiento la concentración de esta

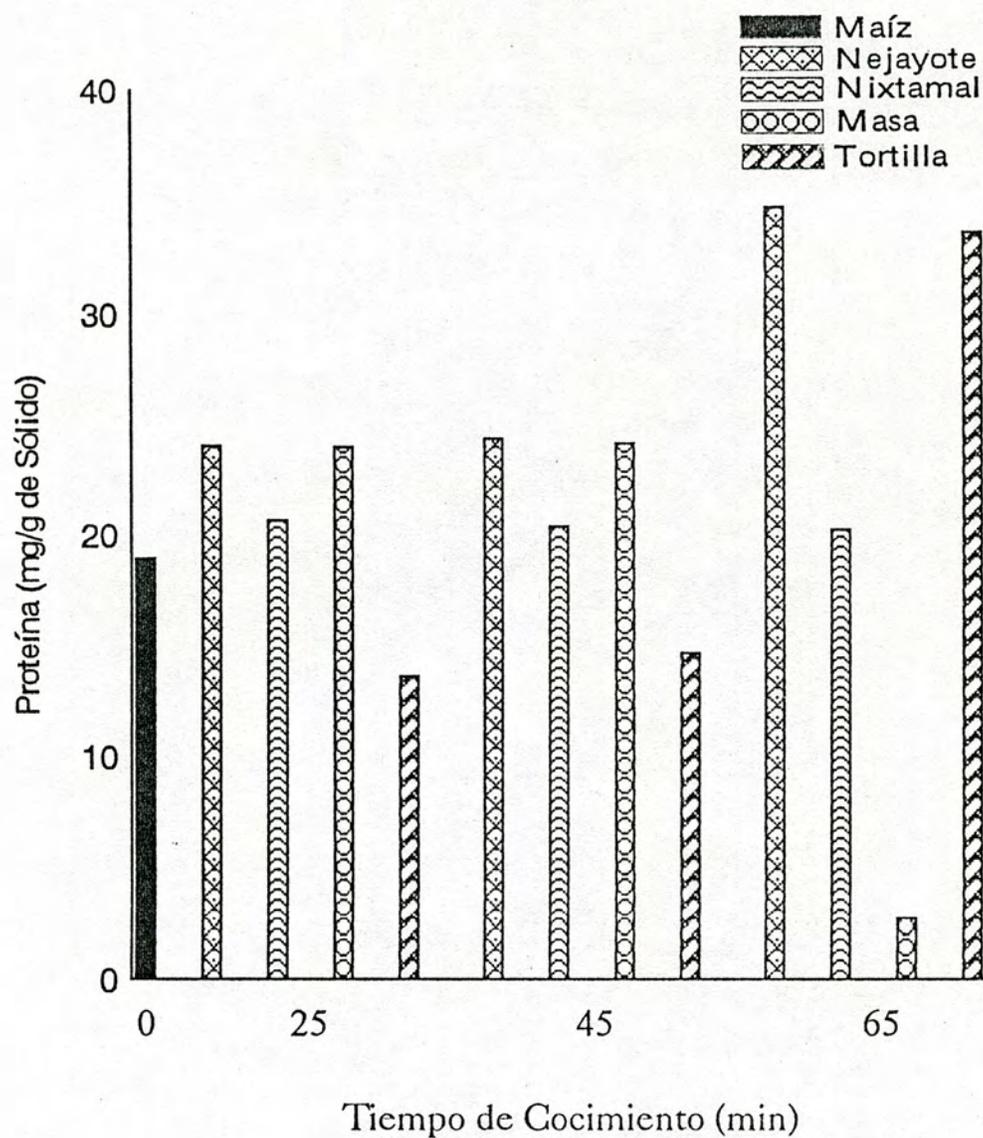
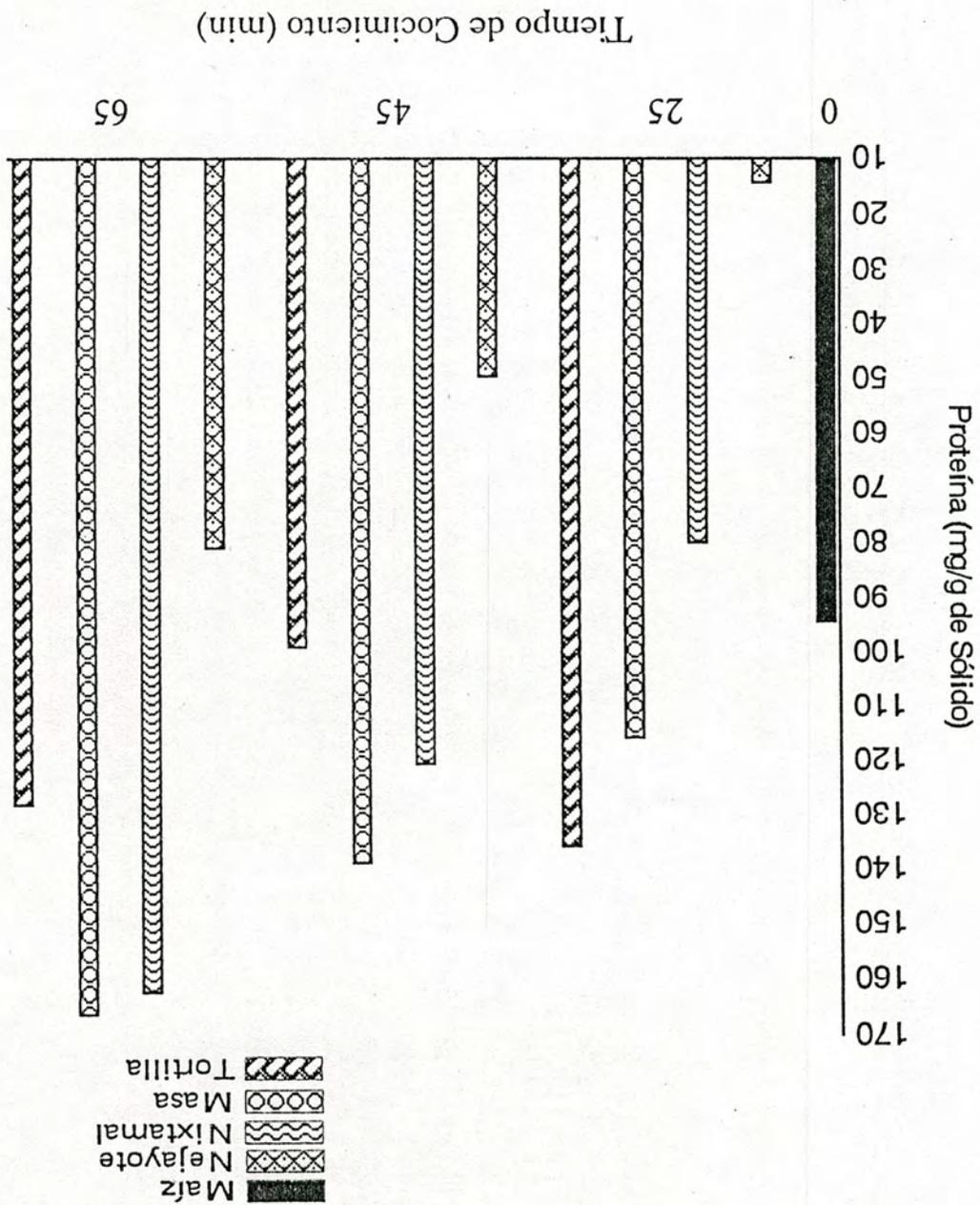


Figura 7. Efecto del tiempo de cocimiento sobre la fracción II (prolaminas) de los productos obtenidos durante la elaboración de la tortilla de maíz.

Figura 8. Efecto del tiempo de cocimiento sobre la fracción III (gluteninas reducidas) de los productos obtenidos durante la elaboración de la tortilla de maíz.



fracción aumentó en nejayote, nixtamal y masa. En cambio en la tortilla mostró una tendencia de disminución al aumentar el tiempo de cocimiento.

Fracción IV. Para observar el efecto del tiempo de cocimiento sobre la fracción IV (gluteninas) en los productos mencionados anteriormente se presenta la Fig. 9. En el nejayote ésta fracción fue muy pequeña y disminuyó a medida que se incrementó el tiempo de cocimiento, mientras que el nixtamal, la masa y la tortilla, mostraron un comportamiento similar en los diferentes tiempos de cocimiento.

La tortilla incrementó la concentración de esta fracción al elevar el tiempo de cocimiento de 25 a 45 min, mientras que a tiempo de 65 min sufrió una ligera disminución. En lo que respecta al nixtamal y masa en este tiempo de cocimiento aumentaron su concentración con respecto a los otros.

Resultados por Producto

En la Tabla 16 se presenta el ANDEVA de las fracciones proteicas de cada producto (nejayote, nixtamal, masa y tortilla) obtenido durante el proceso de obtención de la tortilla. El tiempo de cocimiento, la fracción proteica y la interacción de ambos afectaron muy significativamente ($p < 0.01$) a cada uno de los productos.

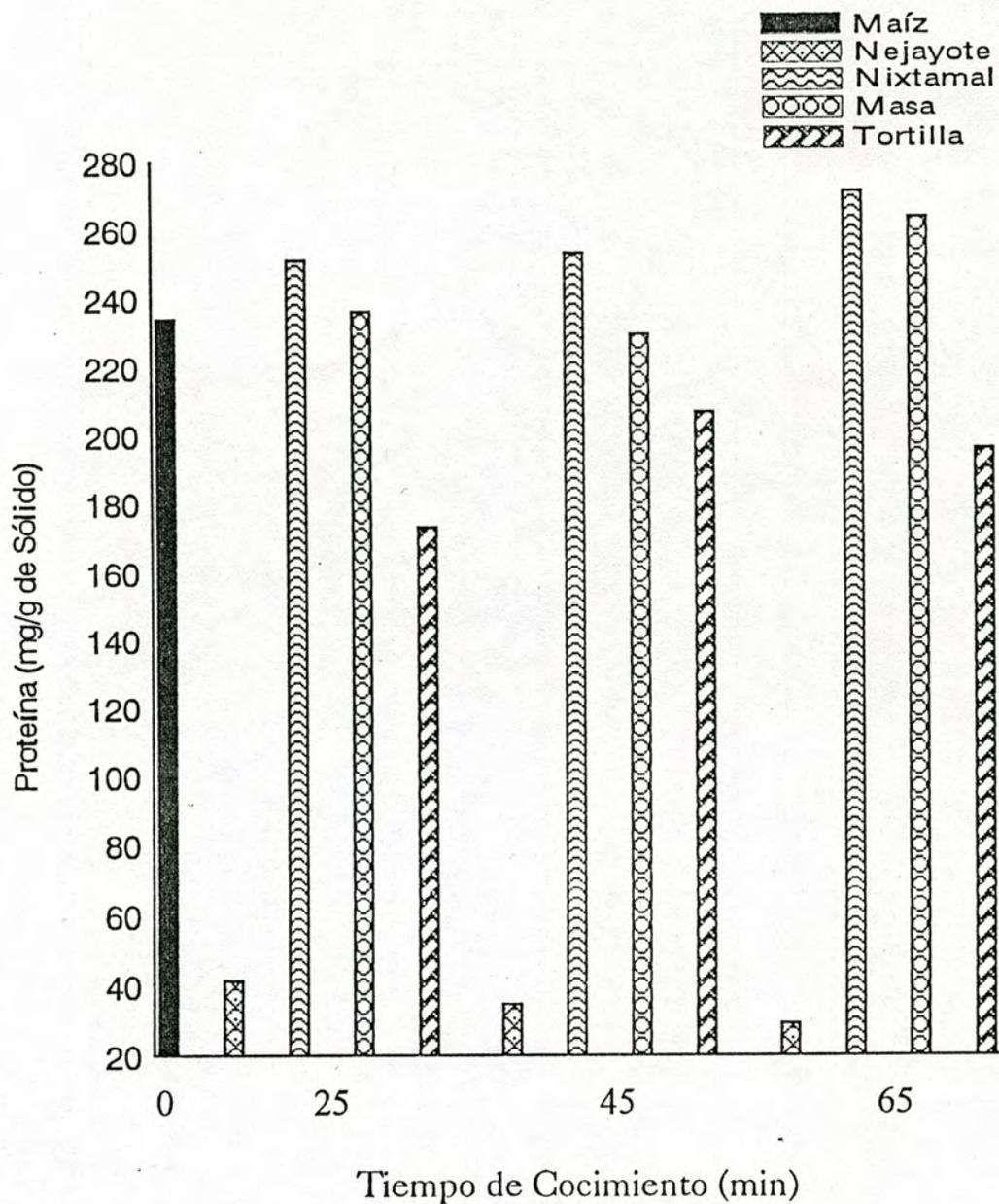


Figura 9. Efecto del tiempo de cocimiento sobre la fracción IV (gluteninas) de los productos obtenidos durante la elaboración de la tortilla de maíz.

Tabla 16. Análisis de varianza, cuadrados medios, de las fracciones proteicas de cada producto obtenido en el proceso de elaboración de la tortilla de maíz.

Fuente de Variación	G.L.	Nejayote	Nixtamal	Masa	Tortilla
Bloque	1	0.6NS ^a	302.6* ^b	24.5NS	2.5NS
Tiempo de Cocimiento (TC)	2	327.2** ^c	3917.3**	2315.3**	117.0**
Fracción (Frac)	3	35121.7**	239385.0**	215037.4**	143076.9**
TC*Frac	6	3905.7**	2316.1**	1149.7**	1258.4**
Error	59	58.6	53.8	28.6	20.1

^aNS= No significativo a un nivel de 0.05 ($p > 0.05$).

^b*= Significativo a un nivel de 0.05 ($p < 0.05$).

^c**= Significativo a un nivel de 0.01 ($p < 0.01$).

Nejayote. El efecto del tiempo de cocimiento sobre las fracciones proteicas de este producto se muestra en la Tabla 17. Se aprecia una disminución en la solubilidad de la fracción I al incrementarse el tiempo de cocimiento. La fracción II permanece casi constante en los diferentes tiempos de cocimiento al igual que lo hace la fracción IV. Mientras tanto, la fracción III muestra una tendencia de incremento al aumentar el tiempo de cocimiento.

Nixtamal. Esta misma tabla presenta el comportamiento de las fracciones proteicas del nixtamal en los diferentes tratamientos. Se observa que la solubilidad de las fracciones I, II y IV se mantiene constante en los diferentes tiempos de cocimiento, mientras que la fracción III incrementa su solubilidad al ir aumentando el tiempo de cocimiento.

Masa. Todas las fracciones proteicas de la masa presentaron un comportamiento muy similar en los diferentes tiempos de cocimiento.

Tortilla. Al igual que las fracciones proteicas mencionadas anteriormente (masa) éstas presentaron valores de solubilidad constantes dentro de los diferentes tiempos de cocimiento.

Tabla 17. Efecto del tiempo de cocimiento sobre las fracciones proteicas de los productos obtenidos durante el proceso de elaboración de la tortilla de maíz^{ab}.

Producto	FI	FII	FIII	FIV
Maíz (Control)	16.87	18.44	94.32	234.30
TC ^c = 25 min				
Nejayote	138.37 ^d	24.01	14.38	41.66
Nixtamal	10.81	20.64	80.04	251.22
Masa	12.15	23.96	115.79	236.42
Tortilla	7.14	13.63	133.84	173.18
TC= 45 min				
Nejayote	132.11	24.34	19.60	34.81
Nixtamal	10.77	20.36	121.44	253.51
Masa	10.67	24.09	138.81	229.73
Tortilla	7.45	14.65	98.80	206.78
TC= 65 min				
Nejayote	94.41	34.77	80.87	29.32
Nixtamal	10.78	20.19	162.25	271.33
Masa	10.14	22.66	166.01	263.86
Tortilla	7.43	33.64	127.92	196.05

^aFI= Albúminas y globulinas, FII= Prolaminas,
FIII= Gluteninas reducidas y FIV= Gluteninas.

^bLos valores de cada fracción proteica están expresados en mg/g de sólido.

^cTC= Tiempo de cocimiento.

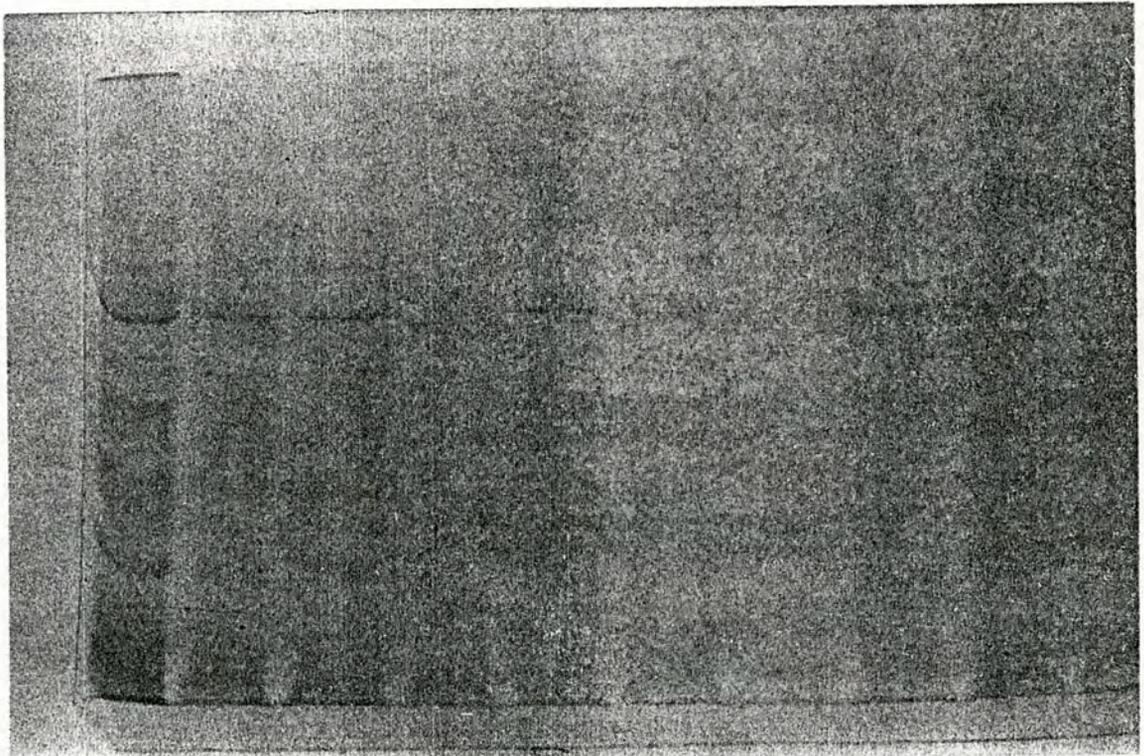
^dLos valores fueron obtenidos de tres repeticiones.

El comportamiento en solubilidad de las diferentes fracciones proteicas en productos tales como nixtamal, masa y tortilla coincide con los reportados en estudios realizados por Vivas (1987), en donde la solubilidad de las fracciones I y II se ve reducida después del procesamiento, mientras que la solubilidad de la fracción III se reduce al cabo del proceso, en tanto que la fracción IV permanece constante.

La cuantificación de las diferentes fracciones proteicas demostraron que los cambios más notables dentro del proceso de la tortilla, se dieron en la etapa de horneado. Esto tal vez ocasionado a las altas temperaturas a las que fue sometida la masa. Otra etapa como lo fue la molienda; el nixtamal y masa no mostraron grandes cambios cuando se hizo la cuantificación proteica, debido quizás a que en esta etapa sucede una simple molienda.

Análisis Electroforético

Fracción I. Se colocaron 25 μ l de la fracción I (albúminas y globulinas) extraídas de las muestras de nixtamal, masa y tortilla, obtenidas a tiempo de cocimiento de 25, 45 y 65 min. Además se colocó como referencia la misma fracción extraída del maíz. En la Fig. 10 se observa que en todos los tiempos de cocimiento se presenta una similitud en cuanto al recorrido y número de bandas del nixtamal y masa. En cambio en tortilla

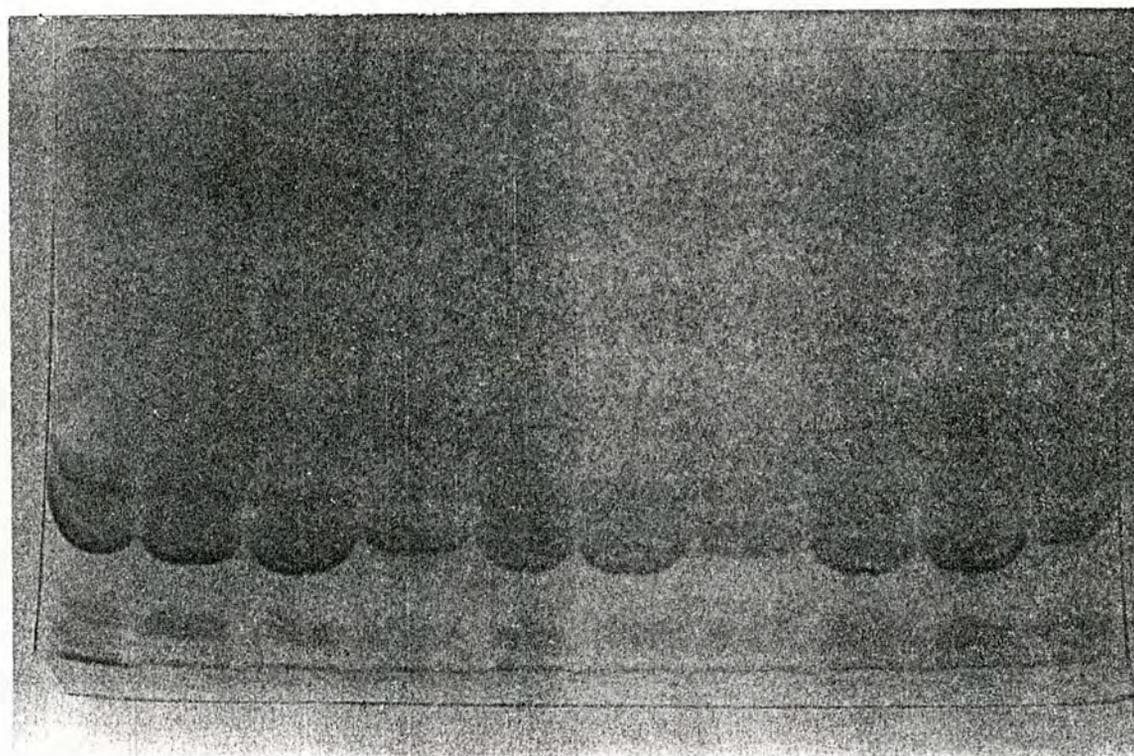


M	NIX	MAS	TOR	NIX	MAS	TOR	NIX	MAS	TOR
	25 Min			45 Min			65 Min		

Figura 10. Fracción I (albúminas y globulinas) extraídas de las muestras de maíz (M), nixtamal (NIX), masa (MAS) y tortilla (TOR) obtenidas a tiempos de cocimiento de 25, 45 Y 65 min.

existe una disminución en el número de bandas e intensidad de las mismas, esto con respecto al nixtamal y masa. Estas características mencionadas anteriormente tienden a disminuir en nixtamal, masa y tortilla a medida que se incrementa el tiempo de cocimiento. El comportamiento electroforético para la fracción I en cada uno de los productos está muy relacionado con la concentración encontrada en los mismos productos en los diferentes tiempos de cocimiento, en los cuales la concentración de albúminas y globulinas en nixtamal y masa es muy semejante, mientras que en la tortilla disminuye con respecto a estos.

Fracción II. La Fig. 11 presenta el comportamiento electroforético de la fracción II (prolaminas) siguiendo las mismas condiciones de aplicación y orden que la fracción I. Esta figura muestra la existencia de una banda más en el maíz, con respecto a nixtamal, masa y tortilla. Los tres tiempos de cocimiento a los que fueron sometidos los productos mencionados anteriormente mostraron un número de bandas e intensidad muy semejantes entre nixtamal y masa, en cambio en la tortilla el grosor de la banda disminuyó, así como su intensidad. Se aprecia pues, al igual que en la figura anterior que el recorrido electroforético del nixtamal y masa para esta fracción II fue muy semejante. Esto debido quizás a que en el proceso de elaboración de la masa a partir del



M	NIX	MAS	TOR	NIX	MAS	TOR	NIX	MAS	TOR
	—————			—————			—————		
	25 Min			45 Min			65 Min		

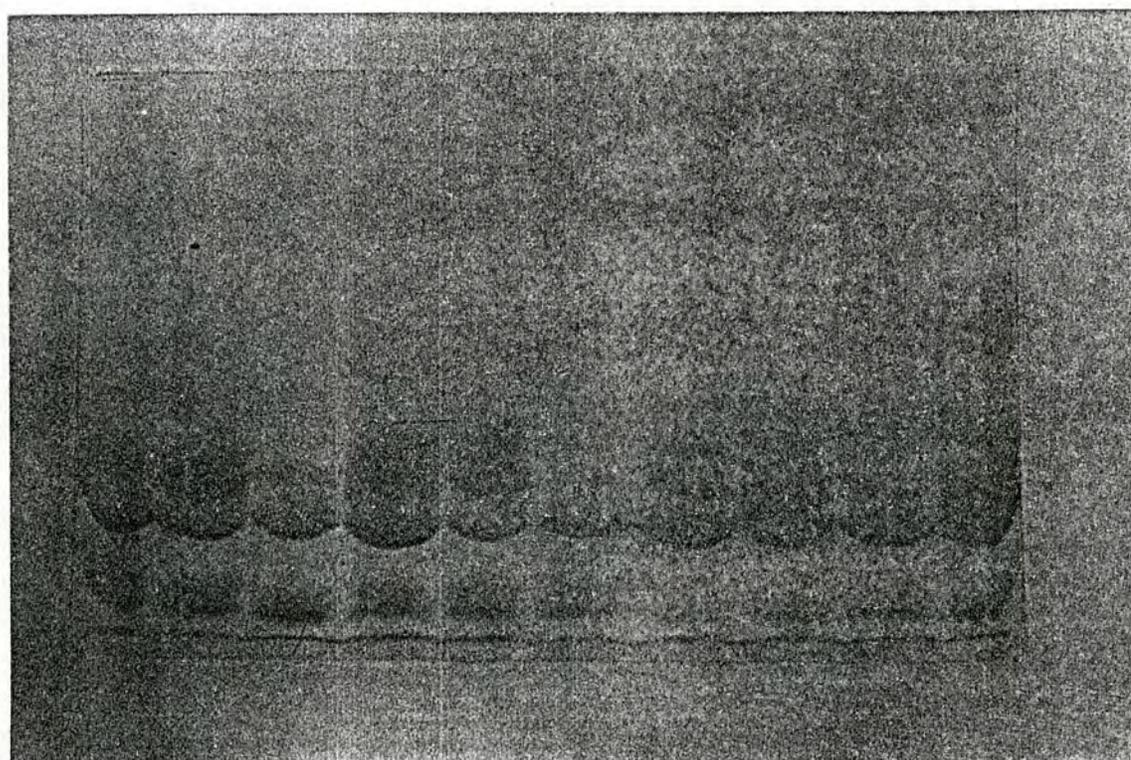
Figura 11. Fracción II (prolaminas) extraídas de las muestras de maíz (M), nixtamal (NIX), masa (MAS) y tortilla (TOR) obtenidas a tiempos de cocimiento de 25, 45 y 65 min.

nixtamal sucede simplemente una molienda, la cual no causa grandes pérdidas proteicas, en cambio la tortilla es sometida a muy altas temperaturas.

Fracción III. De la misma manera que las fracciones anteriores, la fracción III (gluteninas reducidas) fue sometida a un análisis electroforético. Este se presenta en la Fig. 12. Esta fracción se maneja también como pseudoprolaminas; de ahí la similitud en su comportamiento electroforético con la fracción II. El maíz también muestra una banda más con respecto a los otros productos. La resolución entre las bandas de estos productos fue mejor a los tiempos de cocimiento de 25 y 45 min, ya que a 65 min se logra observar el principio de una fusión entre dos bandas.

Algo importante que no había sucedido con las fracciones anteriores es que la masa disminuyó en intensidad y grosor en sus bandas con respecto a los otros productos, ya que regularmente la tortilla venía mostrando una tendencia de disminución en esas características mencionadas.

Fracción IV. El comportamiento electroforético de la fracción IV (gluteninas) se presenta en la Fig. 13. Otra vez se vuelve a mostrar el mismo comportamiento que en la fracción I y II. Las bandas del maíz, nixtamal y masa son muy semejantes en los



M NIX MAS TOR NIX MAS TOR NIX MAS TOR
25 Min 45 Min 65 Min

Figura 12. Fracción III (gluteninas reducidas) extraídas de las muestras de maíz (M), nixtamal (NIX), masa (MAS) y tortilla (TOR) obtenidas a tiempos de cocimiento de 25, 45 y 65 min.

diferentes tiempos de cocimiento. Sin embargo, a medida que aumenta el tiempo de cocimiento el número de bandas y la intensidad de las mismas va disminuyendo. La fracción IV de la tortilla mostró un comportamiento muy similar a la fracción I, se redujo de forma notable el número de bandas y su intensidad a medida que se incrementó el tiempo de cocimiento, haciéndose esto más notable a los 65 min.

Al igual que lo mostrado por las cuantificaciones proteicas, donde los cambios más drásticos se dieron en la etapa de horneado, en el análisis electroforético también se observó lo mismo. El número de bandas, así como la intensidad de las mismas disminuyó en forma considerable en la etapa de horneado. El tiempo de cocimiento también afectó la intensidad y el número de bandas, aunque no de una forma tan importante como lo hizo el horneado.

Correlaciones Simples Entre las Diferentes Determinaciones Realizadas

Para conocer que tan fuerte o débil era una correlación (r), y en base a la experiencia que se tenía sobre el tema, arbitrariamente pero útil se definió la siguiente clasificación de correlación: si $|r| < 0.05$ la correlación lineal se consideró significativa pero débil. Si

$0.05 < |r| < 0.75$, la correlación se consideró significativa y moderada. Si $|r| > 0.75$, la correlación lineal se consideró significativa y fuerte (Ramírez-Wong y Col., 1994).

Correlación Entre Algunas Características Físicas y las Fracciones Proteicas del Nixtamal y Nejayote

La Tabla 18 presenta la correlación entre las características físicas y las fracciones proteicas del nixtamal y nejayote. Se observa que la fracción I del nejayote tuvo una correlación negativa fuerte con el pH del nixtamal, y de manera muy semejante con los sólidos totales. En tanto que las fracciones II y III del propio nejayote correlacionaron positivamente y fuerte con el pH del nixtamal y sólidos totales. En lo que respecta a la correlación entre las fracciones proteicas del nixtamal, estas fueron positivas y moderadas cuando se correlacionaron la fracción III y IV con el pH del nixtamal y sólidos totales.

Correlación Entre las Características Texturales, Físicas y Fracciones Proteicas de la Masa

La Tabla 19 presenta estas correlaciones. Se aprecia que las fracciones proteicas de la masa no correlacionaron de manera significativa con características texturales como adhesividad, dureza y el FCT, lo cual estaba contemplado como un objetivo en esta investigación.

Tabla 18. Correlaciones simples (r) entre algunas características físicas y las fracciones proteicas del nixtamal y nejayote.

Fracción Proteica	pH Nejayote	pH Nixtamal	Humedad Nixtamal	Sólidos Totales
Nejayote				
I	0.49	-0.75** ^b	-0.48	-0.79**
II	-0.39	0.83**	0.25	0.80**
III	-0.44	0.88**	0.33	0.81**
IV	0.23	-0.54* ^a	-0.29	-0.54*
Nixtamal				
I	-0.60*	0.29	0.45	0.07
II	-0.05	-0.06	0.05	-0.04
III	-0.33	0.73**	0.42	0.68**
IV	-0.56	0.68**	0.29	0.66**

^a *= Significativo a un nivel de 0.05 (p<0.05).

^b**= Significativo a un nivel de 0.01 (p<0.01).

Tabla 19. Correlaciones simples (r) entre características texturales, físicas y fracciones proteicas de la masa.

Fracción Proteica	pH	HUM	IAA	IMS	ADH	DUR	FCT
I	-0.37	0.11	-0.69** ^b	0.75**	0.05	-0.48*	-0.22
II	-0.11	0.07	-0.80**	0.34	0.08	-0.01	0.12
III	0.41	-0.01	0.56* ^a	-0.87**	0.12	0.38	0.04
IV	-0.22	0.28	0.44	-0.36	0.25	-0.21	-0.47*

^a *= Significativo a un nivel de 0.05 (p<0.05).
^b**= Significativo a un nivel de 0.01 (p<0.01).

En cambio las fracciones proteicas I y II de la masa correlacionaron negativa y moderadamente con el IAA, mientras que la fracción I correlacionó positiva y moderadamente con el IMS, en tanto que la fracción III correlacionó negativamente y fuerte con el IMS. Así pues, se determinó que los tratamientos a los que fueron sometidos las fracciones proteicas de la masa no afectaron las características texturales de la misma, en cambio, si mostraron efecto sobre el IAA y el IMS, los cuales según Ramírez y Col. (1994) afectan de manera importante las características texturales de la masa.

Correlación Entre las Características Texturales, Físicas y Fracciones Proteicas de la Tortilla

Al igual que en la masa, donde los tratamientos sobre las fracciones proteicas no afectaron las características texturales de la masa, la Tabla 20 muestra también que los tratamientos sobre las fracciones proteicas de la tortilla no afectaron la firmeza y rollabilidad de la tortilla.

La fracción III correlacionó fuerte y negativamente con el pH, mientras que la fracción IV correlacionó moderada y positivamente con el pH. Esto tal vez influenciado por el efecto de cargas positivas y negativas del medio sobre las cargas de las diferentes fracciones proteicas.

Tabla 20. Correlaciones simples (r) entre características texturales, físicas y fracciones proteicas de la tortilla.

Fracción Proteica	pH	Humedad	Firmeza	Rollabilidad
I	0.41	-0.25	0.28	-0.03
II	0.40	-0.39	0.35	0.03
III	-0.80** ^a	0.08	0.29	0.07
IV	0.74**	0.20	0.20	-0.37

^a**= Significativo a un nivel de 0.01 ($p < 0.01$).

Correlación Entre las Propiedades Texturales y Humedad de la Masa y la Tortilla

La Tabla 21 muestra las correlaciones mencionadas anteriormente. Se observa que la adhesividad y humedad de la masa correlacionaron positiva y moderadamente con la humedad de la tortilla. Esto es que la humedad de la masa determina su adhesividad, si la masa tiene una humedad alta la adhesividad será alta, lo que implica la obtención de una tortilla con humedad alta también.

En lo que se refiere a firmeza esta correlacionó negativa y moderadamente con la adhesividad y de manera negativa y fuerte con la humedad de la masa. Lo anterior indica que a mayor humedad y a mayor adhesividad de la masa, la firmeza en la tortilla va a ser menor.

El FCT correlacionó negativa y débilmente con la adhesividad de la masa. Esto es que a mayor adhesividad el FCT disminuyó en la masa, mientras que la dureza se incrementó a medida que aumentó el FCT. A medida que se incrementa la humedad de la masa, la adhesividad se ve incrementada. Si el FCT se incrementa implica una disminución en la adhesividad de la masa, y por lo tanto una disminución de humedad ya que la adhesividad esta relacionada intimamente con la humedad que esta posea.

Tabla 21. Correlaciones simples (r) entre las propiedades texturales y humedad de la masa y la tortilla.

	HUT	FIR	ROL	HUM	FCT	DUR	ADH
Masa							
Adhesividad (ADH)	0.65**	-0.68**	-0.20	0.64** ^a	-0.58**	-0.18	1.00
Dureza (DUR)	0.14	0.09	-0.26	-0.31	0.83**	1.00	
FCT (FCT)	-0.28	0.44	-0.20	-0.57**	1.00		
Humedad (HUM)	0.68**	-0.79**	0.09	1.00			
Tortilla							
Rollabilidad (ROL)	-0.20	-0.17	1.00				
Firmeza (FIR)	-0.67**	1.00					
Humedad (HUT)	1.00						

^a**= significativo a un nivel de 0.01 (p<0.01).

En lo que se refiere a la tortilla, la firmeza de esta correlacionó negativa y moderadamente con la humedad de la misma tortilla. Lo anterior se observa en la Tabla 21. A medida que se incrementa la firmeza de la tortilla, la humedad disminuye.

Es importante pues, mencionar que las características texturales de la masa dependen de gran manera de la capacidad de retención de agua de la propia masa, la cual a su vez tiene influencia en la firmeza de la tortilla.

CONCLUSIONES

El proceso tradicional de elaboración de la tortilla de maíz es empírico lo que dificulta la realización de estudios científicos.

Las características texturales en masa y tortilla de maíz fueron afectadas por el tiempo de cocimiento.

Algunas fracciones proteicas de la masa tuvieron correlación con el IAA, IMS y el pH.

Las fracciones proteicas I y II disminuyeron su solubilidad durante las diferentes etapas de elaboración de la tortilla.

La fracción proteica III incrementó su solubilidad, mientras que la fracción IV mantuvo su solubilidad similar en las diferentes etapas del proceso.

Las características texturales de la masa y la tortilla no mostraron correlación con los cambios en solubilidad de sus fracciones proteicas durante el proceso de elaboración de la tortilla.

El análisis electroforético demostró que el número de bandas e intensidad de las diferentes fracciones proteicas disminuyó a medida que se desarrolló el proceso de la tortilla, y de una manera menos intensa al aumentar el tiempo de cocimiento.

En todos los tiempos de cocimiento, la tortilla mostró la disminución más notable en la intensidad y en el número de bandas.

RECOMENDACIONES

Diseño de procesos para elaborar la tortilla donde se pueda tener un control de calidad más objetivo.

Establecer un control de calidad del proceso. Por ejemplo desarrollar mediciones de pH, humedad, sólidos totales y textura en masa y tortilla.

Realización de estudios similares en donde se considere el tamaño de partícula.

Probar otros métodos de cuantificación de las fracciones proteicas diferente al de Lowry modificado por Hartree.

BIBLIOGRAFIA

- A.A.C.C. 1991. Approved Methods of the American Association of Cereal Chem. St. Paul Minn.
- A.O.A.C. 1986. Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis. 13th ed. Método 02-52. The Association: Washington, D.C.
- Anderson, R.A., Conway, H.F., Pfeiffer, V.F., and Griffin, E.L. 1969. Roll and Extrusion-Cooking of Grain Sorghum Grits. Cereal Sci. Today 14:372-375, 381.
- Bedolla, S., and Rooney, L.W. 1982. Cooking Maize for Masa Production. Cereal Foods World 27:219-221.
- Bedolla, S., and Rooney, L.W. 1984. Characteristics of U.S. and Mexican Instant Flours for Tortilla and Snack Preparation. Cereal Foods World 29:732-735.
- Benson, G.O., and Pearce, R.B. 1987. Corn Perspective and Culture. Pages 4-6 in: Corn, Chemistry and Technology. A.A.C.C., Inc. St. Paul, Minn.

- Bressani, R., Paz y Paz, R., and Scrimshaw, N.S. 1958. Chemical Changes in Corn During Preparation of Tortillas. *Agriculture and Food Chemistry* 6:770-774.
- Bressani, R., and Scrimshaw, N.S. 1958. Effects of Lime Treatment on in Vitro Availability of Essential Aminoacid and Solubility of Protein Fraction in Corn. *Agricultural and Food Chemistry*. Vol. 6 Pages 774-778.
- Bressani, R. 1990. Chemistry Technology and Nutritive Value of Maize Tortillas. *Food Review International* 6:225-264.
- Cabrera, A., Pineda, J.C., Durán de Bazúa, C., Segurajauregui, J.S., and Vernon, E.J. 1984. Kinetic of Water Diffusion and Starch Gelatinization During Corn Nixtamalization. Vol. 1 Pages 117-125. In: B. Mckenna (Ed.) *Engineering an Food*. Elsevier Applied Science publ., London, UK.
- Cravioto, R.O. 1945. Nutritive Value of Mexican Tortilla. *Science*. 102:91-93.
- Duffus, C., and Slaughter, C. 1988. *Las Semillas y sus Usos*. Ed. AGTSA, México D. F. Pages 1-28.

Gómez, M.H., McDonough, L.W., Rooney, L.W., and Waniska, R.D. 1989. Changes in Corn and Sorghum During Nixtamalization and Tortilla Baking. I. Food Science 54:330-336.

Gracia, R., y Silva, B.A. 1992. Estudio de Algunas Variables del Proceso de Producción de Tortilla de Maíz a Nivel Planta Piloto y sus Efectos en la Textura de la Masa y la Tortilla. Tesis de Licenciatura. Universidad de Sonora. Hillo. Son.

Hartree, E.F. 1972. Determination of Protein: a Modification of the Lowry that Gives a Linear Photometric Response Analitical Biochemistry 48:422-427.

Hoseney, R.C. 1986. Principles of Cereal Science and Tecnology American Association of Cereal Chemistry. St. Paul Minn.

INEGI, 1994. El Sector alimentario en México. México, D.F.

Kent, N.L. 1983. Technology of Cereals. 3ra. edition. Pergamon Press. Great Britain. p. 27.

Kramer, A. 1973. Food Texture Definition, Measurement of Foods. D. Reidel Publishing Company. Dordrecht, Holanda.

Laemmli, U.K. 1970. Cleavage of Structural Proteins During the Assembly of the Head of Bacteriophage T4. Nature (London) 227:680.

Ortega, F. 1992. Evaluación de las Propiedades Reológicas y Texturales de la Masa y la Tortilla de Maíz de dos Tortillerías Comerciales. Tesis de Licenciatura. Universidad de Sonora. Hillo. Sonora.

Paredes-López, O., and Saharópulus, M.E. 1982. Scanning Electronmicroscopy Studies of Limed Corn Kernels for Tortilla Making. J. Food Tech. 17:687-693.

Paulis, J.W., Bietz, J.A., and Wall, J.S. 1975. Corn Protein Subunits, Molecular Weight Determinated by Sodium Dodecyl Sulfate Polyacrilamide Gel Electrophoresis. J. Agric. Food Chem. 23:197.

Paulis, J.W., and Wall, J.S. 1979. Distribution and Electrophoretic Properties of Alcohol-Soluble Proteins in Normal and Hight-Lysine Sorghums. Cereal Chem. 56:20.

- Pflugfelder, R.L. 1986. Dry Mater Distribution on Comercial Alkaline Cooking Process for Production of tortillas and Snack Foods. Tesis de Doctorado. Texas A&M University, College Station, Tx.
- Pflugfelder, R.L., Rooney, L.W., and Waniska, R.D. 1988. Dry Matter Losses in Comercial Corn Masa Production Cereal Chem. 65:127-132.
- Potter, N.N. 1978. *La Ciencia de los Alimentos*. Edit. ~~Butex~~, S. A. Primera Edición. México, D. F. p. 509.
- Ramírez, B. 1989. Measurement and Evaluation of Textural and Rheological Properties of Fresh Corn Masa. Tesis de Doctorado. Texas A&M University, College Station, Tx.
- Ramírez-Wong, B., Sweat, V.E., Torres, P., and Rooney, L.W. 1993. Development of Two Instrumental Methods for Corn Masa Texture Evaluation. Cereal Chem. 70:286-290.
- Ramírez-Wong, B., Sweat, V.E., Torres, P., and Rooney, L.W. 1994. Cooking Time, Grinding, and Moisture Content Effect on Fresh Corn Masa Texture. Cereal Chem. 71(4):337-343.

Rooney, L.W., and Serna-Saldivar, S.O. 1987. Food Uses Whole Corn and Dry-Milled Fractions. Pages 399-429 in: Corn: Chemistry and Technology. S. A. Watson and Ramsted, eds. Am. Assoc. Cereal Chem. St. Paul MN.

Salunke, D.K., Chavan, J.K., and Kadam, S.S. 1985. Postharvest Biotechnology of Cereals. Press Inc. Boca Raton Fl. p.95.

Torres, P., and McDonough, C. 1986. Evaluation of Microwave, Infrared, and Convection Oven Drying Methods for Moisture Determination in Masa. Presented at the Second Mexican Food Short Course, Texas A&M, College Station.

Torres, P. 1988. Characteristics of Dough and Tortillas Prepared with Composite Wheat-Sorghum Flours. Tesis de Maestría. Texas A&M University, College Station, Tx.

Vivas-Rodriguez, N.E., Waniska, R.D., and Rooney, L.W. 1987. Effect of Tortilla Production on Proteins in Sorghum and Maize. Cereal Chem. 64(6):384-389.

Vivas-Rodriguez, N.E. 1988. Changes in Protein of Sorghum, maize and Pearl Millet During Food Processing and Variability of Proteins in Sorghum Cultivars. Disertación de Doctorado. Texas A&M University.