



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTILÁN**

**INFLUENCIA DEL ALMACENAMIENTO REFRIGERADO EN
LA VIDA ÚTIL DE TORTILLAS DE MAÍZ ADICIONADAS
CON UN MEJORADOR DE TEXTURA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA EN ALIMENTOS

P R E S E N T A :

ALEJANDRA ARAUJO GODÍNEZ

ASESORES:

IBQ. NORMA BEATRIZ CASAS ALENCASTER

I.A. ALFREDO ÁLVAREZ CÁRDENAS



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN

DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E



ATN: L. A. ARACELI HERRERA HERNANDEZ
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 26 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos
comunicar a usted que revisamos la Tesis:

Influencia del almacenamiento refrigerado en la vida útil de tortillas de maíz
adicionadas con un mejorador de textura

que presenta la pasante: Alejandra Araujo Godínez
con número de cuenta: 40500069-8 para obtener el título de :
Ingeniera en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en
el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E

“POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 18 de Septiembre de 2009.

PRESIDENTE IBQ. Norma Beatriz Casas Alencáster

VOCAL I.A. Manuel Alarcón López

SECRETARIO I.A. Guadalupe López Franco

PRIMER SUPLENTE I.A. Patricia Muñoz Aguilar

SEGUNDO SUPLENTE M.C. Enrique Martínez Manrique

AGRADECIMIENTOS

Madurez es perseverancia, es la habilidad para cumplir las metas y sacar adelante un proyecto o una situación a pesar de las dificultades; es humildad, es ser suficientemente grande para decir “me equivoqué” y, cuando se esté en lo correcto, la persona no necesita experimentar la satisfacción de decir “te lo dije”; es confiabilidad cuando se mantiene la palabra y se superan las crisis. Los inmaduros son maestros de la excusa, son los confusos y desorganizados, sus vidas están llenas de promesas rotas, amigos perdidos, negocios sin terminar y buenas intenciones que nunca se convierten en realidad.

*Le doy gracias a **Dios** por todo lo que me ha dado y por permitirme llegar a este momento tan importante de mi vida.*

Agradezco también:

*A mis padres **Carlos y Seve**, por su apoyo incondicional y por todas las noches de desvelo que pasaron a mi lado y que hoy rinden su fruto; a mis hermanas **Marlene, Gisela y Karla**, por sus consejo y su compañía; a mis sobrinos **Carlos y Josué** y a mi cuñado **Alfredo**, por darme momentos felices.*

Gracias a mis asesores y a todos los que hicieron posible la realización de este proyecto por prestarme atención y paciencia.

Con amor, admiración y respeto:

Alejandra

ÍNDICE

Introducción.	i
Resumen.	iv

Capítulo 1. Marco teórico

1.1 El maíz.	1
1.1.1 El grano de maíz.	1
1.1.2 Tipos de maíz: subespecies actuales.	3
1.1.3 Composición química del maíz.	4
1.2 La tortilla.	6
1.2.1 Composición química de la tortilla.	6
1.2.2 Mejoramiento de la calidad de la tortilla de maíz.	7
1.3 Proceso de elaboración de la tortilla.. . . .	8
1.3.1 Nixtamalización.	8
a) Estructura del gránulo de almidón.	10
b) Gelatinización del gránulo de almidón.	12
c) Retrogradación del gránulo de almidón.	13
1.3.2 Masa Fresca.	14
1.3.3 Harina de Maíz Nixtamalizado.	14
1.4 Importancia de la textura en las tortillas.	16
1.4.1 Propiedades de textura importantes en la tortilla.. . . .	16
1.4.2 Métodos para la evaluación de las propiedades de textura.	17
a) Pruebas subjetivas.	17
b) Pruebas objetivas.	18
1.5 Aditivos empleados en la elaboración de tortillas.	19
1.5.1 Conservadores.	19
1.5.2 Mejoradores de textura.	20
1.6 Cadena de frío.	22
1.6.1 Enfriamiento rápido.	23

1.6.2 Almacenamiento en refrigeración.	. . .	25
a) Temperatura.	. . .	26
b) Humedad relativa (%).	. . .	26
c) Circulación de aire.	. . .	27
d) Envase y embalaje.	. . .	28
Capítulo 2. Metodología de Investigación Experimental		
2.1 Objetivos.	. . .	30
2.2 Cuadro metodológico.	. . .	31
2.3 Materiales.	. . .	32
2.4 Métodos.	. . .	34
2.4.1 Actividades preliminares.	. . .	34
2.4.2 Actividades del Objetivo 1.	. . .	40
2.4.3 Actividades del Objetivo 2.	. . .	43
Capítulo 3. Resultados y Discusión		
3.1 Pruebas de textura.	. . .	45
3.1.1 Rolabilidad.	. . .	45
3.1.2 Extensibilidad.	. . .	51
3.1.3 Tensión.	. . .	57
3.2 Enfriamiento de tortillas.	. . .	65
3.2.1 Rapidez de enfriamiento.	. . .	65
Conclusiones.	. . .	68
Bibliografía.	. . .	70
Anexos.		

TABLA DE NOMENCLATURA

NOMENCLATURA	SIGNIFICADO
MF	Masa Fresca
HMN	Harina de Maíz Nixtamalizado
M _x	Masa de Mezcla
H ₂ O	Agua
MFMN	Masa Fresca de Maíz Nixtamalizado
MHMN	Masa de Harina de Maíz Nixtamalizado
X _{MF}	Fracción de humedad de Masa Fresca
X _{MFMN}	Fracción de humedad de Masa Fresca de Maíz Nixtamalizado
X _{HMN}	Fracción de humedad de Harina de Maíz Nixtamalizado
X _{MHMN}	Fracción de humedad de Masa de Harina de Maíz Nixtamalizado
X _{M_x}	Fracción de humedad de Masa de Mezcla
MFCCCM	Masa Fresca de Maíz Nixtamalizado Con Conservador Con Mejorador
MFCCSM	Masa Fresca de Maíz Nixtamalizado Con Conservador Sin Mejorador
MFSCCM	Masa Fresca de Maíz Nixtamalizado Sin Conservador Con Mejorador
MFSCSM	Masa Fresca de Maíz Nixtamalizado Sin Conservador Sin Mejorador
MHCCCM	Masa de Harina de Maíz Nixtamalizado Con Conservador Con Mejorador
MHCCSM	Masa de Harina de Maíz Nixtamalizado Con Conservador Sin Mejorador
MHSCCM	Masa de Harina de Maíz Nixtamalizado Sin Conservador Con Mejorador
MHSCSM	Masa de Harina de Maíz Nixtamalizado Sin Conservador Sin Mejorador
MXCCCM	Masa de Mezcla Con Conservador Con Mejorador
MXCCSM	Masa de Mezcla Con Conservador Sin Mejorador
MXSCCM	Masa de Mezcla Sin Conservador Con Mejorador
MXSCSM	Masa de Mezcla Sin Conservador Sin Mejorador

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cortes longitudinal y transversal de un grano de maíz.	2
Figura 2. Proceso de elaboración de tortillas.	9
Figura 3. Representación esquemática de la estructura granular del almidón.	11
Figura 4. Representación esquemática de los cambios en el almidón durante el calentamiento en exceso de agua.	12
Figura 5. Prueba de rolabilidad.	37
Figura 6. Curva modelo de rolabilidad.	37
Figura 7. Prueba de extensibilidad.	38
Figura 8. Curva modelo de extensibilidad.	38
Figura 9. Prueba de tensión.	39
Figura 10. Curva modelo de tensión.	39
Figura 11. Curva modelo de temperatura y humedad relativa.	40
Figuras 13 y 14. Acomodo de tortillas en la cámara de refrigeración.	42
Figura 15. Prueba de rolabilidad de tortillas elaboradas con MFMN, MHMN y Mx (día 0).	47
Figura 16. Prueba de rolabilidad de tortillas de MFMN con conservador, con mejorador.	48
Figura 17. Prueba de rolabilidad de tortillas de MHMN con conservador, con mejorador.	49
Figura 18. Prueba de rolabilidad de tortillas de Mx con conservador, con mejorador.	49
Figura 19. Prueba de extensibilidad en tortillas elaboradas con MFMN, MHMN y Mx (día 0).	55
Figura 20. Prueba de extensibilidad en tortillas de MFMN con conservador, con mejorador.	55
Figura 21. Prueba de extensibilidad en tortillas de MHMN con conservador y con mejorador.	56
Figura 22. Prueba de extensibilidad en tortillas de Mx con conservador y con mejorador.	56
Figura 23. Prueba de tensión en tortillas elaboradas con MFMN, MHMN y Mx (día 0).	60
Figura 24. Prueba de tensión en tortillas de MFMN con conservador y con mejorador.	60
Figura 25. Prueba de tensión en tortillas de MHMN con conservador y con mejorador.	61
Figura 26. Prueba de tensión en tortillas de Mx con conservador y con mejorador.	61
Figura 27. Historias térmicas.	66
Figura 28. Curva de rapidez de enfriamiento.	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química del maíz.	4
Tabla 2. Composición química de la tortilla.	6
Tabla 3. Especificaciones de la HMN.	15
Tabla 4. Especificaciones del mejorador de textura marca Tortillaid 100TM.	22
Tabla 5. Factores de variación.	33
Tabla 6. Lotes de tortillas de acuerdo al tipo de masa.	41
Tabla 7. Probabilidad en la prueba de rolabilidad de tortillas.	45
Tabla 8. Propiedades de textura de tortillas bajo la prueba de rolabilidad.	46
Tabla 9. Probabilidad en la prueba de extensibilidad de tortillas.	52
Tabla 10. Propiedades de textura bajo la prueba de extensibilidad.	53
Tabla 11. Probabilidad en la prueba de tensión de tortillas.	58
Tabla 12. Propiedades de textura bajo la prueba de tensión.	59
Tabla 13. Resultados de la prueba de rolabilidad para las tortillas de maíz el día 0.	63
Tabla 14. Resultados de la prueba de extensibilidad para las tortillas de maíz el día 0.	63
Tabla 15. Resultados de la prueba de tensión para las tortillas de maíz el día 0.	64
Tabla 16. Tiempo y rapidez de enfriamiento de tortillas elaboradas con MFMN, MHMN y Mx.	67

INTRODUCCIÓN

El cultivo y consumo de maíz en México desde la época precolombina y hasta nuestros días ha representado un papel básico en la alimentación de sus pobladores. La riqueza que presenta en cuanto a su posibilidad de uso es muy grande en la industria de alimentos para consumo humano (Rojas, 2001).

El maíz y su principal forma de consumo, la tortilla, son los productos básicos de la alimentación en México, Estados Unidos de América (debido al incremento de la población hispana en dicho país) y en parte de América Central. En zonas rurales de México, la tortilla provee aproximadamente el 50% de las proteínas, 70% de las calorías y 49% del calcio consumido por la población. De acuerdo a la información proporcionada por el INEGI en el año 2000, la tortilla forma parte de la dieta de todos los estratos sociales en México, con un consumo anual aproximado de 12 millones de toneladas (Arámbula y col., 2004).

Aunque el consumo de este producto es alto, no existe homogeneidad en las características de calidad finales de las tortillas producidas comercialmente. Esta variabilidad depende del método utilizado para preparar la harina o la masa, es decir, del proceso de nixtamalización. La masa puede describirse como una mezcla pegajosa de material disperso que consiste de almidón parcialmente gelatinizado, proteínas hidratadas e hidrolizadas, y lípidos, formando redes debido a la interacción de amilosa y los iones de calcio (Arámbula y col., 2001 (a); Arámbula y col., 2001 (b); Clubbs y col., 2008).

Los carbohidratos representan el mayor porcentaje en la composición de los cereales, siendo entre el 50-70% de materia seca; esa cantidad se divide en polisacáridos amiláceos y no amiláceos principalmente. Cuando las tortillas son cocinadas ocurre la gelatinización del almidón (el almidón gelatinizado forma estructuras termodinámicamente inestables). La capacidad de las cadenas de almidón para formar estructuras ordenadas, se denomina retrogradación, la cual influye la textura y vida útil de las tortillas (Gasca y Casas, 2007; Rendón y col., 2006).

Generalmente las tortillas son consumidas el mismo día de su producción, debido a que su alto contenido de humedad, de 45-50% y su actividad acuosa, 0.94-0.98, hacen que el producto sea susceptible a daños en su textura (endurecimiento, pérdida de flexibilidad, etc.) y al ataque de hongos, que se presentan dentro de las primeras horas después de haberse elaborado y se incrementan con el tiempo de almacenamiento a temperatura ambiente (Bello y col., 2005).

Ante esta situación, se han estudiado métodos alternativos para la conservación de las propiedades físicas (olor, color, sabor) y de textura (rolabilidad, extensibilidad, tensión) de las tortillas que son de consumo inmediato o a largo plazo, como la utilización de harina de maíz nixtamalizado (HMN), masa fresca de maíz nixtamalizado (MFMN), o una mezcla de ambas (Mx) en la elaboración de tortillas, además de hacer uso de procesos como la refrigeración y la adición de conservadores y mejoradores de textura, que son la mejor forma de conservarlas (Solano, 2001; Lloyd, 1999; Martínez y col., 2004).

De la misma manera, estos estudios se han venido realizando debido a la gran demanda de tortillas de maíz por parte de los consumidores, que carecen de tiempo para comprar todos los días dicho producto en tortillerías tradicionales. Esto ha dado lugar al empleo industrial de otros métodos que puedan prolongar la vida útil, reducir los efectos de la retrogradación del almidón que causan el endurecimiento del producto y que retrasen el deterioro por presencia de microorganismos (bacterias, hongos, levaduras), conservando sus características de textura.

Sin embargo, hasta la fecha no se han incorporado en un solo proyecto diferentes métodos para la conservación de las tortillas de maíz; razón por la cual la vida útil y las características sensoriales se ven limitadas.

Por esto, el propósito del presente proyecto fue estudiar el efecto de la refrigeración y la adición de un mejorador de textura y conservadores para aumentar la vida útil de tortillas de maíz en tres tipos de masa.

La utilización de HMN para la elaboración de masa y su adición a la MFMN se realizó debido a que hoy en día es una práctica común en muchas de las tortillerías tradicionales, ésto con la

finalidad de incrementar el rendimiento de la masa, controlar su humedad y blanquear el color de las tortillas. Además, la adición de sorbato de potasio y ácido fumárico como conservadores y el mejorador de textura Tortillaid 100 TM, se emplearon como complementarios al proceso de refrigeración, ya que aumentan la vida útil y favorecen las características de textura de las tortillas de maíz, situación que no se ve reflejada a temperatura ambiente o sin la utilización de algún aditivo.

RESUMEN

La tortilla de maíz es el principal alimento de la población mexicana; sin embargo, pese a su alto consumo, existe una gran variabilidad en las características de calidad de las tortillas producidas comercialmente, principalmente en textura, debida al daño por microorganismos (bacterias, hongos y levaduras). Por esto, para prolongar la vida útil de tortillas de maíz, se analizó la influencia del almacenamiento en refrigeración (4.5° C), la adición de un mejorador de textura (marca Tortillaid 100 TM) y de conservadores (ácido fumárico y sorbato de potasio) sobre las propiedades de textura de tortillas elaboradas con tres tipos de masa, Masa Fresca de Maíz Nixtamalizado (MFMN), Masa de Harina de Maíz Nixtamalizado (MHMN) y la Mezcla (Mx) de ambas, así como el efecto del tipo de masa en la rapidez de enfriamiento de las tortillas. La homogeneidad de las muestras acudiendo a la misma fuente de abastecimiento de Masa Fresca (Molino San Marcos, ubicado en Cuautitlán Izcalli), comprando la Harina de Maíz Nixtamalizado de un mismo lote y verificando que las condiciones de elaboración de cada lote de masa y tortillas fueran las mismas. Los niveles de variación del tiempo de almacenamiento en refrigeración fueron 0, 7, 14, 21 y 28 días y los aditivos se evaluaron en las tortillas dependiendo de su adición (con y sin). Las pruebas efectuadas fueron rolabilidad, extensibilidad y tensión. Todas las pruebas se realizaron empleando un texturómetro (Texture Analyzer TAX T2i). Las tortillas elaboradas de MFMN fueron más rollables, extensibles y resistentes a la ruptura que las elaboradas con Mx y con MHMN, conforme transcurrió el tiempo de almacenamiento, presentándose la mayor variación del día 0 al día 7. Igualmente, la combinación de dos conservadores con refrigeración prolongó la vida útil de las tortillas, mostrándose, además, que el tipo de masa no influye en la rapidez de enfriamiento, pero sí en las propiedades de textura. La adición del mejorador de textura no tuvo impacto, en las propiedades de textura de la mayor cantidad de tortillas, por lo cual se recomienda utilizar otro tipo de aditivo o alguna marca diferente. Con el presente estudio, se pretende establecer un método alternativo para prolongar la vida útil de tortillas de maíz, así como para lograr la exportación de un producto mexicano a otros países, conservando (el mayor tiempo posible) sus propiedades de textura.

Capítulo 1

Marco Teórico

1.1. EL MAÍZ

El maíz ha sido alimento, moneda y religión para el pueblo de México. Durante siglos, la historia nacional y las condiciones de vida de los mexicanos han estado asociadas estrechamente a su cultivo. El maíz era tan importante en las sociedades mesoamericanas que muchas ceremonias se dedicaban a Centeótl, dios azteca del maíz, o a Yum Kaak, dios del maíz y de la vegetación en la cultura maya (Figueroa, y col., 1994).

Desde su domesticación, el maíz ha influido en el desarrollo de las grandes civilizaciones de Mesoamérica. En el México moderno, el maíz representa el componente más importante de la producción agrícola, pues ocupa la mitad de la superficie destinada a la agricultura (Figueroa y col., 1994).

1.1.1. El grano de maíz

El grano de maíz se clasifica botánicamente como una cariósida, seco, indehiscente, con una semilla por fruto. En esta clase de fruto el ovario maduro no se separa fácilmente de la semilla, que es una característica de todos los granos de cereales. El grano de maíz se adhiere a la mazorca a través del pedículo. Además, durante el desarrollo del grano los nutrientes (minerales, agua, etc.) se conducen por el pedículo transportando los productos de la fotosíntesis. Una vez que el grano ha madurado, el pedículo sirve de sellador, sus partes anatómicas son el germen, endospermo, aleurona, punta y pericarpio (Figura 1). Al desprenderse el grano del carozo queda una estructura cónica adherida al diente de maíz conocido como cabeza o punta (Rojas, 2001).

Los granos de maíz son heterogéneos, tanto en su tamaño como en su forma. Las dimensiones oscilan entre 8 y 17mm, para el grande, y entre 5 y 15mm, para el pequeño. El peso medio es de 285mg. El grano puede ser redondo o dentiforme.

Lo que caracteriza al grano de maíz dentro de los cereales es la importancia del germen (12%) debido a la proporción de materias grasas que en él se concentran (Callejo y col., 2002).

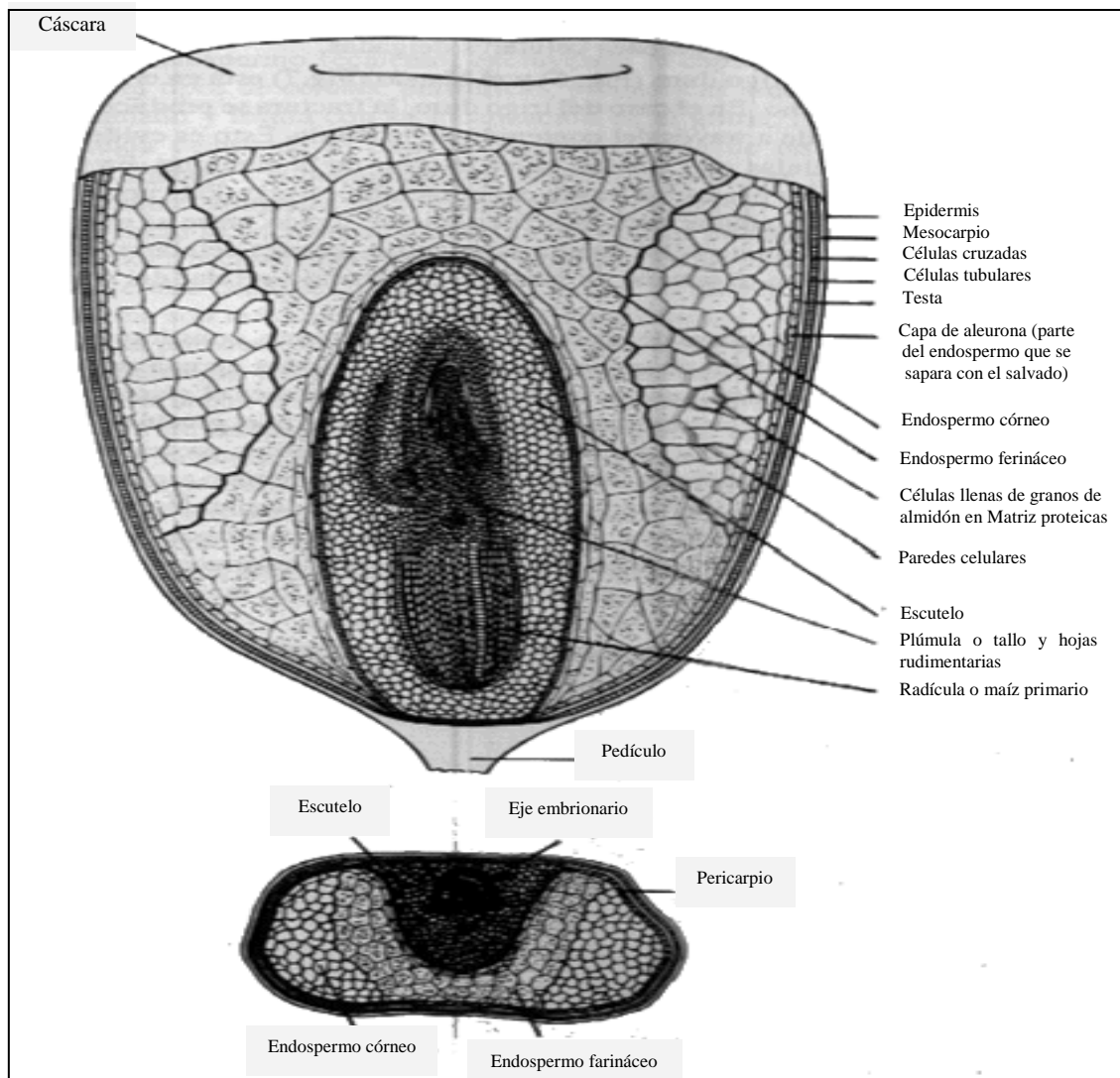


Figura 1. Cortes longitudinal y transversal de un grano de maíz (Callejo y col., 2002).

Germen. Constituye del 10-12% del peso seco del grano y su función es la alimentación, pues ayuda a la digestión del endospermo durante el crecimiento inicial de la semilla. El germen está compuesto por el embrión y el escutelo. El escutelo funciona como órgano nutritivo del embrión y se le conoce como la primera hoja. (Rojas, 2001).

Endospermo. Constituye del 82-84% del peso seco del grano y es 86-89% almidón. Está compuesto de paquetes de células elongadas con gránulos de almidón de 5-30 micras. El almidón del endospermo es de dos tipos: harinoso (es ligeramente opaco) y córneo (es vítreo).

Aleurona. Es una capa de células simples localizadas entre el endospermo y el pericarpio, ocupa alrededor del 2% (en base seca) del grano del maíz. Esta capa cubre completamente al endospermo y al germen.

Pericarpio. Es la pared del ovario maduro y comprende todas las capas exteriores de la célula hasta el recubrimiento de la semilla. A lo largo de su superficie interior se adhiere a la cubierta de la semilla o testa. El pericarpio representa del 5-6% de peso seco del grano, y sus capas están compuestas de células muertas, epidermis, células cruzadas y tubulares (Rojas, 2001).

1.1.2. Tipos de maíz: subespecies actuales

Un relativo aislamiento geográfico, combinado con algunas hibridaciones, ha dado lugar a tipos de granos con diferentes utilidades. La obtención de híbridos mediante cruza controladas da buenos resultados: los híbridos son uniformes y dan rendimientos más elevados.

Maíz dentado amarillo (Indentata). Su forma recuerda a un diente de caballo. El grano es relativamente blando y presenta una depresión, debida a una retracción durante el secado. Su uso principal es en la elaboración de masa para tortillas.

Maíz vítreo (Indurata). Granos muy duros con una capa de aleurona muy dura, desventajosa para el procesado o alimentación. Forma redonda. Variedades blancas y amarillas.

Popcorn (Everta). Casi enteramente vítreo, con la excepción de una parte central, que después del calentamiento del grano, explota, alcanzando treinta veces o más su volumen.

Maíz dulce (Saccharata). Se consume hervido. Cosechado en una etapa tardía de su desarrollo. Acumula carbohidratos en forma de bajo peso molecular (polímeros de glucosa y azúcares solubles).

Maíz blanco. Preferido en la molienda seca por el sabor ligero y atractiva apariencia de harinas y sémolas. Carece de xantofilas y carotenos. Se utiliza en la elaboración de harina.

Maíz waxy (Cerotina). Compuesto casi totalmente por amilopectina responsable de una textura viscosa glutinosa no gelificante en la cocción.

Amylomaíz (Amylacea). Ha sido producido para tener un elevado contenido de amilosa en su almidón (80%). Tienen un alto contenido de proteína y grasa pero menor contenido en almidón (Callejo y col., 2002).

De las subespecies mencionadas, la más utilizada para la elaboración de tortillas, principalmente de masa fresca, es el maíz dentado amarillo; mientras que para la elaboración de harinas de maíz nixtamalizado, es común utilizar maíz blanco, debido a que carece de carotenos y no otorga el color amarillo-naranja característico de la masa fresca.

1.1.3. Composición química del maíz

Los principales componentes químicos del maíz son los carbohidratos (almidón, fibra, azúcares), proteínas, lípidos, minerales y otras sustancias orgánicas como vitaminas.

Tabla 1. Composición química del maíz

Parte del grano	Porcentaje en peso	Composición (% S. S. S.)					
		Almidón	Proteína	Lípidos	Azúcares	Cenizas	FCH ¹
Grano entero	100	72	10	5	2	1.4	9
Endospermo	83	87	9	1	0.5	0.2	2
Germen	12	8	20	34	12	10	16
Pericarpio (salvado)	5	7	4	1	0.5	0.3	84

(1) FCH = Fibra cruda más hemicelulosa

(Callejo y col., 2002)

Carbohidratos. El almidón es el mayor componente del maíz, del cual el 87% se encuentra en el endospermo. El almidón está constituido por dos tipos de moléculas; un polímero lineal que es la amilosa, y un polímero ramificado, que es la amilopectina, estas difieren en cuanto a peso molecular y estructura química entre otras cosas. La proporción de amilosa y amilopectina en almidones normales es de 27% y 73% respectivamente. La amilosa no es verdaderamente soluble en agua, pero forma micelas hidratadas (Hoseney, 1991).

El grano de almidón es insoluble en agua fría. Cuando se calienta con agua, la absorbe y se hincha; este fenómeno se llama gelatinización (Rojas, 2001).

Proteínas. El maíz contiene cuatro tipos de proteína que son clasificadas de acuerdo a su solubilidad; así, se tiene que las albúminas son solubles en agua, las globulinas en sales, las prolaminas en etanol al 70-80% y las gluteninas en hidróxido de sodio. Las proteínas que predominan en el maíz son las prolaminas y de este grupo la zeína representa el 50% del total de las proteínas, siguiéndole en importancia las globulinas. Las proteínas insolubles (prolaminas y glutelinas) se consideran como proteína de reserva (Hoseney, 1991).

Lípidos. Los lípidos de maíz se encuentran principalmente como triglicéridos de ácidos grasos y los principales son el ácido linoleico (59%), oleico (27%) y palmítico (12%).

Fibra cruda. La celulosa forma las paredes de las células. El pericarpio se compone de 40% de celulosa y 40% de hemicelulosa. La fibra cruda se encuentra en el pericarpio del 41-46% del total (Hoseney, 1991).

Azúcares. Son principalmente sacarosa, glucosa y fructosa en cantidades de 1-3%. Los azúcares se han encontrado en todo el grano, sin embargo, se ha comprobado que el embrión y el germen contienen 70% del azúcar total (Hoseney, 1991).

Minerales. Están formados por fosfatos, y sulfatos de potasio, magnesio y calcio. El maíz es una fuente importante de selenio (0.08mg/kg), potasio (0.08mg/kg), magnesio (0.37mg/kg), cloro (0.12mg/kg), calcio (0.05mg/kg), sodio (0.03mg/kg), fósforo (0.29mg/kg) y azufre (0.14mg/kg), entre los más importantes (Hoseney, 1991).

Vitaminas. El maíz contiene dos vitaminas liposolubles, la vitamina A y la vitamina E; además, vitaminas hidrosolubles como tiamina (4.0µg/g), riboflavina (1.1µg/g), biotina (0.1µg/g), niacina (19µg/g), ácido pantoténico (5.3µg/g), ácido fólico (0.4µg/g), piridoxina (5.3µg/g), colina (445µg/g) (Rojas, 2001).

1.2. LA TORTILLA

La tortilla, diminutivo de torta (“pan de maíz”), se ha constituido en el alimento más característico e importante de México y algunos países de Centroamérica. La historia de la tortilla se remonta al origen de nuestras raíces indígenas; las etapas básicas para la preparación de tortillas han permanecido inalteradas desde esas épocas. En la actualidad, el consumo de las tortillas se ha extendido por los Estados Unidos de Norteamérica. La tortilla se emplea como producto básico para la elaboración de innumerables alimentos tradicionales como son las botanas, totopos, tacos, tostadas, enchiladas y nachos, entre otros. En México la tortilla forma parte de la dieta de todos los estratos sociales con un consumo per cápita de 120 kg anuales; en zonas rurales provee aproximadamente el 70% del total de las calorías y el 50% de las proteínas ingeridas diariamente (Figuroa y col., 1994).

1.2.1. Composición química de la tortilla

De acuerdo a la NOM-187-SSA1/SCFI-2002 (Productos y servicios. Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración y establecimientos donde se procesan), la tortilla es el producto elaborado con masa que puede ser mezclado con ingredientes opcionales sometido a cocción.

La tortilla de maíz a partir de harina de maíz nixtamalizada no pierde su valor nutritivo, prácticamente retiene más nutrientes que las elaboradas con el nixtamal hecho de casa, porque pierde menos sólidos (Tomado de Rojas, 2001).

Tabla 2. Composición química de la tortilla.

	Base seca					Vitaminas (g/kg)	Calcio (g/kg)
	Proteínas (%)	Carbohidratos (%)	Lípidos (%)	Fibra cruda (%)	Minerales (%)		
Tortilla de maíz (MASECA)	10.4	78.0	4.6	4.0	0.9	0.6	0.198

(Rojas, 2001)

1.2.2. Mejoramiento de la calidad de la tortilla de maíz

La composición química del grano de maíz se halla estrechamente ligada con sus propiedades físicas. Así, la dureza del grano guarda relación directa con el contenido de proteína y con la proporción de las fracciones de amilosa y amilopectina en el almidón.

El almidón, en la elaboración de tortillas, reviste gran importancia, ya que se le considera el responsable de las propiedades reológicas y de textura, que definen la calidad del producto final. La proporción de amilosa y amilopectina del almidón tiene un gran efecto, pues aquellas elaboradas con una alta proporción de amilopectina presentan óptimas condiciones de elasticidad y suavidad (Torres y col., 1996).

En la producción de tortillas de maíz se tienen tres operaciones básicas: nixtamalización, molienda y la manufacturación de tortilla a partir de la masa; la brevedad del tiempo en que la masa se produjo, propició el desarrollo de la industria de la harina nixtamalizada, que por las ventajas (reduce las mermas y el desperdicio del maíz, evita la pérdida de los nutrientes, y proporciona una mayor rendimiento en la producción de tortillas), ha incrementado su consumo, y se han innovado las tecnologías de su producción. Para lograrlo se busca procesar maíces que minimicen las pérdidas y proporcionen harinas cuyas tortillas sean de color blanco, entre otros. Esto último se ha logrado procesando maíces blancos y reduciendo la cantidad de cal, así como la adición de fibra sintética, con lo cual se obtienen tortillas más suaves y blancas (Torres y col., 1996).

La tortilla, por su alta actividad acuosa ($a_w = 0.96$) es muy sensible al ataque de microorganismos (hongos, levaduras y bacterias), lo que aunado a la reducción de su alcalinidad ($pH = 6.5$) y la contaminación debida a las pobres condiciones sanitarias bajo las que se elaboran, reduce la vida de anaquel de este producto (Torres y col., 1996).

En climas templados, las tortillas obtenidas siguiendo el proceso tradicional tienen una vida de anaquel de tres días a temperatura ambiente, y se logra incrementar este periodo con el uso de refrigeración, conservadores y acidificantes hasta por 60 días (Torres y col., 1996).

En los últimos años han aparecido en el mercado nacional diferentes marcas de tortillas empacadas, las cuales contienen conservadores u otras sustancias químicas; sin embargo, se desconoce si las sustancias utilizadas son permitidas para consumo humano y cuál es su efecto cuando se adicionan a un producto que se consume en forma significativa (Torres y col., 1996).

1.3. PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA TORTILLA

1.3.1. Nixtamalización

El proceso de nixtamalización, significa “maíz cocido con cal”, (Figura 2) se ha empleado desde tiempos remotos para preparar la tortilla, uno de los alimentos más importantes para la población de Mesoamérica. Este proceso consiste en el cocimiento del grano de maíz en abundante agua, 1kg de grano de maíz por cada 2 o 3L de agua, adicionada con un álcali, preferentemente Ca(OH)_2 , y sometido a temperaturas ligeramente menores a la de ebullición, durante 30 a 45 minutos, dependiendo de la dureza del maíz (a mayor dureza, mayor tiempo). Después del cocimiento, el grano cocido se deja reposar entre 12 y 14 horas en la solución alcalina. La solución alcalina, denominada “nejayote”, se desecha y el grano se lava ligeramente. Este producto se denomina “nixtamal”. El nixtamal se muele en molinos de piedra y se obtiene la masa, la cual desarrolla propiedades de cohesión y adhesión características. Ésta se moldea en forma de discos aplanados de 12 a 18cm de diámetro y entre 1 a 3mm de espesor, después se cuece, colocándola sobre una superficie caliente ($260\text{-}320^\circ\text{C}$) denominada comal (ó en su defecto, se utilizan máquinas tortilladoras que incluyen un sistema de moldeado y cocción), durante 27s por un lado, se voltea y se deja durante 27s, se vuelve a exponer por el primer lado, se deja durante el tiempo suficiente para que infle y se forme la “ampolla”, momento en el que se retira del comal (Arámbula y col., 2001 (a)).

Durante el proceso de nixtamalización ocurren una serie de cambios en los componentes del grano de maíz que contribuyen a darle las características propias de textura a la masa y tortilla. Siendo el almidón el componente mayoritario en este cereal, las modificaciones que sufra repercutirán de manera importante en las propiedades de la tortilla, la cual presenta una red

estructural formada por los gránulos de almidón fundidos durante el cocimiento (Salinas y col., 2003).

Anteriormente se creía que durante la nixtamalización, una gran parte de los almidones eran gelatinizados, sin embargo hoy, con el uso de técnicas más modernas se sabe que sólo una porción pequeña, que no sobrepasa el 15% (del almidón total), es la que se gelatiniza (Salinas y col., 2003).

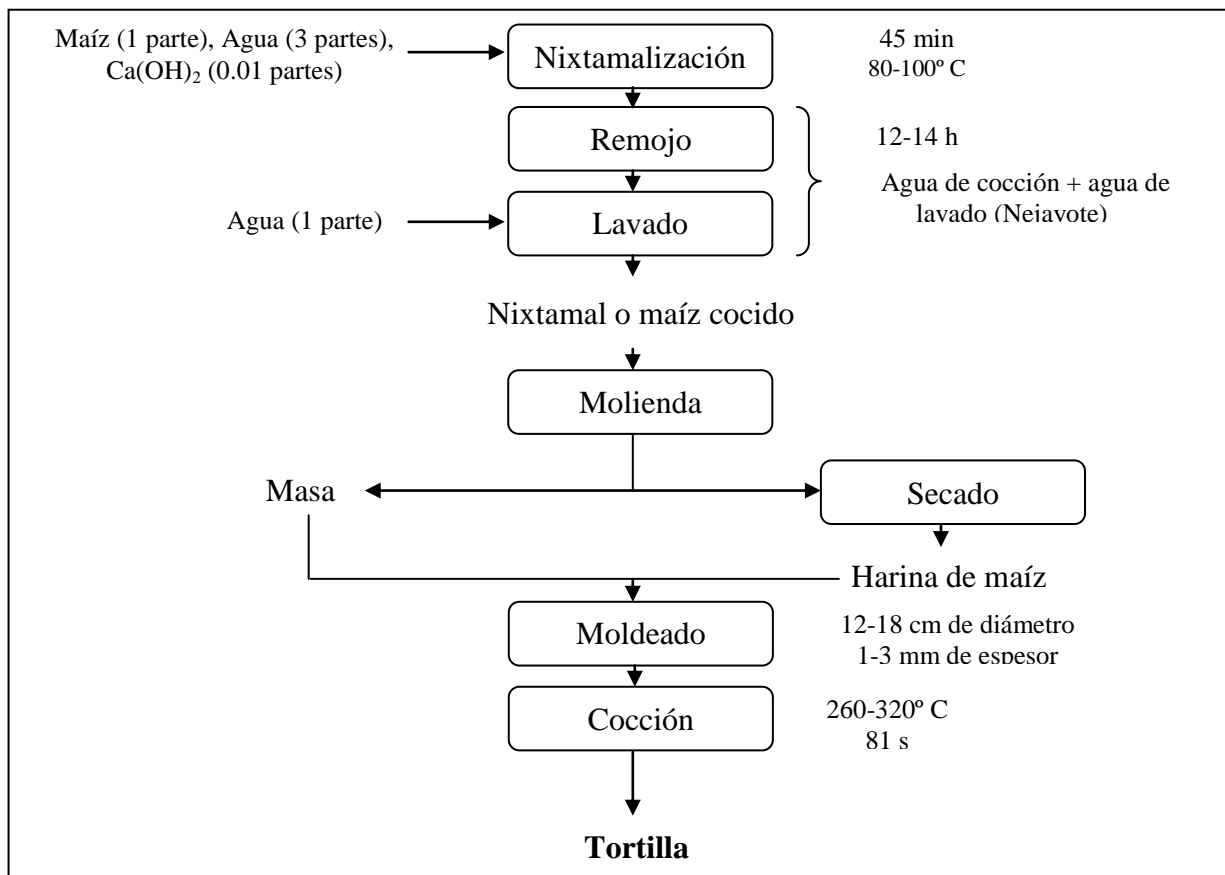


Figura 2. Proceso de elaboración de tortillas (Torres y col., 1996)

La nixtamalización implica un tratamiento selectivo de las proteínas del maíz, ya que durante el proceso de cocimiento alcalino, la zeína, una proteína nutricionalmente pobre, reduce su solubilidad (quedándose en el endospermo principalmente), mientras que la glutelina, de mayor valor nutricional, incrementa su solubilidad (debido a la desnaturalización), quedando disponibles algunos aminoácidos esenciales, como lisina y triptófano, para la posterior elaboración de masa y tortillas (Figuroa, 1994).

Por otro lado, la dureza del grano determina en gran medida el tiempo de nixtamalización requerido por un maíz para obtener una masa con características de calidad adecuadas para preparar tortillas, de manera que los maíces duros requieren tiempos de cocimiento más largos que los suaves. En los maíces duros, el acceso del agua y los agentes gelatinizantes hacia el gránulo de almidón se dificulta más que en los maíces suaves, por encontrarse embebidos en una densa matriz proteínica y completamente rodeados por numerosos cuerpos de zeína, lo que le confiere al endospermo una estructura sólida y compacta. Al prolongar el tiempo de cocimiento en estos maíces, se busca lograr la parcial gelatinización de los almidones que permita que la masa adquiera las propiedades de adhesividad y cohesividad necesarias para poder elaborar las tortillas, por lo que los tiempos asignados deben ser los adecuados para permitir que cada maíz desarrolle su máximo potencial en la elaboración de tortillas (Salinas y col., 2003).

Al mismo tiempo, se originan reacciones bioquímicas, entrecruzamientos e interacciones moleculares que modifican tanto las características fisicoquímicas, estructurales y reológicas de la masa, como las propiedades estructurales y de textura de la tortilla producida. Un alto porcentaje de estos cambios se debe a modificaciones en la estructura del almidón (Figueroa y col., 1994).

a) Estructura del gránulo de almidón

El almidón existe en entidades discretas semicristalinas, las cuales reciben el nombre de gránulos. El tamaño, la forma y la estructura de los gránulos difieren sustancialmente entre fuentes botánicas; los diámetros varían en un rango de 1 a 200 μm ; las formas pueden ser elípticas, esféricas o angulares; simples o compuestas. Existe amplia diversidad en la estructura y las características del gránulo de almidón nativo incluyendo variación significativa entre gránulos de una misma especie. El almidón está compuesto por dos biopolímeros, diferentes en su estructura:

1. La amilosa es un polímero esencialmente lineal compuesto enteramente por enlaces α -1-4 D-glucopiranosas, aunque se presentan algunas ramificaciones en este polímero. La amilosa se representa como una estructura de cadenas rectas, aunque usualmente existe

en forma de hélice, lo cual le permite formar complejos con ácidos grasos libres, mono y diglicéridos, alcoholes lineales y yodo (Sandoval y col., 2005).

2. La amilopectina es la molécula predominante del almidón y es un polímero ramificado de mayor tamaño que la amilosa, compuesta por segmentos unidos por enlaces α -1-4 glucosa, conectadas por ramificaciones de enlace α -1-6.

La amilopectina es la responsable de la forma del gránulo de almidón, el cual consiste de áreas cristalinas (cristales, micelas) y no cristalinas (amorfos, fase gel), arregladas en capas concéntricas (Figura 3). Las capas cristalinas están formadas por dobles hélices de las ramificaciones de la amilopectina, mientras que los puntos de ramificación están en las zonas amorfas. El almidón presenta un grado de cristalinidad entre 20 y 40% (Sandoval, 2005 y col.).

Conceptos modernos consideran el gránulo de almidón como un polímero vítreo, el cual existe en estado vítreo hasta que por calentamiento alcanza la temperatura de transición vítrea (T_g), donde las moléculas pierden su organización y el polímero se vuelve gomoso. Con el calentamiento adicional eventualmente alcanza la temperatura de fusión (T_f), en la cual el gránulo pierde su organización completamente (Figura 4) (Sandoval y col., 2005).

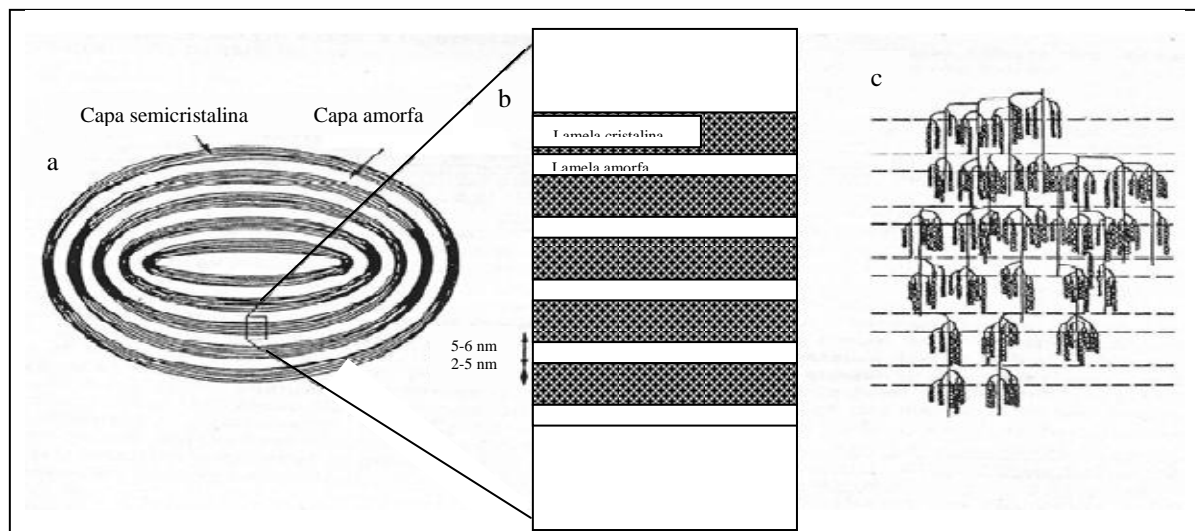


Figura 3. Representación esquemática de la estructura granular del almidón: (a) un gránulo con capas amorfas y semicristalinas, (b) vista expandida de la capa semicristalina de un anillo creciente, (c) estructura de la amilopectina dentro de una capa semicristalina (Sandoval y col., 2005).

La transición vítrea se induce por el cambio de temperatura de un polímero amorfo vítreo a un estado progresivamente gomoso cuando se calienta. La evidencia directa de la transición vítrea se caracteriza por un incremento en la capacidad calorífica (ΔC_p) de la muestra, la cual al ser reversible puede ser medida durante el calentamiento o enfriamiento. Sin embargo, la determinación con exactitud de esta temperatura es difícil principalmente porque el cambio es pequeño. La temperatura de transición vítrea (T_g) se puede determinar como el punto medio del cambio en la capacidad calorífica de la muestra (Agama y col., 2004; Sandoval y col., 2005).

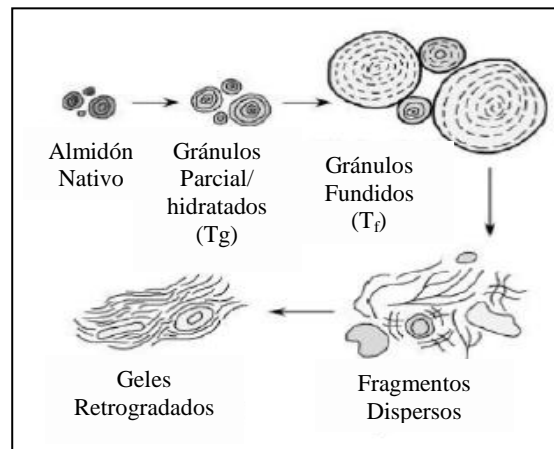


Figura 4. Representación esquemática de los cambios en el almidón durante el calentamiento en exceso de agua (Sandoval y col., 2005).

Los dos fenómenos más importantes que le ocurren a los gránulos de almidón son: la gelatinización y la retrogradación.

b) Gelatinización del gránulo almidón

El gránulo de almidón está compuesto de moléculas de amilosa y amilopectina asociadas por puentes de hidrógeno, formando una red micelar tridimensional a través de la participación de segmentos de moléculas individuales que unen varias áreas micelares. En estas condiciones el almidón presenta una capacidad de solubilización en agua fría limitada, dependiendo de la disposición natural de sus moléculas (Solano, 2001)

Si la temperatura del agua de cocción se eleva, ocurre la gelatinización en el interior de los gránulos de almidón. Como resultado los gránulos comienzan a manifestar cambios en

propiedades tales como: un hinchamiento granular irreversible debido a la hidratación (que a su vez es consecuencia del rompimiento de los puentes de hidrógeno y de liberación de grupos hidroxilo), disminución de la cristalinidad con la consecuente pérdida de birrefringencia (el fenómeno de birrefringencia es indicativo de una alta organización molecular interna, el almidón refleja doblemente la luz debido a la orientación molecular que presenta dentro del gránulo), aumento de la solubilidad del almidón y el incremento del volumen del gránulo (Miranda, 1995).

Durante la cocción y el reposo del maíz, el endospermo se modifica debido a que algunos gránulos de almidón se hinchan o gelatinizan, mientras que la matriz proteica se hidrata. Los gránulos de maíz nixtamalizado desarrollan buena consistencia cuando se tiene una gran cantidad de almidón gelatinizado. Los almidones sin gelatinizar contenidos en los sistemas continuos de amilosa, amilopectina y proteínas forman masas cohesivas (Rojas, 2001).

De la misma manera, cuando las tortillas son cocinadas, ocurre la gelatinización: el almidón gelatinizado forma geles, que son estructuras termodinámicamente inestables.

c) Retrogradación del gránulo de almidón

La retrogradación se considera como el fenómeno opuesto a la gelatinización. Los polímeros solubles del almidón y los fragmentos insolubles se reasocian después del calentamiento. Eventualmente se forman cristales, acompañados por un incremento gradual en la rigidez y la separación de fases entre el polímero y el solvente (sinéresis). La aparición de cristales influye en la textura, digestibilidad y aceptación de los productos con base en almidón por parte del consumidor (Agama y col., 2004; Sandoval y col., 2005).

La retrogradación del almidón ocurre en dos procesos: rápida gelatinización de amilosa por formación de segmentos de dobles hélices, y lenta recristalización de cadenas cortas de amilopectina (Sandoval y col., 2005).

Durante la gelatinización, al hincharse el gránulo de almidón, las moléculas de amilosa y residuos de amilopectina se lixivian hacia la solución. Posteriormente, al enfriarse la

suspensión, dichas moléculas se reasocian entre sí y los gránulos o residuos de los gránulos presentes forman una malla induciendo la formación de agregados que cristalizan, provocando un aumento en la viscosidad o endurecimiento del gel. Dicho fenómeno se define como la insolubilización y la precipitación espontánea, principalmente de las moléculas de amilosa, debido a que sus cadenas lineales se orientan de forma paralela y se reasocian entre sí por puentes de hidrógeno a través de sus múltiples grupos hidroxilo; esto se puede efectuar por diversas rutas, según la concentración y la temperatura del sistema (Sandoval y col., 2005).

Cuando la fracción de amilosa o las secciones lineales de amilopectina retrogradan, forman zonas con una organización cristalina muy rígida dentro de la propia estructura del almidón. Si esto sucede, se requiere de una energía muy alta para poder romper las cadenas cristalinas (Badui, 2006).

La retrogradación influye en la textura y vida útil del maíz y sus subproductos. En las tortillas, es un problema, ya que después de su elaboración ocurre un endurecimiento y se incrementa la rigidez y la resistencia enzimática a la digestión, debido a la formación de almidón resistente (Rendón y col., 2006).

1.3.2. Masa Fresca (MF)

De acuerdo a la NOM-187-SSA1/SCFI-2002, se le denomina masa, al producto obtenido de la molienda húmeda de granos de maíz nixtamalizado, pudiendo contener ingredientes o aditivos opcionales.

1.3.3. Harina de Maíz Nixtamalizado (HMN)

De acuerdo a la NOM-187-SSA1/SCFI-2002, la harina de maíz nixtamalizado (HMN) es el producto deshidratado que se obtiene de la molienda de los granos de maíz nixtamalizado.

Para la elaboración de HMN (Figura 2), el maíz es cocido en agua con cal y mantenido en reposo al igual que en el método tradicional, o cocido de una forma más intensa en operación

continua, rociando el grano con una solución de cal, antes de ser sometido a cocción con vapor, para después lavarse, molerse, secarse con aire caliente, pulverizarse y separarse por tamaño.

Para la elaboración de harina se utilizan menores temperaturas y tiempos de cocción del maíz, lo que causa una insuficiente absorción de agua, limita su redistribución durante el remojo y restringe el hinchamiento de los gránulos de almidón comparado con lo que ocurre en la masa fresca. El rápido secado de la masa causa una posterior gelatinización parcial y reorientación de los polímeros de almidón. Durante el almacenamiento de la HMN, su rehidratación para la elaboración de masa de harina de maíz nixtamalizado (MHMN) y su utilización para la elaboración de tortillas, los gránulos de almidón parcialmente gelatinizados contienen núcleos que favorecen la recrystalización y retrogradación, lo cual disminuye la cohesividad de la masa. La rehidratación de la masa no es capaz de destruir estos núcleos. Por lo anterior, la retrogradación de la tortilla ocurre muy rápidamente (Gasca y Casas, 2007).

La HMN debe cumplir con las siguientes especificaciones físicas y químicas:

Tabla 3. Especificaciones de la HMN

Especificaciones	Mínimo	Máximo
Humedad (%)	-	11.0
Proteínas (%) (Nitrógeno x 6.25)	8.0	-
Cenizas (%)	-	1.5
Extracto etéreo (%)	4.0	-
Fibra cruda (%)	-	2.0

(NOM-187-SSA1/SCFI-2002)

1.4. IMPORTANCIA DE LA TEXTURA EN LAS TORTILLAS

Las preferencias del consumidor se inclinan hacia las tortillas elaboradas en forma tradicional por su sabor, sus propiedades texturales (rolabilidad, suavidad, flexibilidad) y su mejor desempeño durante el recalentamiento, doblado, enrollado y freído (Gasca y Casas, 2007).

La tortilla de maíz en pocas horas cambia su textura característica, tornándose de suave a dura a medida que se incrementa el tiempo de almacenamiento, lo que hace que muchas personas ya no consuman el producto, sobre todo en regiones o épocas del año donde las condiciones climáticas (temperatura y humedad relativa del ambiente) provocan un endurecimiento más rápido de la tortilla (Bello y col., 2005).

Aunque el consumo de la tortilla es alto, no existe homogeneidad en las características de calidad finales de las tortillas producidas comercialmente. Esta variabilidad se debe, en parte, a la falta de control de calidad, a la baja calidad del grano, a la utilización de equipo de proceso obsoleto y a la deficiencia en equipos/métodos/técnicas probadas, para determinar objetivamente las características de textura de las tortillas (Arámbula y col., 2004).

1.4.1. Propiedades de textura importantes en la tortilla

Durante el proceso de elaboración de tortillas ocurren muchos cambios que afectan sus propiedades de textura. Los más importantes son: la gelatinización y retrogradación del almidón durante y después de la cocción de la tortilla. Estos cambios, propician además, pérdida de flexibilidad y un aumento en la rigidez de las tortillas.

Durante su consumo, la tortilla se dobla, enrolla y rellena (debe soportar peso sin romperse), por lo que las pruebas de textura deben simular su respuesta a estas operaciones ya sea subjetivamente (mediante un panel de jueces) ó utilizando métodos instrumentales.

Por ello es importante realizar determinaciones de las propiedades de textura, lo cual se logra mediante pruebas subjetivas y pruebas objetivas.

1.4.2. Métodos para la evaluación de las propiedades de textura en tortillas

a) Pruebas subjetivas

Los métodos de análisis/evaluación empleados en la industria de la tortilla son en su mayoría sencillos y subjetivos, en gran medida dependientes de la experiencia del operador. Estos métodos son prácticos y adecuados para plantas pequeñas que distribuyen productos de consumo diario en un mercado local limitado donde la demanda es mayor que la oferta. En plantas medianas y grandes que compiten con su calidad en el mercado se requieren métodos más formales (Rojas, 2001).

Estos pueden ser efectuados por un panel de jueces entrenados que establece valores netamente subjetivos para calificar la rolabilidad, suavidad, doblado y flexibilidad de la tortilla, sin embargo pese a que los jueces son entrenados, los resultados de estas pruebas no son tan sensibles como los obtenidos empleando un método instrumental.

- **Técnica de enrollado.**

Consiste en enrollar una tortilla alrededor de un rodillo de madera de 1cm de diámetro. El enrollado es analizado subjetivamente por dos evaluadores capacitados, utilizando una escala de 1= que no se enrolla (la peor) y 5= que no se quiebra (la mejor). Cada evaluador examina, por lo menos, dos tortillas (Lloyd, 1999).

- **Técnica de flexibilidad.**

Dos evaluadores capacitados aprietan con la mano una tortilla y analizan subjetivamente su flexibilidad total (por ejemplo, firmeza y fragilidad). La calificación de flexibilidad es clasificada de 1 = extremadamente firme y frágil a 5 = extremadamente flexible y no se rompe en pedazos. Cada evaluador examina por lo menos dos tortillas (Lloyd, 1999).

- **Técnica de doblado.**

Se coloca una tortilla en el extremo superior de un rodillo de madera de 1cm y se permite que se doble por si misma. El grado de doblado es analizado y calificado por dos evaluadores capacitados que utilizan una escala de 1 = extremadamente recta, no se dobla (plana), a 5 =

extremadamente doblada (a un ángulo de 90 grados). Cada evaluador prueba, por lo menos, dos tortillas (Lloyd, 1999; Suhendro y col., 1998 (a)).

b) Pruebas objetivas

Mediciones objetivas de textura de tortillas han sido reportadas por diferentes investigadores, empleando máquinas de deformación, como son Instron Universal y Texture Analyzer. De esta manera, el grupo de investigación del Cereal Quality Laboratory Soil and Crops Sciences Department of Texas A and M University ha desarrollado una serie de técnicas para medir las propiedades de textura de nixtamal, masa y tortilla utilizando el TA-XT2 Texture Analyzer con dispositivos y pruebas diseñadas específicamente para estos productos. De ello se tiene que para tortillas se realizan pruebas de rolabilidad, extensibilidad (en una y dos dimensiones), tensión, corte, etc.

Estas técnicas han sido ampliamente utilizadas por varios investigadores para diferentes tipos de tortilla (de trigo, de maíz, etc.) (Arámbula y col., 2004; Arámbula y col., 2001(a); Suhendro y col., 1995; Suhendro y col., 1998 (a)), ya que este tipo de pruebas imitan mediciones subjetivas y son sensibles, confiables y apropiadas para detectar cambios en la flexibilidad de las tortillas durante su almacenamiento, por lo que se emplean analizadores de textura (Rojas, 2001).

- **Rolabilidad.**

Para esta medición, se utiliza un texturómetro Texture Analyzer TA XT2i, el cual consta de una base sobre la cual está dispuesto un cilindro giratorio en el que se fija una tortilla por medio de un material elástico (liga) o de una pinza. El cilindro se une al brazo móvil del texturómetro por medio de un hilo. Cuando sube el brazo del texturómetro, el rodillo gira y la tortilla se enrolla. Posteriormente se obtiene una curva Fuerza (N) vs. Tiempo (s), de la cual se extraen fuerza máxima y trabajo total de rolabilidad (Gasca y Casas, 2007; Suhendro y col., 1998 (a)).

- **Extensibilidad.**

El dispositivo de extensibilidad consta de una base de acero inoxidable que tiene en la parte superior un orificio circular y unos tornillos en las esquinas sobre los cuales se inserta la tortilla de manera que quede tensa. Se coloca sobre ella un marco que tiene un orificio y se fija a los tornillos por medio de una tuerca para mantener los tornillos sin movimiento.

El texturómetro se opera en el modo de compresión, y un cilindro de acrílico comprime la tortilla hasta romperla (Gasca y Casas, 2007; Suhendro y col., 1999).

- **Tensión.**

Se utiliza el mismo equipo utilizado para determinar la extensibilidad, con unas pinzas de retención (que deben ser correctamente alineadas verticalmente) entre las que se coloca una tira de tortilla de forma rectangular y se somete a una tensión hasta lograr el rompimiento de las mismas (Gasca y Casas, 2007).

1.5. ADITIVOS EMPLEADOS EN LA ELABORACIÓN DE TORTILLAS

Las tortillas de maíz inmediatamente después de cocidas experimentan el fenómeno de retrogradación del almidón y endurecimiento. Todo procesador de tortilla de maíz busca producir tortillas que conserven su frescura durante el almacenamiento o que antes de su consumo puedan recalentarse, en el hogar o restaurantes, con una completa recuperación de su flexibilidad. Es por lo anterior que se recomienda el uso de aditivos alimenticios que mantengan la humedad, una textura flexible y eviten el deterioro microbiano de las tortillas de maíz durante su almacenamiento (Lloyd, 1999).

1.5.1. Conservadores

Para controlar el crecimiento de bacterias, hongos y levaduras en la tortilla y extender la vida útil, se emplean combinaciones de ácidos y sales que funcionan como conservadores. Los aditivos comúnmente empleados como conservadores incluyen: las sales de potasio, propionato de calcio y propionato de sodio, los cuales son efectivos en condiciones ácidas (pH

= 5.5). El control del pH del producto mediante la adición de ácidos como el cítrico, el fumárico, sórbico y otros, son importantes para optimizar la eficiencia de estas sales como conservadores (Rojas, 2001).

- Sorbato de potasio. Es una sal potásica. Disuelta en agua da el ácido sórbico, con propiedades antibacterianas y antifúngicas. Actúa a pH = 4.5 – 5.5. Sin embargo, su costo es muy elevado (Hughes, 1994).
- Propionato de potasio. Es una sal potásica. Se emplea como conservante en productos de panadería y lácteos. Es eficaz frente a los hongos.
- Ácido fumárico. Tiene un sabor amargo compatible con sabores afrutados. Se obtiene por fermentación bacteriana. Se disuelve lentamente en agua y con frecuencia se utiliza junto con un agente humectante tal como el sulfosuccinato de sodio (Hughes, 1994).

1.5.2. Mejoradores de textura

La adición de hidrocoloides en tortillas, retrasa la retrogradación. Sin embargo, pueden ocurrir interacciones entre el almidón y los hidrocoloides y por consecuencia, disminuir la digestibilidad del almidón (Rendón y col., 2006).

- Gomas. Actúan en la tortilla como retenedores de humedad, inhibiendo la retrogradación y la recristalización del almidón, además de eliminar la adherencia del producto empacado, mejoran la tolerancia a la congelación y aumentan los volúmenes de producción. La adición de gomas xantana, guar, arábica, carboximetilcelulosa y algarrobo hace la masa más firme y cohesiva, reflejándose en una mayor suavidad y flexibilidad de las tortillas (Rojas, 2001).
- Enzimas. Se adicionan a la masa con el propósito de debilitar la estructura de la tortilla y hacerla menos rígida. Por ejemplo: α -amilasa (derivada del *Aspergillus sp.*).

- Emulgentes. Los emulgentes se dividen en tres grandes grupos: 1) aquellos que reducen la tensión superficial en interfases y promueven la emulsión y formación de la fase de equilibrio entre el emulgente y la interfase que estabiliza la emulsión; 2) aquellos que interactúan con el almidón y proteínas (propias del alimento), y que modifican las propiedades de textura y reológicas del alimento; 3) aquellos que modifican la cristalización de lípidos y aceites. De esta forma, los agentes emulgentes que se utilizan en la elaboración de tortillas, pertenecen al grupo 2), principalmente (debido a la composición de las tortillas, ya que son ricas en almidón), siendo: lecitinas, sales sódicas, potásicas, cálcicas, de ácidos grasos alimentarios; mono y diglicéridos de ácidos grasos alimentarios; ésteres acéticos, lácticos, cítricos, tartáricos de mono y diglicéridos de ácidos grasos alimentarios, etc. (Charalambous y Doxastakis, 1989; Multon, 1997).

- Otros. La acción de las proteínas de soya sobre la funcionalidad de ingredientes en diversos sistemas alimentarios, tales como la emulsificación y capacidad de retención de agua, ha sido ampliamente confirmada. Sin embargo, estudios sobre la adición de productos de proteína de soya en las tortillas de maíz (tales como harina de soya integral, harina desengrasada de soya y concentrado de proteína de soya), han sido dirigidos fundamentalmente a mejorar el valor nutrimental de las tortillas de maíz. La fortificación de las tortillas de maíz con proteína de soya, ha resultado de interés por su bajo costo, alto contenido de proteínas y el efecto complementario a las proteínas del maíz (complementación entre proteínas que eleva significativamente la calidad de la proteína en la mezcla). La adición al maíz del 8% de harina desengrasada de soya, (59% de proteína), ha reportado, en repetidos estudios, una calidad proteínica óptima, con respecto a las que no son adicionadas con dichas proteínas (Lloyd, 1999).

El mejorador de textura marca Tortillaid 100TM, es un polvo elaborado a base de harina de trigo, harina de soya desengrasada, carboxi-metil-celulosa, polvo para hornear (carbonato de calcio, bicarbonato de sodio, sulfato de aluminio y sodio, fosfato monocálcico), mono y diglicéridos de ácidos grasos, hidrocoloides de grado alimenticio; listo para ser mezclado con masa de harina de maíz (MHMN), masa fresca de maíz nixtamalizado (MFMN) o la mezcla de

ambas y agua para obtener un producto final con buenas características de flexibilidad y suavidad, sin perder su contenido vitamínico.

Es importante mencionar, que Tortillaid 100TM es aplicado en un rango de dosis de 0.5 –1.0% peso/peso para harina de maíz, o de 0.5 – 0.8% peso/peso para masa de maíz.

Tabla 4. Especificaciones del mejorador de textura marca Tortillaid 100TM

Fisicoquímicas	
pH (1%)	7.0-11.0
Pasa Malla 100	≥80
Sensoriales	
Color	Crema beige
Olor	Característico
Apariencia	Polvo fino

(LLALEMAND MÉXICO, S. A. de C. V.)

Este mejorador, tiene la capacidad de:

- Disminuir los costos e incrementar significativamente el rendimiento en la producción de tortillas de 2 a 3Kg.
- Facilitar el manejo de la masa.
- Mejorar la textura de la tortilla al ser recalentada y brinda mayor vida útil al producto que requiere ser exhibido en anaqueles de aproximadamente 6 días en condiciones apropiadas de almacenamiento.

1.6. CADENA DE FRÍO

La cadena de frío es el conjunto de procedimientos necesarios para la conservación, distribución y manejo de un producto alimenticio dentro de temperaturas apropiadas que garanticen su calidad dentro de la cadena de suministro. Las tres operaciones fundamentales que en ella se realizan son:

1. Almacenamiento.
2. Transporte.
3. Distribución.

La logística a temperatura controlada se encuentra en pleno desarrollo. Así, el transporte de productos perecederos se caracteriza por requerir unas condiciones determinadas con el fin de poder solventar las posibles incidencias que se produzcan a lo largo del recorrido (especialmente en los puntos críticos) (ITENE, 2007).

La pérdida de la temperatura óptima de refrigeración en cualquiera de las etapas de la cadena perjudica la seguridad y la calidad del alimento. Mantener la cadena de frío resulta fundamental para garantizar los niveles de salud pública en materia alimentaria (es decir, la seguridad de los alimentos), por lo que todos los eslabones implicados, desde el primero que se encuentra en la industria agroalimentaria hasta la venta al consumidor final, pasando por las diferentes fases intermedias de transformación y el transporte, tienen responsabilidad de asegurar que el producto llegue en excelentes condiciones al consumidor (ITENE, 2007; Pelayo, 2008).

En el caso específico de las tortillas de maíz, mantener la cadena de frío es imprescindible, ya que tiene la finalidad de preservar las tortillas de temperaturas críticas de riesgo, y así evitar la proliferación bacteriana y/o fúngica. Es decir, si alguno de los puntos de la cadena de frío llegara a verse comprometido, toda ella se vería afectada perjudicando la calidad y seguridad de las tortillas. Por el contrario, si la cadena de frío se mantiene intacta durante la producción, transporte, almacenamiento y venta garantiza al consumidor que el producto que recibe se ha mantenido en un rango de temperatura de seguridad en el que los microorganismos, especialmente los más perjudiciales para la salud si es que existieran, han detenido su actividad (Pelayo, 2008).

1.6.1. Enfriamiento rápido

Actualmente el desarrollo de una sociedad moderna exige, día a día, una mejor aplicación de las bajas temperaturas para la conservación de productos perecederos a fin de satisfacer las necesidades alimentarias de una población en continuo crecimiento (Álvarez, 2007).

En otras palabras, para que la conservación de los alimentos por el frío sea eficaz, deben respetarse tres aspectos básicos:

1. Partir de un producto sano y de calidad.
2. Aplicar el frío tan pronto como sea posible.
3. Mantener la acción del frío de forma constante y en el grado adecuado.

El enfriamiento rápido implica la remoción de calor de productos perecederos para frenar el metabolismo y conservar las propiedades sensoriales de los productos. (Álvarez, 2007).

El éxito del enfriamiento depende principalmente de:

- Rapidez de enfriamiento. Depende principalmente de cuatro factores:
 1. La accesibilidad del producto al medio de refrigeración.
 2. La diferencia en temperatura entre el producto (temperatura inicial) y el medio de enfriamiento.
 3. La velocidad del medio de enfriamiento.
 4. El tipo del medio de enfriamiento.

La experiencia ha mostrado que el efecto del tiempo de enfriamiento varía de un lugar a otro, dependiendo del tipo de producto y del equipo empleado. Sin embargo, está comprobado que es necesario realizar el enfriamiento lo más rápido posible para limitar la multiplicación de microorganismos contaminantes; de esta manera, es recomendable limitar el tiempo de enfriamiento entre la cocción y el almacenamiento (Madrid y col., 2003).

- Sanitización del aire, agua o hielo para reducir la proliferación de microorganismos.
- Mantener la temperatura de conservación indicada después del enfriamiento.

1.6.2. Almacenamiento en refrigeración

Los alimentos envasados de larga duración en almacén son productos alimenticios que se mantienen refrigerados para conservarlos durante más de cinco días. En general, el tratamiento térmico u otros tratamientos de conservación que reciben estos productos no son suficientes para asegurar su esterilidad comercial. La refrigeración es una barrera importante que retrasa el deterioro de los alimentos y la proliferación de la mayoría de los microorganismos patógenos. Corresponde al fabricante asegurar que el producto elaborado es inocuo durante el almacenamiento en refrigeración. Esto puede justificar el uso de barreras a la proliferación microbiana además de la refrigeración (Codex Alimentarius, 1999).

La refrigeración es una buena opción para incrementar la vida útil de las tortillas, ya que inhibe el crecimiento de hongos, bacterias y levaduras. Sin embargo, en México ésta no ha sido una práctica exitosa debido a que los consumidores las prefieren frescas además de que con la disminución de la temperatura se incrementa la retrogradación y el endurecimiento de las tortillas, situación que puede solucionarse empleando mejoradores de textura.

- **Factores que influyen durante el almacenamiento en refrigeración**

Las características del almacenamiento en refrigeración están influenciadas por el tipo de maíz, el tipo de tortilla, y las condiciones de elaboración y manejo del producto antes del almacenamiento.

El menor descuido en la higiene de los alimentos puede provocar intoxicaciones graves entre los consumidores; por lo que es primordial asegurar una calidad bacteriológica irreprochable. Esto solo puede conseguirse utilizando materias primas de buena calidad, manipulando dichas materias primas con limpieza, y evitando la multiplicación de los microorganismos que son susceptibles de encontrarse en el producto terminado. Esto último se controla mediante la utilización del frío y sobre todo por la rapidez de aplicación del mismo (Madrid y col., 2003).

Para evitar esta multiplicación, es indispensable refrigerar el producto, si este no se va a consumir enseguida.

a) Temperatura de almacenamiento

El almacenamiento en refrigeración es recomendado para muchos productos perecederos, como las tortillas de maíz, porque retrasa:

1. Los cambios de la textura y color.
2. La pérdida de peso y de humedad.
3. Los daños causados por la invasión de bacterias, hongos y levaduras, ya que si un alimento se encuentra a la temperatura óptima para el microorganismo, este se reproducirá exponencialmente con respecto al tiempo, mientras que a una temperatura de refrigeración se inhibe su crecimiento.
4. El efecto negativo que pudiesen tener las reacciones químicas y enzimáticas (permitiendo así el control de la calidad de los alimentos).

Para obtener los mejores resultados en el almacenamiento en frío de los productos alimenticios, es muy importante que la temperatura en las cámaras de almacenamiento se mantenga constante. En la mayoría de los casos, se presentan múltiples variaciones de 3 a 5° C en la temperatura deseada, lo que puede causar daños por invasión de microorganismos. Mientras mayor sea el período durante el cual la temperatura está por debajo o por encima de la óptima, mayor es el peligro. Además, las fluctuaciones en temperatura a menudo causan condensación de humedad dentro del envase de los productos almacenados, lo cual es indeseable ya que favorecería el crecimiento de hongos, principalmente.

Las temperaturas de los productos deben ser tomadas en varios puntos del envase y/o embalaje, utilizando un termómetro o termopar de buena calidad.

b) Humedad relativa (%)

La humedad relativa del aire en las cámaras de almacenamiento afecta directamente la calidad de mantenimiento de los productos que se encuentran en dichas cámaras. Si es demasiado baja, es probable que haya pérdida de peso o de humedad (formándose un condensado en el envase o embalaje) de los productos; si es demasiado alta, podría favorecer el desarrollo de microorganismos (hongos, bacterias y levaduras), especialmente en cámaras donde hay

considerable variación de temperatura. El control de hongos se vuelve particularmente difícil si la humedad relativa del almacén se aproxima a 100%, ya que el agua del alimento se condensa. Los hongos crecen sobre las paredes, techos y contenedores, así como en los productos almacenados.

Es de gran importancia mantener una humedad relativa adecuada en el aire de la cámara de almacenamiento, así como tener un buen aislamiento, evitar infiltraciones y proveer suficiente superficie de enfriamiento para que el margen de variación entre la temperatura de evaporación (serpentín) y la temperatura del producto sea la más pequeña posible. Por esta razón, es esencial un control exacto de la temperatura de refrigeración para mantener alta humedad en un almacenamiento mecánicamente refrigerado.

Para tortillas, se recomienda utilizar una humedad relativa alta de 90% a 95% en el almacén, para retrasar la pérdida de peso y de humedad.

c) Circulación del aire

La temperatura del producto en una cámara de almacenamiento varía porque la temperatura del aire sube a medida que éste absorbe el calor de los productos. Después de que el producto esté enfriado y las temperaturas se hayan estabilizado, una diferencia que exceda 3° C entre la temperatura de evaporación y la de condensación, indica que el volumen de aire frío es insuficiente.

La naturaleza del contenedor y el acomodo de productos son factores importantes que influyen en el comportamiento del enfriamiento. Es inútil un sistema elaborado para la distribución del aire, si un acomodo mal hecho evita que fluya el aire. Un principio cardinal del movimiento del aire es que éste siga el camino que ofrece la menor resistencia; de este modo, los espacios más amplios logran un mayor volumen de aire que los más reducidos. Si algunos espacios están bloqueados parcialmente, habrá zonas de aire muerto donde la temperatura es más alta.

d) Envase y embalaje

Envase es un contenedor que está en contacto con el producto mismo que guarda, protege, conserva, lo identifica, y además facilita su manejo y comercialización.

Cuando se envasa o conserva un producto en una atmósfera normal, el oxígeno presente en la misma puede provocar (Madrid y col., 2003):

- Oxidaciones en las grasas
- Reacciones enzimáticas destructoras de la calidad
- Pérdidas de color típico de cada alimento
- Aparición de aromas y sabores desagradables.

Además, el aire contiene impurezas y microorganismos que también destruyen la calidad del producto, sobre todo desde el punto de vista microbiológico (Madrid y col., 2003).

Por lo tanto, es necesario considerar:

- Conservar los alimentos a granel en cámaras acondicionadas
- Conservar los alimentos en envases individuales.

De esta manera, los envases y embalajes que se utilicen en refrigeración, deben:

- Proteger al alimento: Tener resistencia al estiramiento y a la perforación y ser sanitario y no tóxico.
- Ser impermeable: Ofrecer una barrera al oxígeno, al dióxido de carbono, a olores y al vapor de agua.

Para conseguir estas propiedades se recurre a envases flexibles, derivados de polímeros, principalmente, con varias capas de diferentes materiales:

- Una capa externa de plástico de baja densidad
- Una capa interna de plástico de alta densidad
- Una capa intermedia de plástico de alta permeabilidad al gas (Madrid y col., 2003).

Asimismo, se utilizan los siguientes materiales para envasar los alimentos que se someten al proceso de refrigeración: Polietileno de Alta Densidad (PEAD), Policloruro de Vinilo (PVC), Polietileno de Baja Densidad (PEBD) y Polipropileno (PP), entre los más importantes.

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-187-SSA1/SCFI-2002, productos como masa, tortillas, tostadas y harinas, se deben envasar o envolver según corresponda, en recipientes o materiales de tipo sanitario, elaborados con materiales inocuos y resistentes a distintas etapas del proceso, de tal manera que no reaccionen con el producto o alteren las características físicas y sensoriales. Razón por la cual se emplean bolsas de polietileno de baja densidad (PEBD) con cierre hermético, que es un plástico formado por la polimerización del gas etileno por el proceso de alta presión.

La bolsa de PEBD, de acuerdo a la norma NMX-EE-207-1986 (Envase. Película de Polietileno para envasar pan de caja y bollería) debe cumplir con las siguientes especificaciones:

- Densidad de 0.910 a 0.924g/cm³.
- Espesor de 0.0254 mm y no mayor o igual a 0.0762 mm.
- Claridad: transparente a translúcida.
- Resistencia a la tensión: 70.8 a 246 kg/cm².
- Alargamiento: 200 a 500%
- Resistencia al impacto: 7 a 11 kg/cm.
- Resistencia al rasgado: 100 a 400 g/mil (1 mil = 0.001 in en espesor).
- Transmisión de gases: 4000 a 8000 ml/mil/m²/24h, a 1atm/25° C con 50% de HR.
- Debe estar libre de burbujas, motas, agujeros, partículas extrañas u otros defectos que afecten su uso.
- No debe presentar adherencia entre bolsa y bolsa.
- No debe presentar olor a solventes, tintas, ceras de polietileno o aditivos. Además no debe impartir sabor, ni olor al producto envasado, de acuerdo a lo que establece la Secretaría de Salud.

Capítulo 2

Metodología de Investigación Experimental

2.1 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la influencia del almacenamiento refrigerado y la adición de un mejorador de textura sobre las propiedades de textura de tortillas de maíz para el aumento de su vida útil.

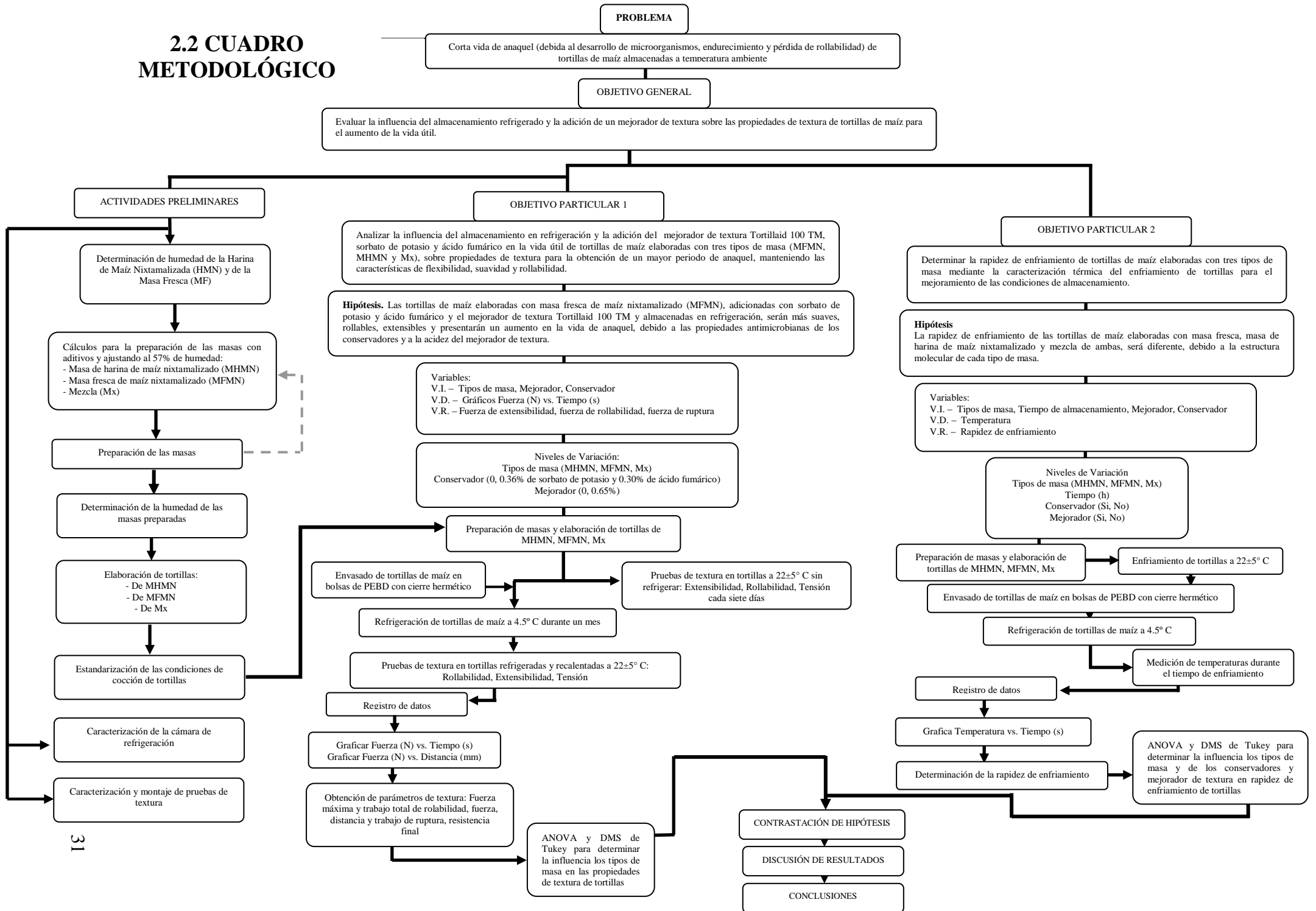
OBJETIVOS PARTICULARES

1. Analizar la influencia del almacenamiento en refrigeración y la adición del mejorador de textura Tortillaid 100 TM, sorbato de potasio y ácido fumárico en la vida útil de tortillas de maíz elaboradas con tres tipos de masa (MFMN, MHMN y Mx), sobre propiedades de textura para la obtención de un mayor periodo de anaquel, manteniendo las características de flexibilidad, suavidad y rolabilidad.
2. Determinar la rapidez de enfriamiento de tortillas de maíz elaboradas con tres tipos de masa mediante la caracterización térmica del enfriamiento de tortillas para el mejoramiento de las condiciones de almacenamiento.

HIPÓTESIS

1. Las tortillas de maíz elaboradas con masa fresca de maíz nixtamalizado (MFMN), adicionadas con sorbato de potasio, ácido fumárico y el mejorador de textura Tortillaid 100 TM y almacenadas en refrigeración, serán más suaves, rollables, extensibles y presentarán un aumento en la vida de anaquel, debido a las propiedades antimicrobianas de los conservadores y a la disminución de la retrogradación del almidón por efecto del mejorador de textura.
2. La rapidez de enfriamiento de las tortillas de maíz elaboradas con masa fresca, masa de harina de maíz nixtamalizado y mezcla de ambas, será diferente, debido a la estructura de cada tipo de masa.

2.2 CUADRO METODOLÓGICO



2.3 MATERIALES

Materia prima

- 1) Masa Fresca de Maíz Nixtamalizado (MFMN) del molino San Marcos, ubicado en Cuautitlán Izcalli.
- 2) Harina de Maíz Nixtamalizado (HMN) marca MASECA
- 3) Conservadores: Ácido fumárico (marca DSM Actis) y sorbato de potasio (marca DSM Actis).
- 4) Mejorador de textura: marca Tortillaid 100TM, elaborado por LALLEMAND MEXICO, S. A. de C. V.

Equipo utilizado

- 1) Termobalanza Ohaus, modelo MB45 (Ohaus Corporation, Pine Brook, USA)
- 2) Mezcladora orbital Kitchen Aid® modelo K5SS (Kitchen Aid Inc. St. Joseph, USA) con paleta de mezclado
- 3) Balanzas analíticas Ohaus, modelos Scout y Navigator
- 4) Prensa manual para tortillas
- 5) Estufa de mesa de dos quemadores marca Delher
- 6) Comal de teflón marca T-fal
- 7) Termómetro laser marca Raytec®, modelo MT (Raytec China Company, Beijing, China)
- 8) Registrador electrónico de temperatura y humedad relativa marca Ampere modelo EL-USB-2
- 9) Texturómetro marca Texture Analyzer® modelo TAX T2i
- 10) Cámara de refrigeración (de volumen igual a 18.9m³)

Tabla 5. Factores de variación

FACTORES DE VARIACIÓN	NIVELES DE VARIACIÓN	VARIABLE DEPENDIENTE	VARIABLES DE RESPUESTA	MÉTODO O TÉCNICA DE MEDICIÓN
Objetivo 1				
Tipos de masa	<ul style="list-style-type: none"> - Masa Fresca (MF) - Masa de Harina de Maíz Nixtamalizado (MHMN) - Mezcla de ambas (Mx), con 30% de HMN con respecto a La MFMN 	<ul style="list-style-type: none"> - Gráficos Fuerza (N) vs. Tiempo (s) 	<ul style="list-style-type: none"> - Fuerza, distancia y trabajo de Extensibilidad - Fuerza y trabajo de Rolabilidad - Fuerza, distancia y trabajo de ruptura 	Texture Analyzer TAX T2i
Conservadores (sorbato de potasio y ácido fumárico)	0, 0.36% de sorbato de potasio y 0.30% de ácido fumárico	<ul style="list-style-type: none"> - Gráficos Fuerza (N) vs. Tiempo (s) 	<ul style="list-style-type: none"> - Fuerza, distancia y trabajo de Extensibilidad - Fuerza y trabajo de Rolabilidad 	Texture Analyzer TAX T2i
Mejorador de textura (tortillaid)	0, 0.65%		<ul style="list-style-type: none"> - Fuerza, distancia y trabajo de ruptura 	
Objetivo 2				
Tipos de masa	<ul style="list-style-type: none"> - Masa Fresca (MF) - Masa de Harina de Maíz Nixtamalizado (MHMN) - Mezcla de ambas (Mx) 	<ul style="list-style-type: none"> - Relación de Temperatura adimensional 	<ul style="list-style-type: none"> - Rapidez de enfriamiento 	<ul style="list-style-type: none"> - Método del termopar - Gráficos Temperatura (°C) vs. Tiempo (min)

2.4 MÉTODOS

2.4.1 Actividades preliminares

1. **Determinación de humedad de la Harina de Maíz Nixtamalizada (HMN).** Se utilizó HMN marca MASECA, en la cual se determinó la humedad con una termobalanza Ohaus, modelo MB45 (Ohaus Corporation, Pine Brook, USA) a 80° C, con 5 g de muestra, hasta una pérdida de peso menor de 1 mg/min.

2. **Estandarización de materia prima** (mejorador de textura, conservador, agua, HMN, MFMN) para la elaboración de masas. Se realizaron balances de materia para preparar las masas considerando 57% de humedad y 3kg de masa total, calculando la cantidad de agua a agregar.

i. Balance de materia para Masa Fresca Maíz Nixtamalizado (MFMN)

$$\text{Balance General } MF + H_2O = MFMN$$

$$\text{Balance Parcial de Humedad } (MF(X_{MF})) + H_2O = MFMN(X_{MFMN})$$

ii. Balance de materia para Masa de Harina Maíz Nixtamalizado (MHMN)

$$\text{Balance General } HMN + H_2O = MFMN$$

$$\text{Balance Parcial de Humedad } (HMN(X_{HMN})) + H_2O = MHMN(X_{MHMN})$$

iii. Balance de materia para Mezcla (Mx)

$$\text{Balance General } MF + HMN + H_2O = Mx$$

$$\text{Balance Parcial de Humedad } (MF(X_{MF})) + (HMN(X_{HMN})) + H_2O = Mx(X_{Mx})$$

Donde:

MF, MFMN, HMN, MHMN, Mx: Cantidad de Masa Fresca, Masa Fresca de Maíz Nixtamalizado, Harina de Maíz Nixtamalizado, Masa de Harina de Maíz Nixtamalizado, y Mezcla, respectivamente (kg)

H₂O: Cantidad de Agua (kg)

3. Adición de conservadores y mejorador de textura. La adición de conservadores (sorbato de potasio y ácido fumárico) y del mejorador de textura (tortillaid), fue de acuerdo a las recomendaciones de los proveedores, tomando como base el peso de la masa total:

- Sorbato de potasio (fabricante Safe Iberoamericana S. A. de C. V.): 0.36%
- Ácido Fumárico (fabricante Safe Iberoamericana S. A. de C. V.): 0.30%
- Tortillaid 100TM (fabricante LALLEMAND MÉXICO, S. A. de C. V.): 0.65%

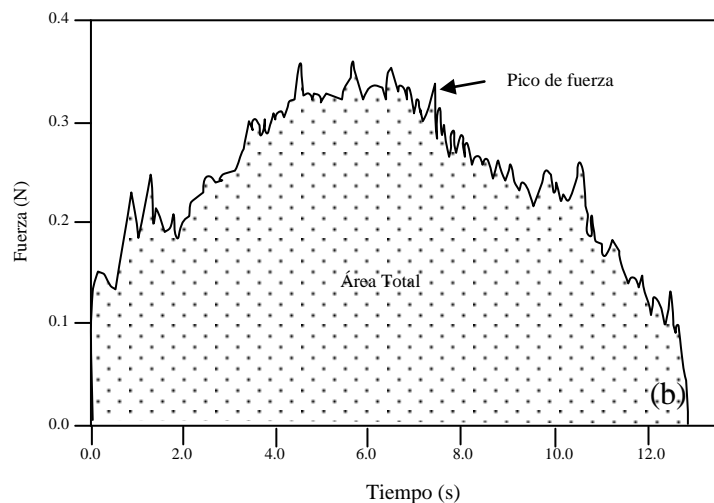
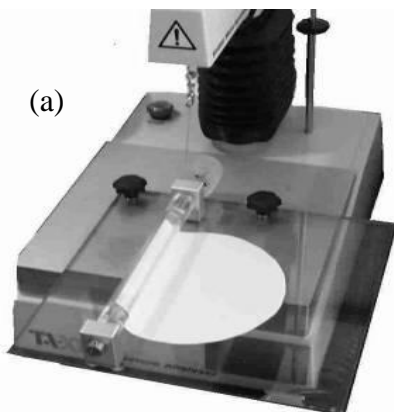
4. Preparación de las masas. Para el mezclado se utilizó una mezcladora orbital Kitchen Aid modelo K5SS (Kitchen Aid Inc. St. Joseph, USA) con un mezclador tipo paleta; el agua se agregó a una temperatura de 30° C y el mezclado se efectuó al nivel de velocidad de 1 y 2 por cinco minutos (cada una de ellas). La masa obtenida se dejó reposar en bolsas de polietileno de baja densidad con cierre hermético por 15 min a temperatura ambiente (22±5° C).

- i. MFMN. Se utilizó MFMN proveniente de un molino cercano a la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Las condiciones de nixtamalización que se utilizan regularmente en este molino son las siguientes: se preparan cuatro lotes diarios, cada uno de 700 kg de maíz. Cada lote se mezcla con 850-900 L de agua a 87±5° C y 8.3 kg de cal en un tanque con aislamiento térmico y agitación, durante 38-45 min; la mezcla se transfiere a tinajas de reposo donde permanece de 9 a 21 h, se lava y se muele en molinos de piedra. Para compensar los diferentes tiempos de reposo, y producir masa lo más homogénea posible, la molienda se efectúa mezclando maíz de los diferentes lotes que se procesan en un día y controlando durante la molienda la separación entre las piedras y el molino (“apriete”) y la cantidad de agua agregada. Con el objetivo de tener durante el desarrollo del proyecto muestras de MFMN lo más homogéneas posible, se verifica que la cantidad de maíz en los silos sea suficiente para el tiempo que dure el estudio, asegurando que el maíz no sea una fuente de variación; las muestras se tomaron a las 8:30am y se le solicitó al molinero una masa tipo “normal” (cuyo contenido de humedad estaba entre 53 y 56%) que es la que entregan a la mayoría de las tortillerías.

- ii. MHMN. Se empleó harina de maíz nixtamalizado MASECA, de un mismo lote.
 - iii. Mx. Se utilizó una concentración de 30% de HMN con respecto a la cantidad de masa fresca.
- 5. Determinación de la humedad de las masas.** Se determinó con una termobalanza Ohaus, modelo MB45 (Ohaus Corporation, Pine Brook, USA) a 110° C, con 5 g de muestra prensada entre dos almohadillas de asbesto, hasta una pérdida de peso menor de 1 mg/min.
- 6. Elaboración de las tortillas.** Se pesaron porciones de masa de 35±1 g, las cuales fueron depositadas en una bolsa de polietileno de baja densidad con cierre hermético. Cada porción se moldeó manualmente en forma esférica y se prensa entre dos películas de polietileno con una prensa manual para tortillas.
- 7. Ajuste de la temperatura y tiempo de cocción de las tortillas.** La tortilla se sometió a cocción en un comal a una temperatura de 230±10° C, en tres tiempos: uno de 15 s, uno de 30 s y otro de 20 s para MFMN, MHMN y Mx, ya que de esta manera la cocción de la tortilla era uniforme; al término de cada uno de estos tiempos se volteó la tortilla para la cocción por ambos lados; uno de los indicadores del fin del proceso de cocción fue la formación de “ampolla”. La temperatura del comal y las tortillas fueron medidas con un termómetro láser marca Raytec, modelo MT (Raytec China Company, Beijing, China). Al retirar las tortillas del comal se colocaron dentro de una servilleta de tela para que se enfriaran a 22±5° C (proceso que tomaba 30min), minimizando así la pérdida de humedad. Una vez alcanzada esta temperatura, las tortillas se introdujeron en una bolsa de polietileno de baja densidad (PEBD) con cierre hermético (20 tortillas en cada bolsa, basándose en la cantidad de muestra requerida para la realización de las pruebas de textura – cinco para cada prueba y por cada lote), a las cuales se les extrajo la mayor cantidad de aire (antes de cerrar completamente la bolsa) utilizando un popote. Las dimensiones de las tortillas cocidas fueron de: 125±5 mm de diámetro y 1±0.5 mm de espesor.

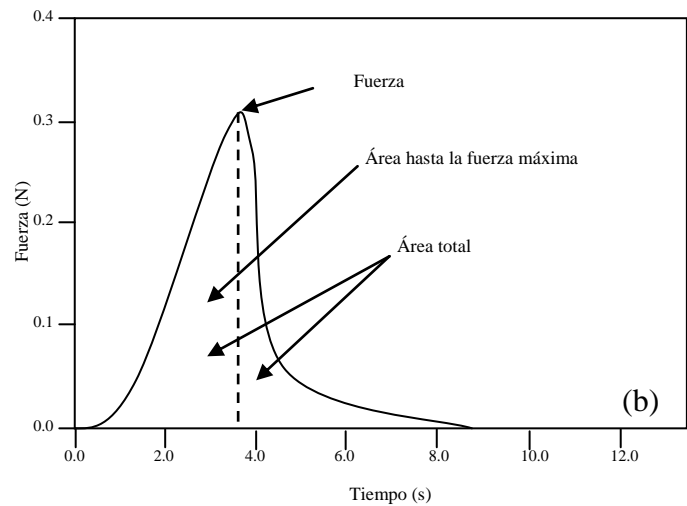
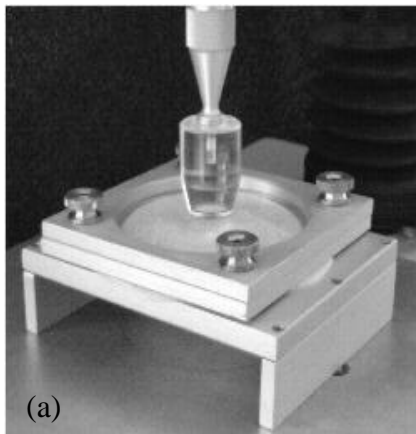
8. Montaje de técnicas de textura. Debido a los estudios realizados exitosamente por el grupo de investigación del Cereal Quality Laboratory Soil and Crops Sciences Department of Texas A and M University, se utilizó (para el presente proyecto) un texturómetro Texture Analyzer modelo TA XT2i con celda de carga de 5 kg, se calibró el equipo de acuerdo a cada prueba (utilizando fuerza de tensión o de compresión) y se establecieron las condiciones con las que se realizó cada prueba. De esta manera se tuvo:

- i. Rolabilidad. Se efectuó a una temperatura de $22 \pm 5^\circ \text{C}$. Para esta medición, se utilizó un texturómetro Texture Analyser TAX T2i. El dispositivo empleado para esta prueba consta de una base sobre la cual está dispuesto un cilindro giratorio en el que se fijó una tortilla por medio de pinzas. El cilindro se unió al brazo móvil del texturómetro por medio de un hilo. Cuando subió el brazo del texturómetro, el rodillo giró y la tortilla se enrolló (figura 5). El brazo móvil se calibró con respecto a la base, de manera que estuvieran separados 90 mm con lo que el hilo quedó tenso y las pinzas que sujetaban a la tortilla, quedaban hacia arriba. El texturómetro se operó bajo el modo de tensión. Se sujetó la tortilla con las pinzas y el brazo subió a una velocidad de 3 mm s^{-1} a una distancia de 50 mm, enrollando la tortilla sobre el rodillo. Se desplegó una curva fuerza – tiempo (figura 6), de la cual se calculó la fuerza máxima y el trabajo de rolabilidad (Gasca y Casas, 2007; Lloyd, 1999).



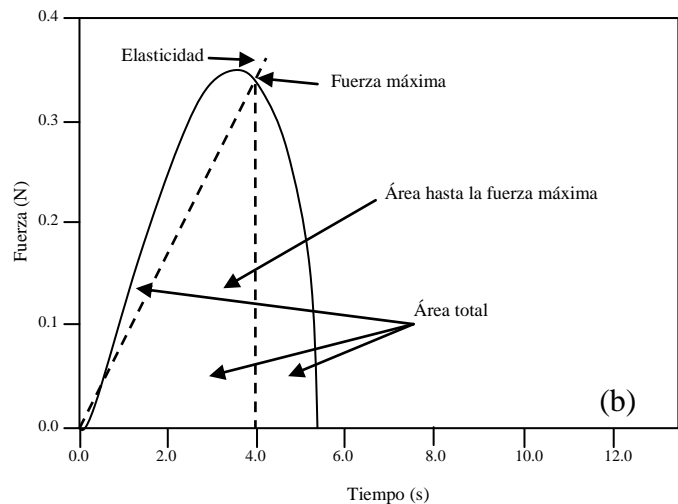
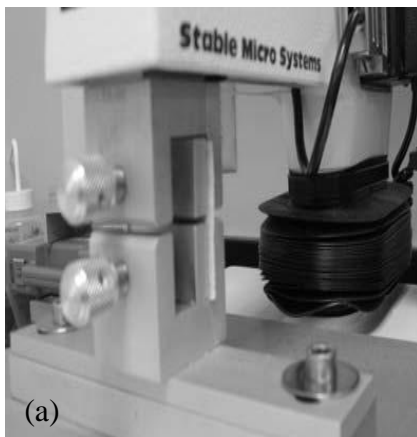
Figuras 5 y 6. Prueba de rolabilidad (a) y curva modelo de rolabilidad (b).

ii. Extensibilidad. El dispositivo de extensibilidad constó de una base de acero inoxidable de 9.0 cm de alto y 10.0 cm de lado. En la parte superior tiene un orificio circular de 6.0 cm de diámetro y unos tornillos en las esquinas sobre los cuales se insertó la tortilla de manera que quedaba tensa. Se colocó sobre ella un marco que tiene un orificio de 6.0 cm de diámetro y se fijó a los tornillos por medio de una tuerca para mantener los tornillos sin movimiento (figura 7). De esta forma quedó expuesta para la prueba la parte central de la tortilla fija y tensa. El texturómetro se operó en el modo de compresión, y un cilindro de acrílico de 18 mm de diámetro comprimió hasta una distancia de 20 mm a una velocidad de 1.7 mm s^{-1} . Durante su recorrido, el cilindro extendió la tortilla hasta su ruptura. Se obtuvo una curva fuerza – distancia (figura 8), que presentó un pico que correspondía a la fuerza y distancia en que la tortilla se rompió y se reportaron como fuerza de extensibilidad y distancia de extensibilidad respectivamente; se calculó la extensibilidad como el inverso de la pendiente inicial de la curva (Gasca y Casas, 2007).



Figuras 7 y 8. Prueba de extensibilidad (a) y curva modelo de extensibilidad (b).

- iii. Tensión. Se utilizó el mismo equipo empleado para determinar la extensibilidad, con el accesorio TA – 65 (figura 9). Este accesorio está conformado por unas pinzas de retención entre las que se colocó una pieza de tortilla de forma rectangular de 3.2 cm de ancho por 7.0 cm de largo (la cual fue cortada del centro de una tortilla), y se sometió a una tensión a una velocidad de 2 mms^{-1} hasta una distancia de 30 mm. De la curva resultante (figura 10), se calculó la fuerza de ruptura (pico máximo de fuerza), la distancia de ruptura (distancia a la fuerza máxima) y la resistencia final a la ruptura (pendiente desarrollada hasta el punto de rompimiento, considerándose como el módulo de deformabilidad aparente).



Figuras 9 y 10. Prueba de tensión (a) y curva modelo de tensión (b).

9. Caracterización de la cámara de refrigeración. Para conocer las condiciones de la cámara, se:

- i. Midió la temperatura del medio de la cámara de refrigeración (mediante un termopar colocado a la salida del evaporador) que se podía alcanzar con respecto a la temperatura del medio (aire) de enfriamiento.
- ii. Determinó la velocidad del aire, mediante el uso de un anemómetro de hilo caliente, en diferentes puntos de la cámara para establecer en qué punto se colocarían las tortillas y así se mantuviera la temperatura de almacenamiento constante (4.5° C).

- iii. Determinó la humedad relativa de la cámara de refrigeración, mediante el uso de un registrador electrónico de temperatura y humedad relativa (con puerto USB) y un software especializado que indicaba en una serie de curvas la temperatura y la humedad relativa con respecto al tiempo.

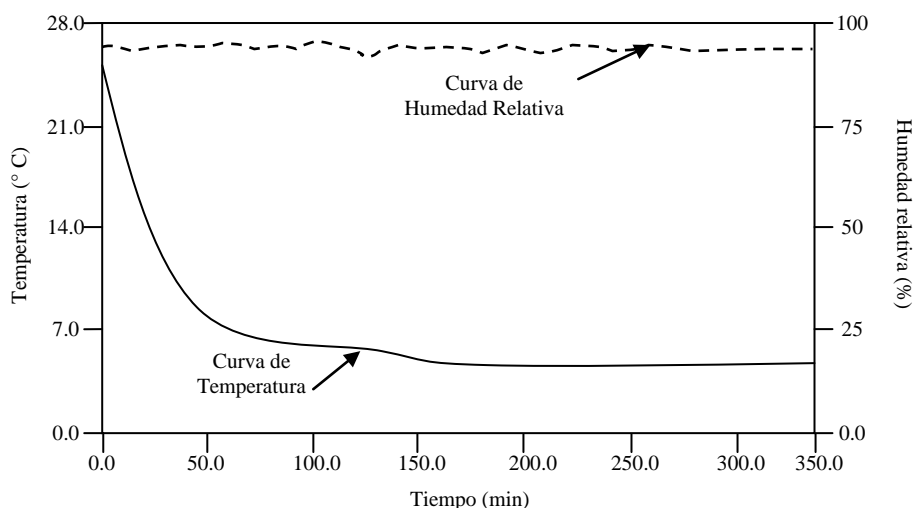


Figura 11. Curva modelo de temperatura y humedad relativa.

2.4.2 Actividades del Objetivo 1.

1. **Preparación de las masas.** La preparación de masas se realizó de acuerdo a lo descrito en la actividad preliminar 4 de la página 34.
2. **Determinación de la humedad de las masas.** Se realizó de acuerdo a lo descrito en la actividad preliminar 5 de la página 35.
3. **Elaboración y cocción de tortillas.** La elaboración y cocción de tortillas se realizó de acuerdo a lo que se indicó en las actividades preliminares 6 y 7 de la página 35.
4. **Pruebas de textura en las tortillas sin refrigerar.** Se realizaron las siguientes pruebas:
 - i. Rolabilidad. Tal y como se indicó en la actividad preliminar 8 de la página 36.
 - ii. Extensibilidad. Tal y como se indicó en la actividad preliminar 8 de la página 37.
 - iii. Tensión. Tal y como se indicó en la actividad preliminar 8 de la página 38.

Se tuvo un total de 6.3 kg de tortillas para efectuar las pruebas de textura a temperatura ambiente, ya que cada una de ellas pesó 35 ± 1 g.

5. Determinación del tamaño de muestra y Refrigeración de tortillas. Las tortillas se almacenaron en pilas de 20 elementos en bolsas de polietileno de baja densidad (PEBD) con cierre hermético, en una cámara de conservación por refrigeración a una temperatura de 4.5° C durante 28 días. Se apilaron en bloques de 20 tortillas ya que se basó en la cantidad de muestra requerida para la realización de las pruebas de textura, teniendo en cuenta 12 lotes:

Tabla 6. Lotes de tortillas de acuerdo al tipo de masa.

Tipo de masa	Conservador	Mejorador	No. de lotes
MFMN	Con Sin	Con Sin	4
MHMN	Con Sin	Con Sin	4
Mx	Con Sin	Con Sin	4

Considerándose:

$$X_{\text{tortillas}} = \left[\frac{5\text{tortillas}}{1\text{prueba}} \right] \left[\frac{3\text{pruebas}}{1\text{lote}} \right] \cdot 2\text{lotes} = 180\text{tortillas}$$

$$X_{\text{tortillas}} = \left[\frac{180\text{tortillas}}{1\text{vez}} \right] \left[\frac{4\text{veces}}{1\text{mes}} \right] = 720\text{tortillas}$$

$$X_{\text{bolsas}} = \left[20\text{tortillas} \right] \left[\frac{1\text{bolsa}}{20\text{tortillas}} \right] = 36\text{bolsas}$$

$$X_{\text{bolsas}} = \left[\frac{2\text{tortillas}_{\text{extra}}}{1\text{bolsa}} \right] \cdot 6\text{bolsas} = 72\text{tortillas} + 720\text{tortillas} = 792\text{tortillas}^*$$

$$X_{\text{bolsas}} = \left[92\text{tortillas} \right] \left[\frac{1\text{bolsa}}{20\text{tortillas}} \right] = 40\text{bolsas}$$

* Las dos tortillas extra se consideraron en caso de que las bolsas presentaran condensación sobre el producto, en todo caso, estas dos (superior e inferior) se desechan.

Entonces, se tuvo un total de 28 kg de tortillas en refrigeración, ya que cada una pesó 35 ± 1 g.

El acomodo de tortillas en la cámara de refrigeración, se realizó de acuerdo a las dimensiones de ésta (2.75 m de largo, 2.75 m de ancho y 2.5m de alto). Se colocaron 3 mesas (de dimensiones: 1.20 m de largo, 0.45 m de ancho y 0.75 m de alto), una en el centro de la cámara y las otras dos separadas de ésta 0.40 m; sobre las mesas estaban unas latas de 0.15 m de alto y encima unas rejillas cuadradas (de 50 cm de cada lado) que permitieron el flujo de aire hacia las tortillas colocadas en dichas rejillas.



Figuras 13 y 14. Acomodo de tortillas en la cámara de refrigeración.

- 6. Pruebas de textura en las tortillas refrigeradas.** Para efectuar las pruebas en tortillas refrigeradas, primero se recalentaron en un comal de teflón marca T-fal, a una temperatura de 300° C, durante cuatro tiempos de 10 s cada uno (durante estos tiempos, la tortilla se volteó para que el recalentamiento fuera uniforme). Posteriormente se dejaron enfriar en servilletas de tela (para evitar la pérdida de humedad) hasta $22\pm 5^{\circ}$ C. Una vez realizado esto, las pruebas se ejecutaron conforme a lo descrito en la actividad preliminar 8.
- 7. Análisis estadístico.** Para el presente estudio, se realizó un Análisis de Varianza en su Modelo General Lineal (ANOVA, que se encuentra en el Anexo 4), y la prueba de Diferencias Mínimas Significativas (DMS) de Tukey considerando un nivel de significancia de 5%, utilizando el programa estadístico MINITAB® 14, teniendo como variables independientes:
1. Tipo de masa (MFMN, MHMN, Mx)
 2. Conservadores (0, 0.36% de sorbato de potasio y 0.30% de ácido fumárico)
 3. Mejorador (0, 0.65%)
 4. Tiempo de almacenamiento en refrigeración (0, 7, 14, 21, 28 días)

Todas las pruebas se realizaron por triplicado, y se obtuvieron medias aritméticas, desviaciones estándar, coeficientes de variación, considerando un nivel de significancia de 5%.

2.4.3 Actividades del Objetivo 2.

- 1. Medición de la temperatura de la tortilla durante el enfriamiento.** Se midió la temperatura de las pilas de 20 tortillas (colocadas dentro de bolsas de PEBD con cierre hermético, y cuya temperatura inicial fue de $22\pm 5^{\circ}$ C) utilizando un termopar (conectado a un registrador electrónico de temperatura y humedad relativa), que se colocó en el centro geométrico de dichas pilas. El termopar permaneció dentro de las tortillas, hasta que éstas alcanzaron una temperatura de 5° C.

- 2. Determinación de la rapidez de enfriamiento.** Para determinar la rapidez de enfriamiento se requirieron los siguientes datos: Temperatura inicial de la tortilla ($T_0 = 22 \pm 5^\circ \text{ C}$), Temperatura del medio que enfría, aire, ($T_M = 4.5^\circ \text{ C}$), Temperatura de la tortilla en función al tiempo durante el enfriamiento (T_A), y el tiempo que tardó en enfriarse (min). Luego se graficó $(T_A - T_M)/(T_0 - T_M)$ con respecto al Tiempo, se le aplicó una regresión de acuerdo a la curva, y la pendiente obtenida, representó la rapidez de enfriamiento en min^{-1} .

- 3. Análisis estadístico.** Para este objetivo, se realizó una Prueba de Distribución Normal, considerando 5% de grados de libertad, y teniendo como variable independiente el tipo de masa (MFMN, MHMN, Mx).

Capítulo 3

Resultados y Discusión

3.1 PRUEBAS DE TEXTURA

3.1.1 Rolabilidad

La tabla de resultados de la prueba de rolabilidad para las tortillas elaboradas con cada tipo de masa, con y sin conservadores, con y sin mejorador de textura, durante los 28 días de almacenamiento, se presentan en el Anexo 1.

De las propiedades de rolabilidad se tiene que el trabajo total de rolabilidad (considerado como el área bajo la curva) indica la fuerza requerida para enrollar una tortilla alrededor de un cilindro; mientras que la fuerza máxima de rolabilidad (el primer pico máximo detectado en la curva) está relacionada con la facilidad que presenta la tortilla para enrollarse. En la tabla 7 se muestra el valor de probabilidad de cometer error al rechazar la hipótesis nula H_0 , donde la variable con Probabilidad $< \alpha$ ($\alpha = 5\%$) tiene un efecto significativo.

Tabla 7. Probabilidad en la prueba de rolabilidad de tortillas.¹

Variable	Niveles de variación	Probabilidad	
		Trabajo total de rolabilidad	Fuerza máxima de rolabilidad
Tipo de masa	MFMN, MHMN, Mx	0.000	0.000
Conservadores	Con, Sin	0.051	0.048
Mejorador de textura	Con, Sin	0.252	0.316
Tiempo de almacenamiento	0, 7, 14, 21, 28 días	0.000	0.000

En la tabla 7, se observa que el tipo de masa y el tiempo de almacenamiento tuvieron influencia en el trabajo total y la fuerza máxima de rolabilidad de las tortillas, y que la presencia de conservadores influyó también en la fuerza máxima de rolabilidad. Esto es porque se consideró un valor de 5% de nivel de significancia, por lo que las variables que

¹ Ver ANEXO 4

influyeron en la rolabilidad de las tortillas, fueron aquellas cuyo valor de Probabilidad fue menor a 5%.

En la tabla 8 se presentan los promedios finales, obtenidos del ANOVA, del trabajo total de rolabilidad y la fuerza máxima de rolabilidad para cada variable.

Tabla 8. Propiedades de textura de tortillas bajo la prueba de rolabilidad.²

Variable	Nivel de variación	Promedio [*]	
		Trabajo total de rolabilidad (Ns)	Fuerza máxima de rolabilidad (N)
Tipo de masa	MFMN	0.8196 ^a	0.0889 ^a
	MHMN	0.1512 ^b	0.0306 ^b
	Mx	0.2826 ^b	0.0414 ^c
Conservador	Con	0.4953 ^a	0.0599 ^a
	Sin	0.3403 ^a	0.0474 ^b
Mejorador de textura	Con	0.3749 ^a	0.0506 ^a
	Sin	0.4607 ^a	0.0566 ^a
Tiempo de almacenamiento en refrigeración	0	0.5316 ^a	0.0561 ^a
	7	0.9244 ^b	0.1023 ^b
	14	0.3877 ^a	0.0507 ^a
	21	0.2241 ^a	0.0385 ^a
	28	0.2120 ^c	0.0206 ^c

*NOTA. Los valores con el mismo superíndice (en una columna), resultaron estadísticamente iguales al aplicar la prueba de Tukey con un valor de $\alpha = 5\%$.

En la tabla 8, se observa que las tortillas elaboradas con MFMN y MHMN son estadísticamente diferentes y que las primeras presentaron mayor trabajo y fuerza máxima de rolabilidad. Las tortillas elaboradas con la mezcla mostraron un valor intermedio, estadísticamente igual a las de MHMN y diferente a las de MFMN, mostrándose que el orden de los valores de estas propiedades de textura decrece como sigue: MFMN>Mx>MHMN, lo

² Ver ANEXO 1

que significa que fue más fácil enrollar las tortillas de Mx y MHMN que las de MFMN. Esto se debe a la composición de las materias primas (tipos de masa y de maíz) y al proceso que se realizó para obtenerlas. La MF se compró en el Molino San Marcos que tiene su propia maquinaria y sus condiciones para el proceso de elaboración, agregándole agua y cal en proporciones y con tiempos de cocción y remojo que ellos ya tienen establecidos para que la textura de su producto final sea “normal” (no chiclosa ni dura); mientras que la HMN que se empleó para elaborar tortillas era marca MASECA, y las condiciones de procesamiento de la harina difieren a las del procesamiento de masa, ya que se utiliza maíz blanco (que es más suave) y requiere menores temperaturas y tiempos de cocción maíz, lo que causa una insuficiente absorción de agua, limita su redistribución durante el remojo y restringe el hinchamiento de los gránulos de almidón, ocasionando que no opongan mucha resistencia al doblado, al enrollado y al corte, comparado con lo que ocurre con las tortillas elaboradas de MFMN (que requieren más fuerza para enrollarse y son menos flexibles).

En la figura 15 se muestran las curvas de rolabilidad para las tortillas elaboradas con los tres tipos de masa sin refrigerar evaluadas el día de su elaboración.

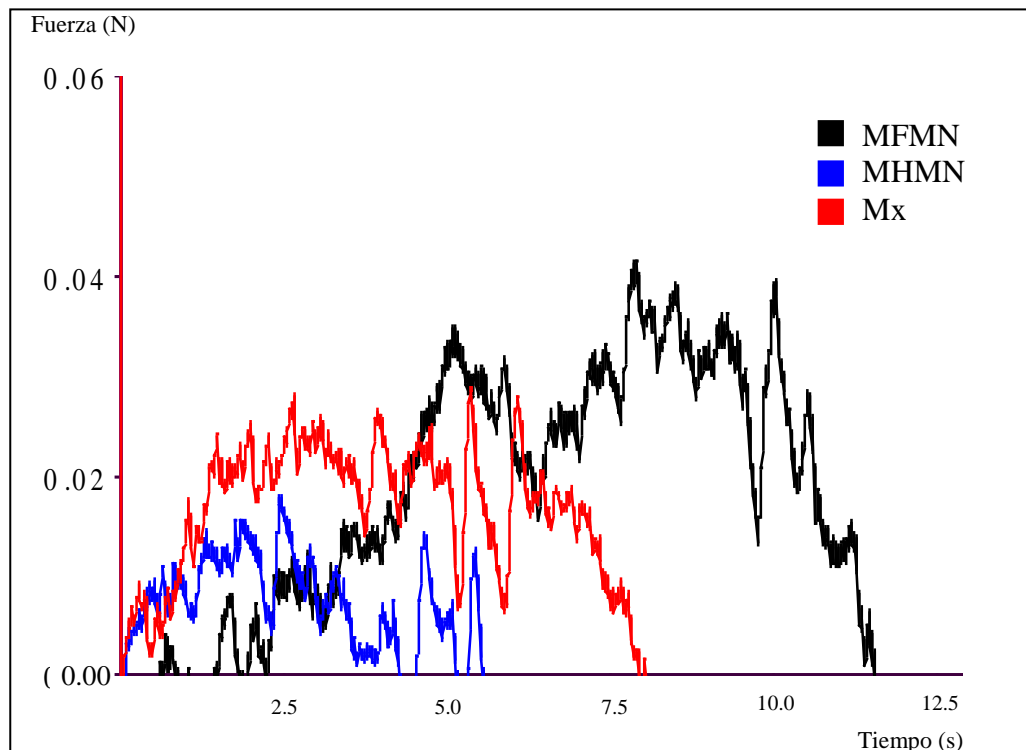


Figura 15. Prueba de rolabilidad de tortillas elaboradas con MFMN, MHMN y Mx (día 0).

El conservador no tuvo efecto en el trabajo de rolabilidad. Sin embargo se observa que se requirió menos fuerza de rolabilidad, lo cual indica que fue más fácil enrollar las tortillas de los tres tipos de masa que sí tenían conservadores.

Con relación al tiempo de almacenamiento, se observó un aumento significativo en el trabajo y la fuerza máxima de rolabilidad del día 0 al día 7, pero cabe señalar que a partir del día 7 las tortillas tuvieron que calentarse, ya que la rigidez y fragilidad causada por la refrigeración (ya que este proceso a baja temperatura implica un aumento en la retrogradación del almidón con mayor rapidez en las primeras 24 h – Suhendro y col., 1998 (a) -) hacían imposible colocar las tortillas en el rodillo para realizar la prueba, pues se rompían inmediatamente. A partir del día 7, el trabajo y la fuerza máxima de rolabilidad disminuyeron considerablemente, a valores incluso más bajos que los obtenidos el día 0 (los valores obtenidos en el trabajo y la fuerza máxima de rolabilidad el día 0 fueron estadísticamente iguales a los del día 14 y 21, y los del día 14 a los del día 21, mientras que fueron estadísticamente diferentes entre los demás días).

Esto puede observarse en las siguientes figuras 16, 17, 18:

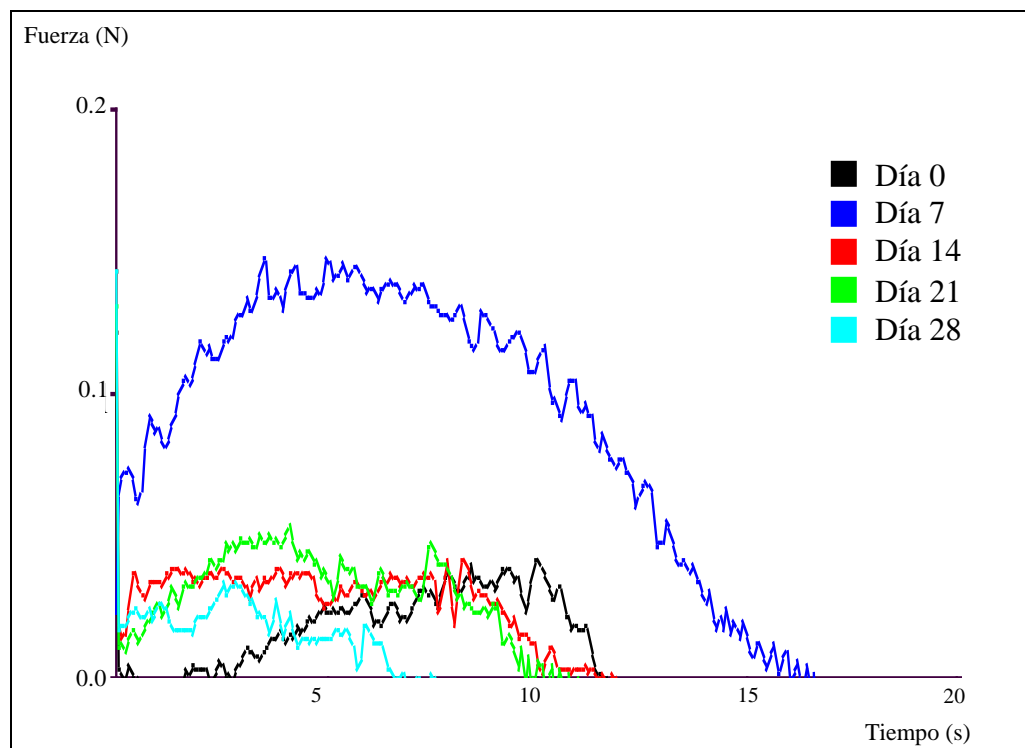


Figura 16. Prueba de rolabilidad de tortillas de MFMN con conservador, con mejorador.

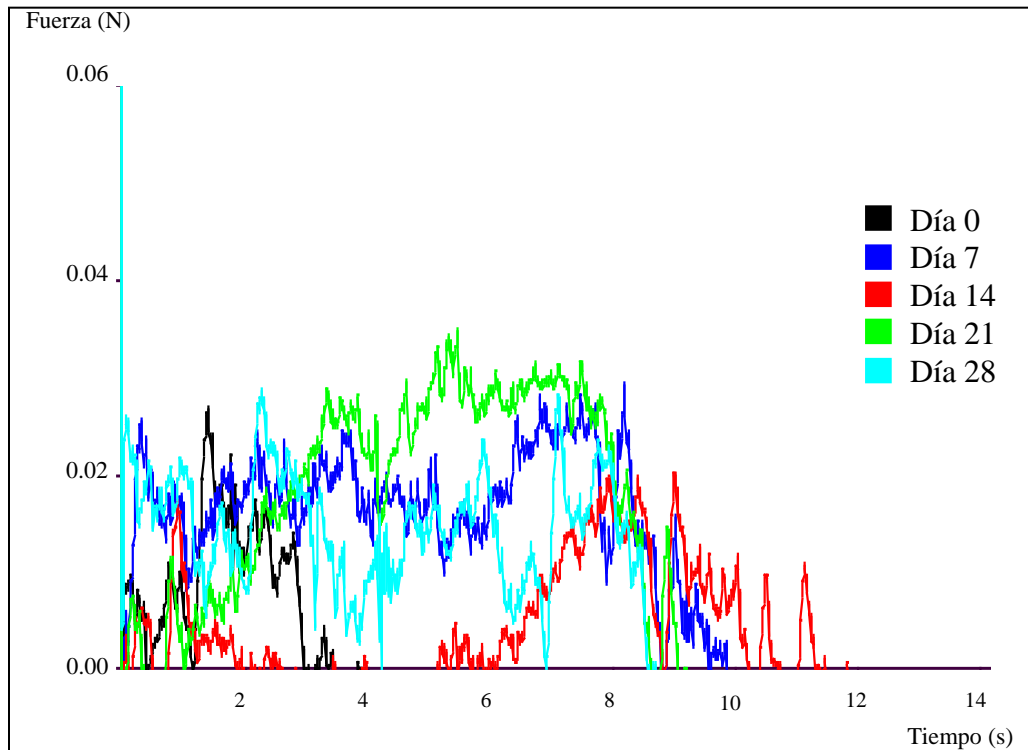


Figura 17. Prueba de rolabilidad de tortillas de MHMN con conservador, con mejorador.

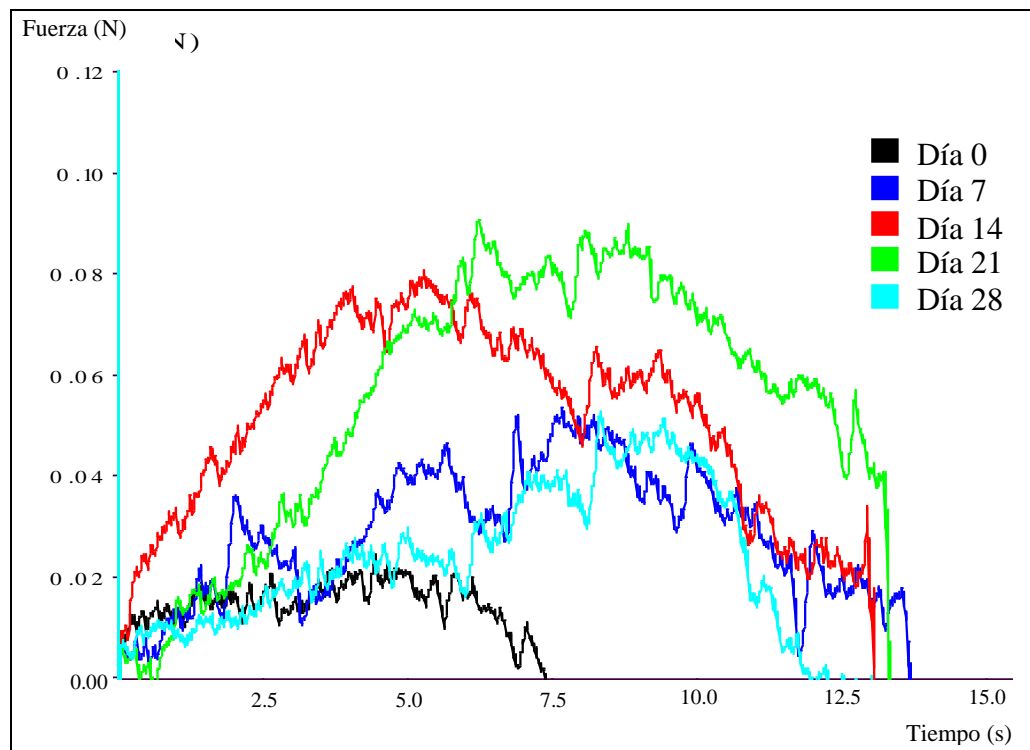


Figura 18. Prueba de rolabilidad de tortillas de Mx con conservador, con mejorador.

El cambio drástico de 0 a 7 días en el trabajo total y la fuerza máxima de rolabilidad, es resultado del proceso de retrogradación del almidón, que se incrementa con mayor rapidez durante las primeras 24 h de almacenamiento. El calentamiento implica una redistribución del agua así como una disminución de las zonas cristalinas del almidón, con lo que se incrementa la flexibilidad, lo que permite realizar la prueba.

Gasca y Casas (2007), no encontraron diferencias en la fuerza máxima de rolabilidad por efecto de la adición de HMN a masa fresca, ni en MFMN y de MHMN respectivamente, en tortillas evaluadas el día de su elaboración; pero en todos los tipos de masa se observó un notable incremento de la fuerza con 24 h de almacenamiento a temperatura ambiente. Twillman y White (1988) encontraron una disminución en la firmeza de las tortillas almacenadas a -20°C (empleando el INSTRON con celda de multicuchillas de corte) adicionadas con monoglicéridos. Iturbe y col. (1996) utilizaron amilasas fúngicas para disminuir la retrogradación del almidón en tortillas, acelerando el proceso con congelación a -12°C y por ciclos de congelación – descongelación, donde encontraron un importante decremento en el porcentaje de almidón retrogradado por efecto de las enzimas, acompañado de una disminución en la dureza instrumental y aumento de la rolabilidad evaluada sensorialmente.

Suhendro y col. (1998) (a), emplearon el dispositivo de rolabilidad de Textura Analyzer TAX T2 para evaluar el efecto del almacenamiento a 25°C por 10 días y encontraron que la prueba fue muy sensible para detectar diferencias las primeras 24 h, notándose un incremento en la fuerza y el trabajo de rolabilidad y también fue sensible para detectar diferencias en tortillas comerciales empacadas de diferentes marcas, así como efecto de la adición de algunas sustancias como CMC y malta. Suhendro y col. (1995), también encontraron un incremento en el trabajo y la fuerza de rolabilidad durante el almacenamiento a temperatura ambiente, empleando sorbato de potasio y ácido fumárico como conservadores.

Aún cuando en el presente estudio se emplearon conservadores, el hecho de que a partir del día 14 hayan disminuido la fuerza máxima y el trabajo de rolabilidad, fue causado por la actividad de amilasas debidas a hongos presentes en las tortillas, aún cuando no fueran visibles

todavía las colonias de hongos, además de que en ausencia de conservador, la fuerza máxima de roabilidad fue menor. Esto se consideró por la semejanza en los resultados que se obtuvieron en el presente estudio con los de Iturbe y col. (1996), ya que mediante el empleo de amilasas fúngicas, lograron disminuir la retrogradación del almidón.

Es importante mencionar que aunque los conservadores (sorbato de potasio y ácido fumárico) tuvieron poca influencia en las propiedades de trabajo total y fuerza máxima de roabilidad de las tortillas, si repercutieron en la vida útil de éstas, ya que permanecieron sin presencia fúngica aparente durante el periodo de almacenamiento (28 días), mientras que las tortillas a las que no se les adicionaron los conservadores presentaron hongos del tipo *Aspergillus* (se reconoció por la coloración que presentaron – rosa oscuro), y su tiempo de vida útil solo fue de 14 días.

Contrastando los resultados obtenidos en este estudio, con los de otros autores se infiere que la prueba de roabilidad es sensible para detectar cambios en tortillas elaboradas con diferentes tipos de masa, en periodos prolongados de almacenamiento y adicionadas con conservadores y un mejorador de textura, lo cual permite la evaluación de diversas variables.

3.1.2 Extensibilidad.

Los resultados de la prueba de extensibilidad se analizaron estadísticamente mediante un análisis de varianza (ANOVA). En el anexo 4, se describe detalladamente el procedimiento mediante el cual se efectuó este análisis estadístico.

En lo que respecta a las propiedades de extensibilidad, la fuerza de ruptura representa a la fuerza requerida para deformar a la tortilla llegando hasta su ruptura; la distancia de ruptura, representa la elongación que se alcanzó, para romper la tortilla que estaba sujeta a las bases de acero inoxidable, y es una medida de su flexibilidad; el trabajo de ruptura representa al trabajo total que se realizó para extender la tortilla hasta su ruptura; y la resistencia final es la resistencia que opone la tortilla a la ruptura, segundos antes de que ésta suceda, y es una medida de la firmeza de la misma. Por lo que una tortilla flexible (no rígida) es de gran calidad.

En la tabla 9 se muestra el valor de probabilidad de cometer error al rechazar la hipótesis nula H_0 , donde la variable con Probabilidad $< \alpha$ ($\alpha = 5\%$) tiene un efecto significativo. En esta misma tabla, se observa que las variables que tuvieron influencia en la fuerza, distancia y trabajo de ruptura y la resistencia final de las tortillas son el tipo de masa, el tiempo de almacenamiento y la adición de conservadores. Esto se determinó ya que se consideró un valor de 5% de nivel de significancia, por lo que las variables que influyeron en la extensibilidad de las tortillas, fueron aquellas cuyo valor de P fue menor a dicho valor (0.05).

Tabla 9. Probabilidad en la prueba de extensibilidad de tortillas.³

Variable	Niveles de variación	Probabilidad			
		Fuerza de ruptura	Distancia de ruptura	Trabajo de ruptura	Resistencia final
Tipo de masa	MFMN, MHMN, Mx	0.000	0.000	0.000	0.000
Conservadores	Con, Sin	0.000	0.000	0.000	0.000
Mejorador de textura	Con, Sin	0.913	0.892	0.291	0.239
Tiempo de almacenamiento	0, 7, 14, 21, 28 días	0.000	0.000	0.000	0.000

Asimismo, en la tabla 10 se presentan los promedios finales, obtenidos del ANOVA, de la fuerza, distancia y trabajo de ruptura, así como de la resistencia final para cada variable: tipo de masa, adición de conservadores, adición de mejorador de textura y tiempo de almacenamiento en refrigeración tras efectuar la prueba de extensibilidad.

Al igual que en la prueba de rolabilidad, aquí se observa que de acuerdo al tipo de masa, la fuerza, distancia y trabajo de ruptura, así como la resistencia final son diferentes para cada uno de ellos, mostrándose que el orden de los valores de estas propiedades de textura decrece de la siguiente forma: MFMN>Mx>MHMN, lo que indica que las tortillas de MFMN son más firmes y se deforman menos que las elaboradas de Mx y de MHMN, una vez tensas entre las

³ Ver ANEXO 4

bases de acero inoxidable. Esto se debe, principalmente, a la composición de la masa y al proceso que se realizó para la obtención de cada una de ellas (como se mencionaba en el caso de rolabilidad). También se comprobó que la cantidad de agua en la masa no es un factor influyente en la extensibilidad de las tortillas, si se ajusta a 57% (lo cual se estableció de acuerdo a una recomendación, en base a estudios realizados previamente por otros investigadores – Gasca y Casas, 2007).

A medida que la distancia de ruptura aumenta, la tortilla es más flexible pues se extiende a una mayor distancia antes de romperse, y en consecuencia se obtiene mayor fuerza y trabajo de ruptura. Lo anterior indica que las tortillas de MFMN son más flexibles, las de MHMN son menos flexibles y las de Mx tienen un comportamiento entre MFMN y MHMN (ver figura 19).

Tabla 10. Propiedades de textura bajo la prueba de extensibilidad.⁴

Variable	Niveles de variación	Promedio*			
		Fuerza de ruptura (N)	Distancia de ruptura (mm)	Trabajo de ruptura (Ns)	Resistencia final (N/s)
Tipo de masa	MFMN	13.499 ^a	16.440 ^a	37.990 ^a	2.921 ^a
	MHMN	6.090 ^b	12.190 ^b	13.980 ^b	1.574 ^b
	Mx	10.886 ^c	15.490 ^c	30.230 ^c	2.400 ^c
Conservadores	Con	8.308 ^a	14.210 ^a	21.140 ^a	1.989 ^a
	Sin	12.009 ^b	15.200 ^b	33.660 ^b	2.608 ^b
Mejorador de textura	Con	10.140 ^a	14.720 ^a	28.110 ^a	2.261 ^a
	Sin	10.177 ^a	15.690 ^a	26.690 ^a	2.336 ^a
Tiempo de almacenamiento	0	5.157 ^a	13.220 ^a	13.460 ^a	1.264 ^a
	7	10.655 ^b	15.760 ^b	29.280 ^b	2.454 ^b
	14	11.397 ^b	14.940 ^b	30.330 ^b	2.665 ^b
	21	11.502 ^b	14.990 ^b	31.470 ^b	2.525 ^b
	28	12.081 ^b	14.610 ^b	32.460 ^b	2.586 ^b

*NOTA. Los valores con el mismo superíndice (en una columna), resultaron estadísticamente iguales al aplicar la prueba de Tukey con un valor de $\alpha = 5\%$.

⁴ Ver ANEXO 2

De igual forma, en la tabla 10, se observa que la adición de conservadores si influyó en las propiedades de textura de la prueba de extensibilidad, principalmente para el trabajo y la fuerza de ruptura, ocasionando que la tortilla fuera menos firme y que se requiriera una menor fuerza y un menor trabajo para extender las tortillas hasta su ruptura. Situación que se atribuye a la inhibición de amilasas fúngicas, lo que causa menor flexibilidad en las tortillas.

Por otro lado, se pudo comprobar que el tiempo de almacenamiento en refrigeración continúa siendo un factor que tiene influencia en la extensibilidad de las tortillas (fuerza, distancia y trabajo de ruptura, así como la resistencia final) manifestándose un aumento en la rigidez durante los primeros días de almacenamiento (del día de su elaboración hasta el día 7 de almacenamiento).

Esto es consecuencia del proceso de retrogradación del almidón de las tortillas, ya que como se mencionó, éste se presenta en los primeros días de almacenamiento, y más específicamente en las primeras 24 h, como consecuencia al reacomodo de las moléculas de amilosa y amilopectina después de la cocción de las tortillas (la velocidad de cada una de las fracciones del almidón es diferente; la amilosa retrograda más rápido que la amilopectina, ya que de acuerdo a su naturaleza lineal y altamente polar tiende a formar puentes de hidrógeno entre grupos hidroxilo de moléculas adyacentes, por lo que éstas van perdiendo su capacidad de hidratación). Eventualmente se forman cristales, acompañados por un incremento gradual en la rigidez, causando pérdida de flexibilidad y aumento en la firmeza de las mismas.

En el día 0 se observa que si existe diferencia significativa, con respecto a los demás días, es decir que los parámetros de extensibilidad tuvieron una mayor variación en estos días, sin embargo, a partir del día 14, no se presentan diferencias en los mismos parámetros (entre los resultados obtenidos entre los días 14, 21 y 28), porque se tiene una disminución considerable de la retrogradación por efecto del recalentamiento.

En las figuras 20, 21 y 22 se muestra el efecto del tiempo de almacenamiento en las tortillas elaboradas con los tres tipos de masa con conservadores y mejorador de textura, donde se observan los efectos antes mencionados.

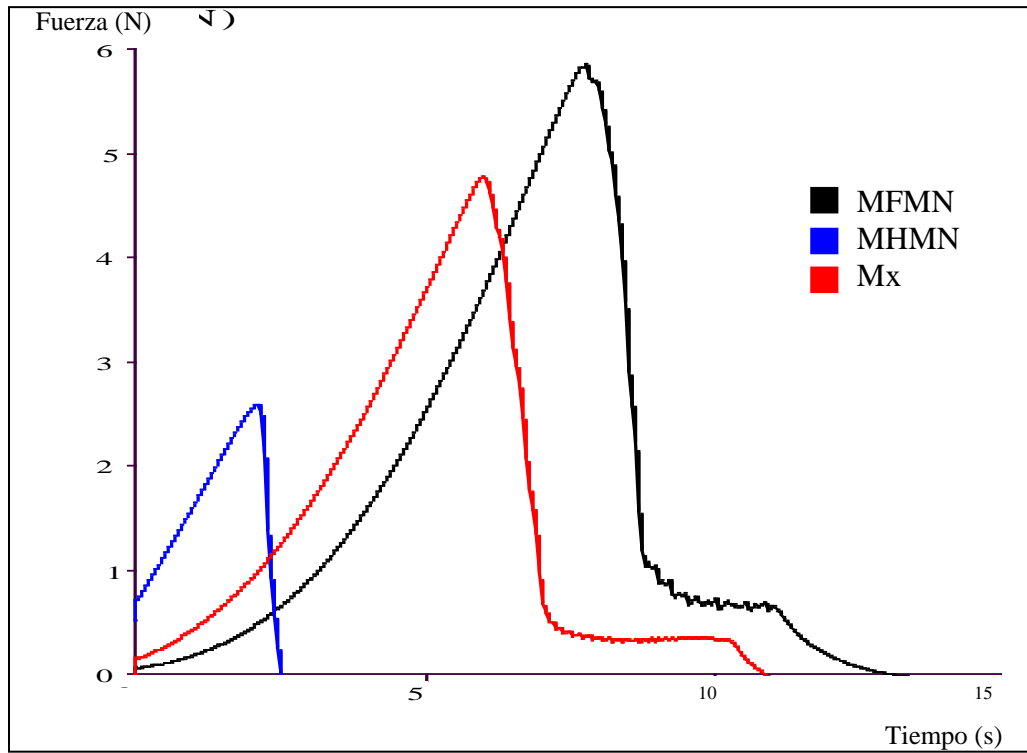
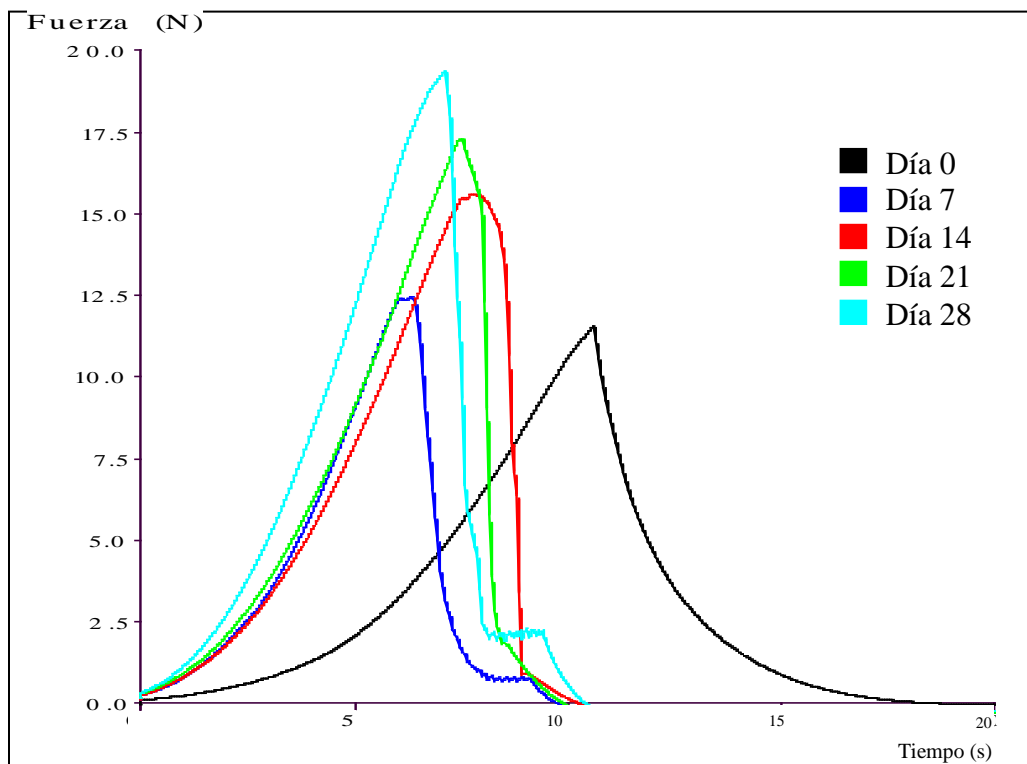


Figura 19. Prueba de extensibilidad en tortillas elaboradas con MFMN, MHMN y Mx (día 0).



Figuras 20. Prueba de extensibilidad en tortillas de MFMN con conservador y con mejorador.

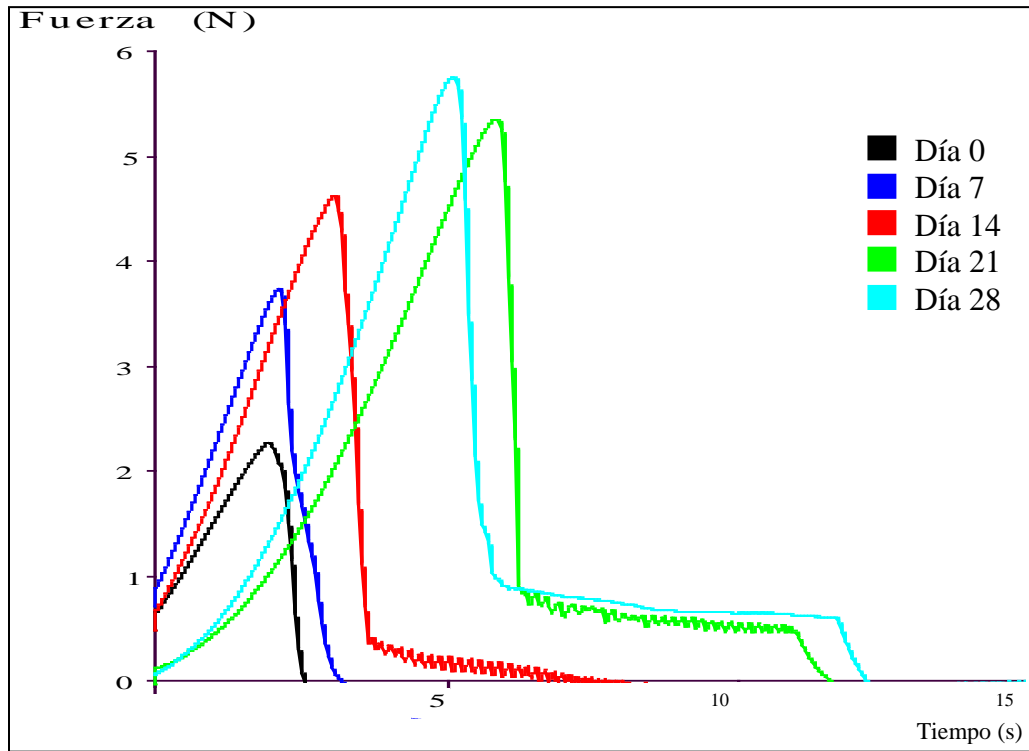


Figura 21. Prueba de extensibilidad en tortillas de MHMN con conservador y con mejorador.

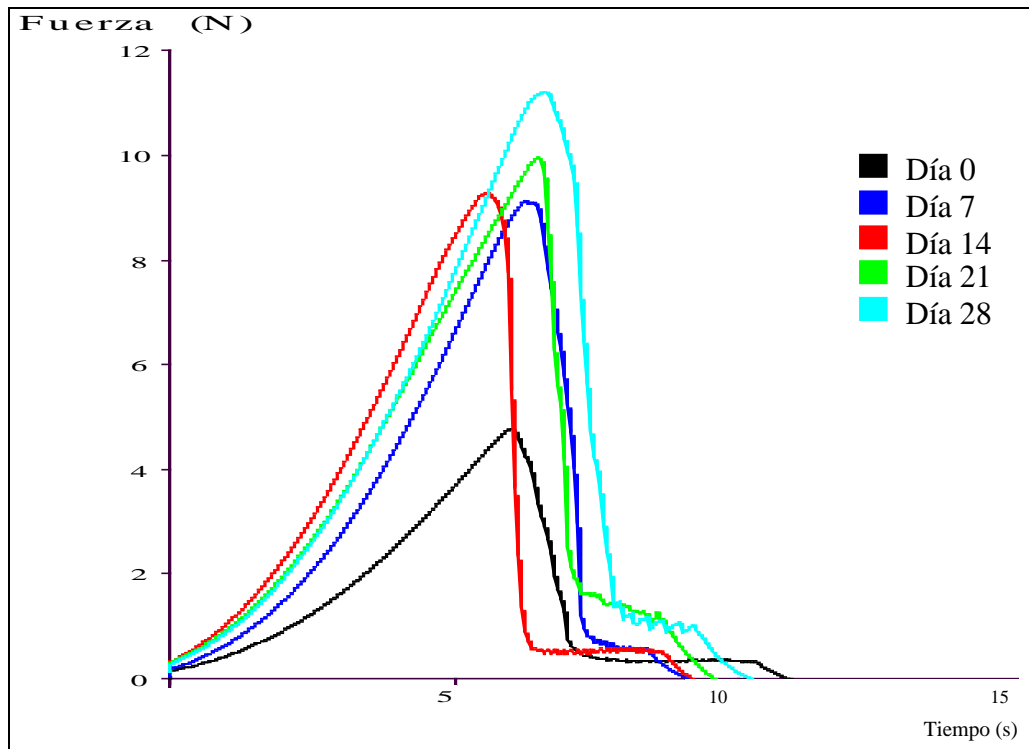


Figura 22. Prueba de extensibilidad en tortillas de Mx con conservador y con mejorador.

Rojas (2001) estudió el efecto de la congelación de masa y tortillas de HMN y la adición de una mezcla de gomas y encontró que la prueba de extensibilidad permitió detectar diferencias significativas en las tortillas, lo cual indica que la extensibilidad es una prueba efectiva para determinar si las tortillas son suaves, flexibles y cumplen con las características de textura deseadas por el consumidor, así como el efecto de las condiciones de almacenamiento. Gasca y Casas (2007) encontraron que tortillas elaboradas con mezcla de MFMN y 50% de HMN presentaron menor fuerza y distancia de extensibilidad que aquellas que contenían 10 y 30% de HMN y de las de 100% de MFMN y 100% de MHMN. En estudios realizados por Almeida y Rooney (1997) en diferentes marcas comerciales de tortillas de maíz, la prueba de extensibilidad permitió distinguir algunas marcas por la fuerza y otras por la distancia de extensibilidad. Suhendro y colaboradores (1995) encontraron que en la prueba de extensibilidad aplicada a tortillas testigo, adicionadas con mejoradores de textura (CMC y malta) y almacenadas a 25° C, se observó incremento en el trabajo de ruptura y resistencia final al aumentar el tiempo de almacenamiento, pero la técnica no tuvo diferencias significativas por efecto de los mejoradores.

A diferencia de los estudios citados anteriormente, en el presente proyecto se observó que la prueba de extensibilidad si permitió detectar diferencias significativas en las variables como tipo de masa, presencia de conservadores y tiempo de almacenamiento, indicando así que las tortillas de MHMN son menos flexibles y que el tiempo incrementa su firmeza.

Estudios realizados por otros autores (Gasca y Casas, 2007; Lloyd, 1999) en diferentes tipos de tortillas de maíz, mostraron valores de fuerza de ruptura entre 8 y 12 N, lo que significa que los resultados obtenidos en el presente proyecto se encuentran dentro del rango para tortillas almacenadas durante 28 días en refrigeración.

3.1.3 Tensión

Cuando la tortilla fue extendida de sus extremos con una fuerza igual pero opuesta, la fuerza causó una completa ruptura de la misma, y los resultados obtenidos se presentan a continuación.

En el anexo 3 se presentan los resultados concernientes a la prueba de tensión para los tres tipos de masa en los diferentes días de almacenamiento.

En la tabla 11 se muestra el valor de probabilidad de cometer error al rechazar la hipótesis nula H_0 , donde la variable con Probabilidad $< \alpha$ ($\alpha = 5\%$) tiene un efecto significativo.

Tabla 11. Probabilidad en la prueba de tensión de tortillas.⁵

Variable	Niveles de variación	Probabilidad		
		Fuerza de ruptura	Distancia de ruptura	Trabajo de ruptura
Tipo de masa	MFMN, MHMN, Mx	0.000	0.000	0.000
Conservadores	Con, Sin	0.266	0.200	0.342
Mejorador de textura	Con, Sin	0.535	0.555	0.380
Tiempo de almacenamiento	0, 7, 14, 21, 28 días	0.000	0.000	0.000

De la tabla 11, se observa que los conservadores y el mejorador de textura no tuvieron efecto significativo en los parámetros de tensión, lo cual indica que la flexibilidad de las tortillas se debe principalmente a las materias primas con las que las tortillas fueron elaboradas, así como al tiempo de almacenamiento.

En la tabla 12 se presentan los promedios finales, obtenidos del ANOVA, de la fuerza, distancia y trabajo de ruptura, para cada variable (tipo de masa, adición de conservadores, adición de mejorador de textura y tiempo de almacenamiento en refrigeración), tras efectuar la prueba de tensión. También se puede observar que se requirió más fuerza y un mayor trabajo para romper las tortillas de MFMN y menor para las de MHMN, mientras que las elaboradas de Mx presentaron valores intermedios. Esto se debe, principalmente, a la composición de la masa y al proceso que se realizó para la obtención de cada una de ellas.

⁵ Ver ANEXO 4

Con respecto a la distancia de ruptura, las tortillas de MFMN y las de Mx se rompieron a mayor distancia que las de MHMN, lo que indica que éstas últimas son menos flexibles. Asimismo se observa que la variación con respecto al tiempo de almacenamiento en refrigeración para cada propiedad, llámese fuerza, distancia o trabajo de ruptura, es mayor al día 7 de almacenamiento, lo cual ocurre por el fenómeno de retrogradación del almidón.

Tabla 12. Propiedades de textura bajo la prueba de tensión.⁶

Variable	Niveles de variación	Promedio [*]		
		Fuerza de ruptura (N)	Distancia de ruptura (mm)	Trabajo de ruptura (Ns)
Tipo de masa	MFMN	3.010 ^a	5.804 ^a	10.689 ^a
	MHMN	1.024 ^b	4.981 ^b	1.839 ^b
	Mx	2.291 ^c	6.434 ^a	6.557 ^c
Conservadores	Con	1.987 ^a	5.429 ^a	5.798 ^a
	Sin	2.230 ^a	6.051 ^b	6.926 ^a
Mejorador de textura	Con	2.045 ^a	5.794 ^a	5.869 ^a
	Sin	2.172 ^a	5.685 ^a	6.855 ^a
Tiempo de almacenamiento	0	1.301 ^a	5.405 ^a	3.366 ^a
	7	3.567 ^b	6.362 ^b	10.743 ^b
	14	1.803 ^a	6.141 ^{ac}	5.346 ^a
	21	1.917 ^a	6.426 ^c	6.149 ^a
	28	1.955 ^a	6.365 ^c	6.205 ^{ab}

*NOTA. Los valores con el mismo superíndice (en una columna), resultaron estadísticamente iguales al aplicar la prueba de Tukey con un valor de $\alpha = 5\%$.

Lo anterior se muestra gráficamente en las figuras 23, 24, 25 y 26.

En la figura 23 se observa que la fuerza requerida para estirar (hasta la ruptura) cada tortilla, incrementa durante la deformación extensiva y llega a un valor máximo antes de la ruptura, e inmediatamente disminuye, después de la ruptura.

⁶ VER ANEXO 3

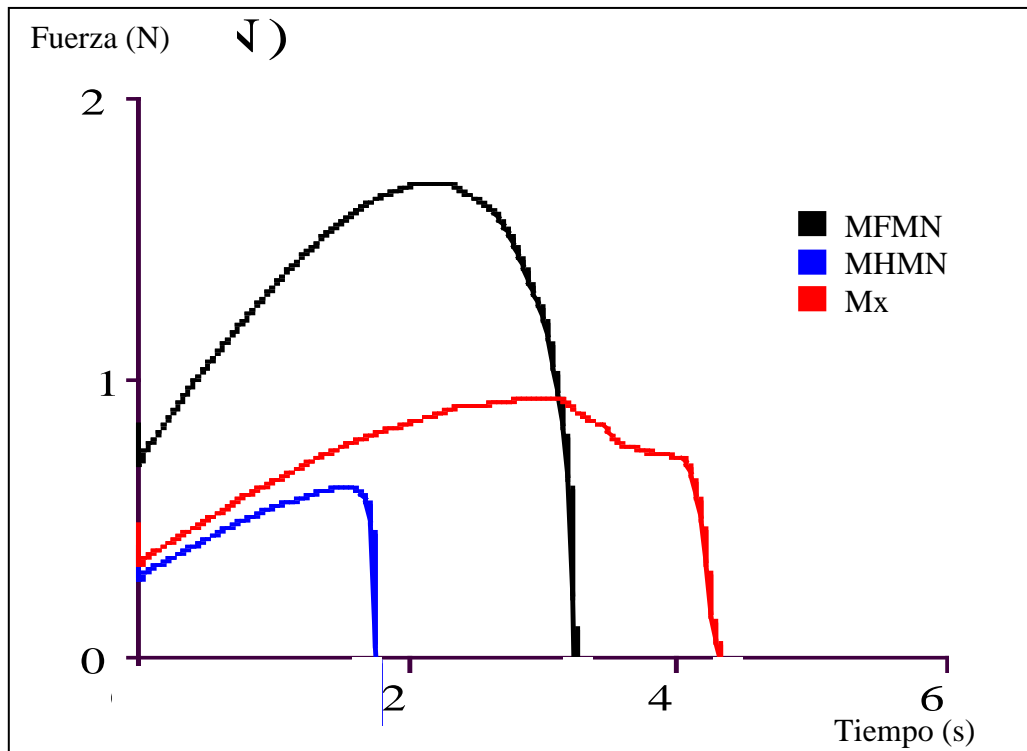


Figura 23. Prueba de tensión en tortillas elaboradas con MFMN, MHMN y Mx (día 0).

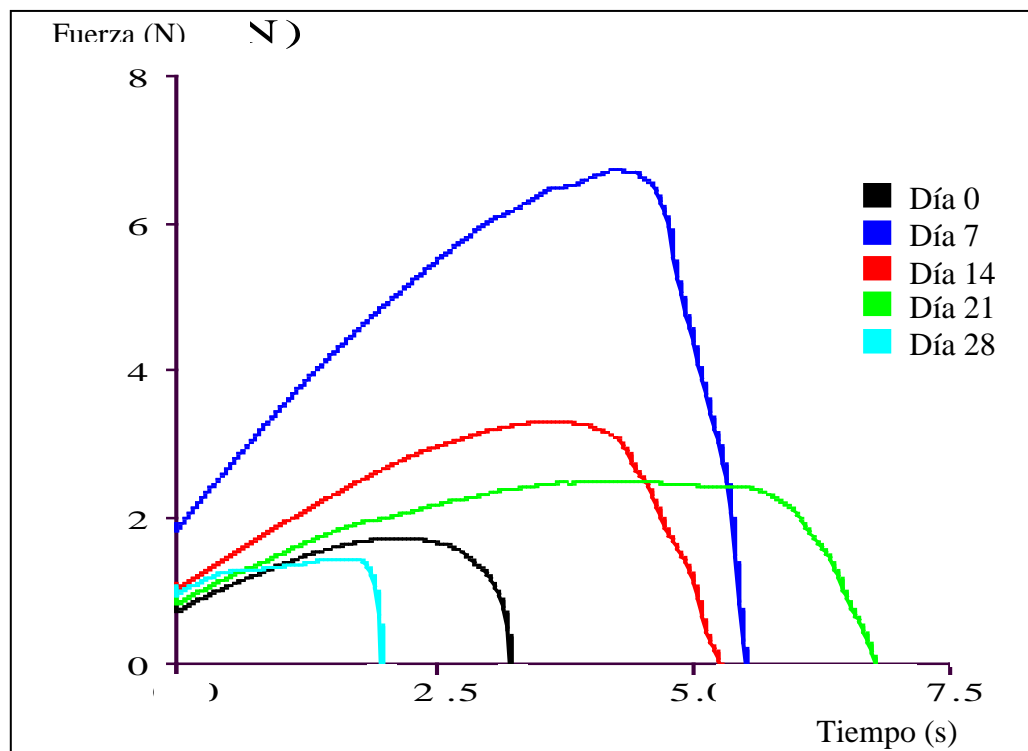


Figura 24. Prueba de tensión en tortillas de MFMN con conservador y con mejorador.

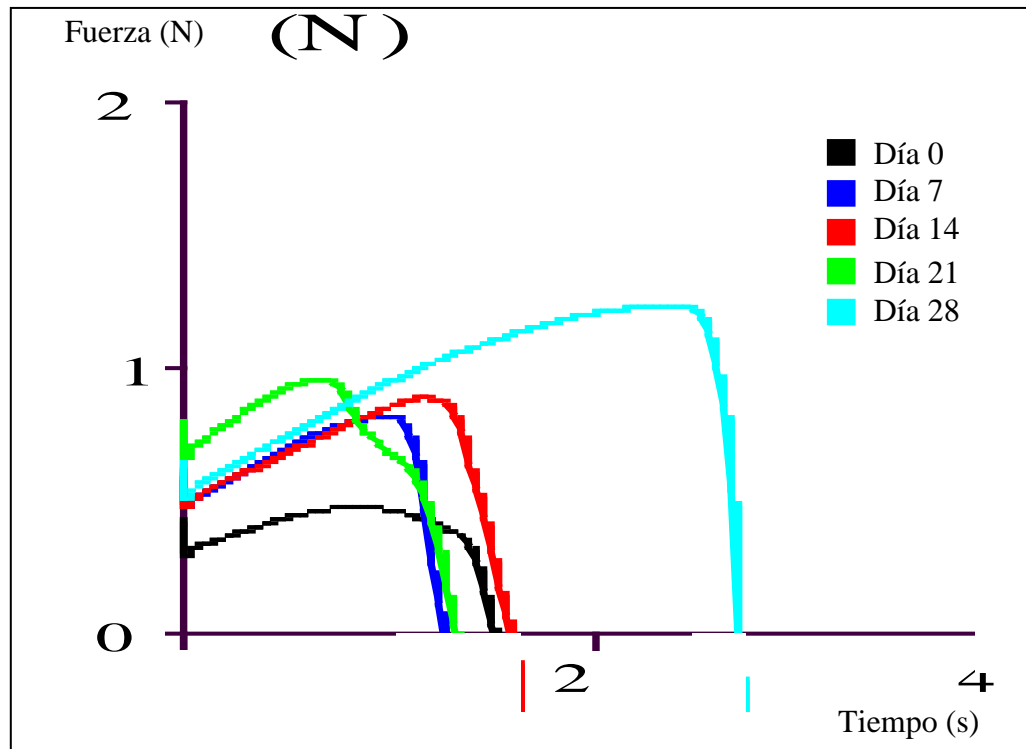


Figura 25. Prueba de tensión en tortillas de MHMN con conservador y con mejorador.

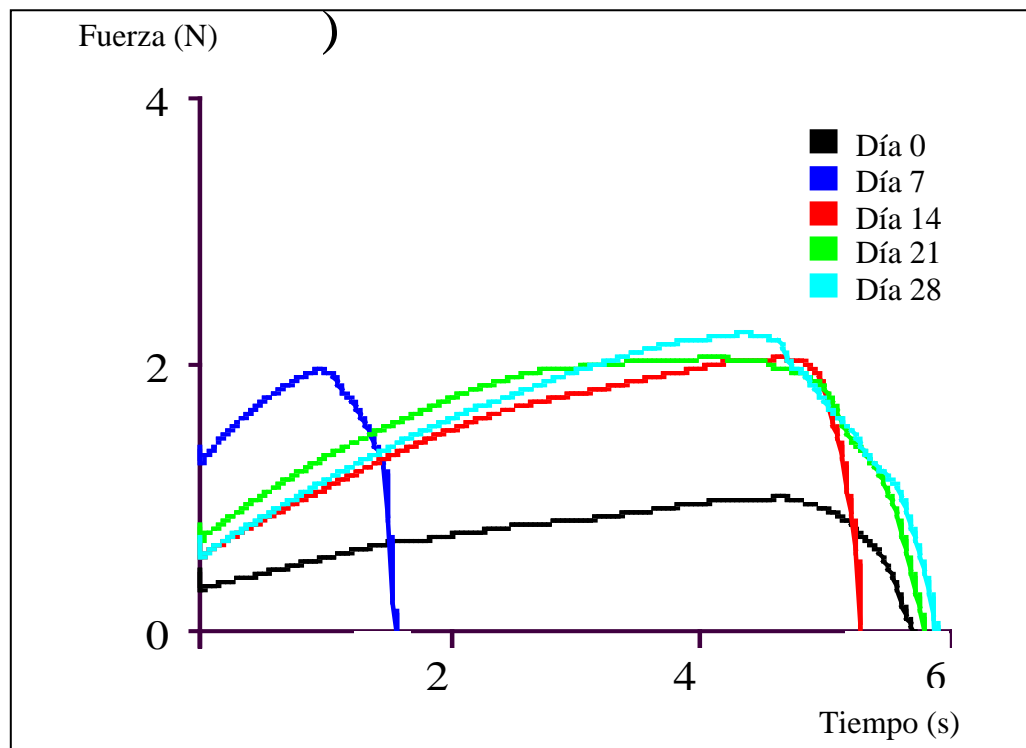


Figura 26. Prueba de tensión en tortillas de Mx con conservador y con mejorador.

Suhendro y col. (1999), encontró que las tortillas delgadas (1.09mm) eran más suaves, rollables y flexibles, y que además tenían fuerzas de ruptura menores y distancias de ruptura mayores, comparado con tortillas más gruesas (1.85mm), las cuales presentaron mayores distancias de ruptura y menores fuerzas de ruptura, por lo que eran pesadas y firmes. También encontró que conforme aumenta el tiempo de almacenamiento, la flexibilidad de las tortillas disminuye y la firmeza aumenta.

Estudios realizados por varios autores (Suhendro y col., 1998 (b); Lloyd, 1999) en diferentes tipos de tortillas de maíz, mostraron valores de fuerza de ruptura entre 2 y 11 N, lo que significa que los resultados obtenidos en el presente proyecto para la prueba de tensión, se encuentran dentro del rango para tortillas elaboradas bajo condiciones piloto y almacenadas durante 28 días en refrigeración.

Por otro lado, dado que el mejorador de textura no tuvo efecto en las pruebas de textura de las tortillas de maíz, durante los 28 días de almacenamiento, se decidió comparar los resultados obtenidos en cada prueba (rolabilidad, extensibilidad y tensión) para las tortillas elaboradas con los tres tipos de masa, al día 0 (es decir, el día de su elaboración). Lo que se presenta en las tablas 13, 14 y 15.

Así mismo, se realizó un ANOVA en su modelo general lineal, para verificar si el mejorador influyó significativamente en las propiedades de textura de las tortillas el día de su elaboración.

En la tabla 13, se puede observar que la presencia del mejorador de textura si influye en la rolabilidad de las tortillas de MHMN el día de elaboración de las mismas, ya que presentan un menor trabajo para enrollarse y una menor fuerza total de rolabilidad (comparado con las tortillas de MHMN que no tenían mejorador), lo cual indica que son más suaves y flexibles; mientras que para las de MFMN y las de Mx su influencia no fue significativa.

Tabla 13. Resultados de la prueba de rolabilidad para las tortillas de maíz el día 0^q.

Tipo de masa	Nivel de variación	Trabajo total de rolabilidad (Ns) *	Fuerza máxima de rolabilidad (N)*
MFMN	CM	1.397 ^a	0.121 ^a
	SM	1.287 ^a	0.115 ^a
MHMN	CM	0.088 ^a	0.020 ^a
	SM	0.175 ^b	0.033 ^b
Mx	CM	0.138 ^a	0.026 ^a
	SM	0.105 ^b	0.020 ^a

^q Valores promedio

*NOTA. Los valores con el mismo superíndice para un mismo tipo de tortilla (en una columna), resultaron estadísticamente iguales al aplicar la prueba de Tukey con un valor de $\alpha = 5\%$.

Lo anterior indica también que el efecto favorable de la adición del mejorador de textura (marca Tortillaid 100TM elaborado por LALLEMAND de México) se observa mejor para las tortillas de MHMN el día de su elaboración, porque el recalentamiento y las bajas temperaturas enmascaran su efecto, reduciendo su estabilidad.

Tabla 14. Resultados de la prueba de extensibilidad para las tortillas de maíz el día 0^q.

Tipo de masa	Nivel de variación	Fuerza de ruptura (N) *	Distancia de ruptura (mm) *	Trabajo de ruptura (Ns) *	Resistencia final (N/s) *
MFMN	CM	8.508 ^a	17.190 ^a	27.140 ^a	1.685 ^a
	SM	6.370 ^a	15.270 ^b	17.870 ^b	1.398 ^a
MHMN	CM	2.713 ^a	9.433 ^a	4.463 ^a	0.943 ^a
	SM	2.780 ^a	10.242 ^a	5.485 ^a	0.865 ^b
Mx	CM	4.825 ^a	12.860 ^a	11.420 ^a	1.267 ^a
	SM	5.743 ^b	14.310 ^b	14.400 ^b	1.465 ^b

^q Valores promedio

*NOTA. Los valores con el mismo superíndice (en una columna), resultaron estadísticamente iguales al aplicar la prueba de Tukey con un valor de $\alpha = 5\%$.

En la tabla 14 se puede observar que la adición del mejorador de textura influyó significativamente en la distancia y el trabajo de ruptura para las tortillas elaboradas de MFMN, y en la resistencia final de las tortillas elaboradas de MHMN, lo cual propició tortillas flexibles y más extensibles; sin embargo, para las tortillas elaboradas de Mx se observa que si influyó en todas las propiedades, pero no fue favorable, ya que si bien, las que tenían mejorador tuvieron menor fuerza y trabajo de ruptura y resistencia final, se rompieron a menor distancia.

Por otro lado, se observa que la extensibilidad va en orden decreciente, dependiendo del tipo de masa con que hayan sido elaboradas, siendo: MFMN>Mx>MHMN.

Tabla 15. Resultados de la prueba de tensión para las tortillas de maíz el día 0^q.

Tipo de masa	Nivel de variación	Fuerza de ruptura (N) [*]	Distancia de ruptura (mm) [*]	Trabajo de ruptura (Ns) [*]
MFMN	CM	1.692 ^a	5.073 ^a	4.730 ^a
	SM	2.137 ^b	4.257 ^b	4.835 ^a
MHMN	CM	0.803 ^a	4.830 ^a	1.660 ^a
	SM	1.111 ^b	4.662 ^a	2.797 ^a
Mx	CM	0.981 ^a	7.075 ^a	3.083 ^a
	SM	1.080 ^a	6.532 ^a	3.092 ^a

^q Valores promedio

*NOTA. Los valores con el mismo superíndice (en una columna), resultaron estadísticamente iguales al aplicar la prueba de Tukey con un valor de $\alpha = 5\%$.

En la tabla 15, se observa que la influencia significativa del mejorador de textura se presenta en la fuerza de ruptura (disminuyéndola) y en la distancia de ruptura (aumentándola) de las tortillas de MFMN, lo que se traduce en tortillas flexibles, poco quebradizas, es decir, con menor tendencia a la ruptura; mientras que en las tortillas de MHMN, el mejorador únicamente influye en la fuerza de ruptura; y en las elaboradas de Mx no tuvo ningún efecto. Como ocurre para el caso de extensibilidad, los valores para la prueba de tensión van en orden decreciente dependiendo del tipo de masa: MFMN>Mx>MHMN. Esto es causado por la

competencia del mejorador con algunos ingredientes de la masa por el agua disponible, siendo que para la MHMN el agua es absorbida casi completamente por la harina y el mejorador no es capaz de absorberla, mientras que para la MFMN la competencia por el agua es menor.

3.2 ENFRIAMIENTO DE TORTILLAS

3.2.1 Rapidez de enfriamiento

Para el objetivo 2, se realizó una Prueba de Distribución Normal, considerando 5% de nivel de significancia, y teniendo como variable independiente el tipo de masa (MFMN, MHMN, Mx).

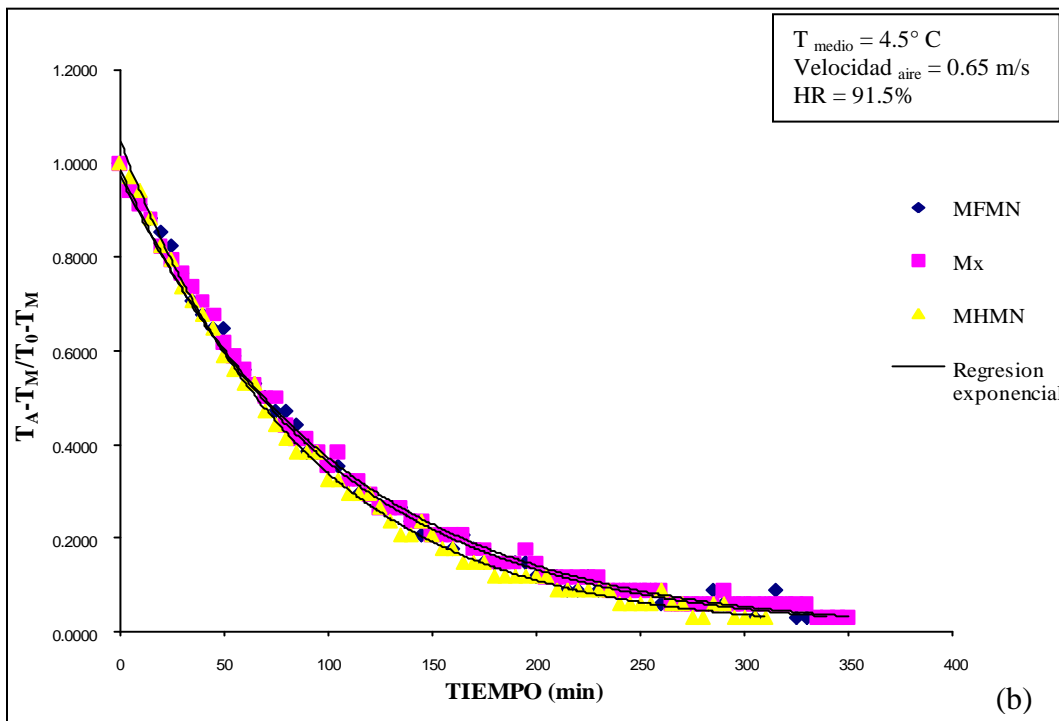
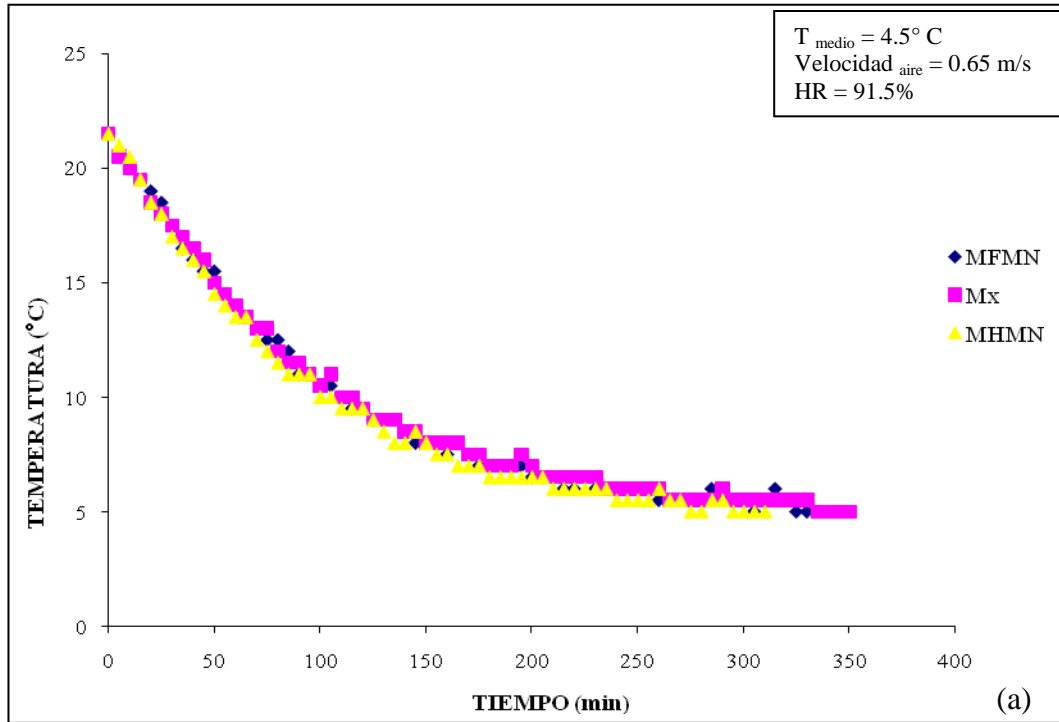
De manera que si los resultados de la distribución normal para el tiempo y la rapidez de enfriamiento eran mayores a 5%, la distribución sería considerada como normal y viceversa.

Está comprobado que la refrigeración debe realizarse lo más rápido posible para limitar la multiplicación de microorganismos (bacterias, hongos y levaduras). Por esta razón, la temperatura del termostato de la cámara de refrigeración se ajustó a 1° C; sin embargo, existieron variaciones de temperatura dentro de la cámara, debido a la velocidad del aire (0.65m/s), a la humedad relativa (91.5%) y a los ciclos de carga y descarga del compresor, que ocasionaron que la temperatura promedio de la cámara fuera de 4.5° C.

Para evitar la sobrecarga de calor en la cámara de refrigeración y la pérdida de humedad de las tortillas, primero, a temperatura ambiente se disminuyó la temperatura de $90\pm 10^{\circ}\text{C}$ a $22\pm 5^{\circ}\text{C}$ de las tortillas durante 30min, y posteriormente se introdujeron en la cámara. Una vez efectuada esta operación y considerando que las tortillas presentaban una temperatura constante (5°C), se determinó el tiempo y la rapidez de enfriamiento, tras realizar una regresión exponencial a las historias térmicas de las tortillas elaboradas con MFMN, MHMN y Mx, lo cual se muestra gráficamente en las figuras 27 y 28.

Es importante mencionar que la higiene de las tortillas se controló al máximo para evitar la presencia indeseable de microorganismos tanto patógenos (*Clostridium perfringens*) como los

que alteran las propiedades físicas (*Aspergillus*). Esto se consiguió utilizando materias primas de buena calidad y manipulando dichas materias primas con calidad y limpieza.



Figuras 27 y 28. Historias térmicas (a) y curva de rapidez de enfriamiento (b).

De las ecuaciones obtenidas, la pendiente representa la rapidez de enfriamiento, así se tiene:

$$Y_{MF} = 0.9864e^{-0.01x}, \text{ donde } 0.01 \text{ min}^{-1} \text{ es la rapidez de enfriamiento,}$$

$$Y_{MH} = 1.0493e^{-0.0113x}, \text{ donde } 0.0113 \text{ min}^{-1} \text{ es la rapidez de enfriamiento,}$$

$$Y_{MX} = 0.9714e^{-0.0098x}, \text{ donde } 0.0098 \text{ min}^{-1} \text{ es la rapidez de enfriamiento.}$$

La reducción de la velocidad de deterioro de las tortillas, en general, depende de la disminución rápida de calor del producto, es decir, de la rapidez de enfriamiento. De manera que, para determinar si el tipo de masa era significativamente diferente en el tiempo y la rapidez de enfriamiento, se realizó la tabla 16. Donde se puede observar que los valores de distribución normal tanto para el tiempo como para la rapidez de enfriamiento son mayores a 0.05, lo cual significa que siguen una distribución normal y que no difiere significativamente el tipo de masa, es decir, que no es considerado como un factor influyente para que alcancen la temperatura de almacenamiento que requieren para su conservación en refrigeración. Lo anterior indica que el proceso se realiza al mismo tiempo y con la misma rapidez por lo que el producto podrá ser conservado en buenas condiciones hasta su consumo final.

Tabla 16. Valores de distribución normal para el tiempo y rapidez de enfriamiento de tortillas.

Tipo de masa	Tiempo de enfriamiento (h)	Rapidez de enfriamiento (min ⁻¹)
MFMN	5.660	0.0100
MHMN	5.160	0.0113
Mx	5.830	0.0096
Promedio	5.550	0.010
Desviación Estándar	0.348	0.001
C. V.	6.275	8.629
Distribución Normal	0.340	0.308

También es necesario mencionar que para la realización de este objetivo, no se adicionaron conservadores ni mejorador de textura, ya que las cantidades que se adicionaron para efectuar el objetivo 1, eran muy pequeñas, y se consideraron despreciables para que influyeran en el tiempo y la rapidez de enfriamiento.

Conclusiones

De acuerdo al planteamiento de objetivos se concluye que:

- La acción conjunta de ácido fumárico y sorbato de potasio fue muy eficaz en la inhibición del crecimiento de microorganismos (particularmente hongos del tipo *Aspergillus*) y en la extensión de la vida útil de las tortillas hasta por 28 días en almacenamiento refrigerado.
- El tipo de masa y el tiempo de almacenamiento en refrigeración, fueron los factores que más influyeron en las pruebas de rolabilidad, extensibilidad y tensión de las tortillas. Esto se reflejó en la fuerza y el trabajo total de rolabilidad; en la fuerza, distancia y el trabajo de ruptura, así como en la resistencia final de las tortillas, ya que las tortillas elaboradas con MFMN requirieron de mayor fuerza y trabajo para enrollarse y extenderse que las elaboradas con Mx y con MHMN; asimismo, se observó que el tiempo que transcurrió del día 0 al día 7, fue el que más influyó en las características de textura de las tortillas.
- En la prueba de extensibilidad se demostró que además del tipo de masa y el tiempo de almacenamiento, los conservadores si influyeron para extender la tortilla hasta su ruptura.
- La adición de mejorador de textura no causó diferencias durante el almacenamiento en refrigeración en ninguna prueba (rolabilidad, extensibilidad y tensión) para las tortillas. Sin embargo, en el día de su elaboración (día 0) si se puede observar una diferencia en la textura de las tortillas por efecto del mejorador para cada prueba (principalmente para tortillas de MHMN y MFMN), ya que propiciaron un aumento en la flexibilidad y suavidad de las tortillas lo que a su vez ocasionó una mayor resistencia a la ruptura.
- El tipo de masa no influyó en el tiempo ni en la rapidez de enfriamiento de las tortillas, lo cual es importante considerar, ya que de la rapidez con la que se enfríen, dependerá su conservación e inhibición de crecimiento microbiano. Esto quedó constatado con el presente proyecto, ya que en investigaciones anteriores (Martínez y col., 2004), las tortillas tuvieron una vida útil de 16 días, debido a que la rapidez con la que se aplicó el enfriamiento no fue la adecuada y ocasionó crecimiento fúngico y bacteriano.

Con respecto a las hipótesis, es importante mencionar que las tortillas de MFMN presentaron la mejor extensibilidad, pero no eran más suaves ni rotables que las de MHMN, y que el efecto del mejorador en los tres tipos de tortillas se no fue evidente por las bajas temperaturas y el recalentamiento.

La importancia de este proyecto está ligada al constante crecimiento de la población consumidora de tortillas de maíz en el mundo, ya que con la afluencia de los supermercados, la tendencia en el futuro en las áreas urbanas será la compra de tortillas refrigeradas de gran calidad. Un ejemplo de esto es que desde el año 2004, las ventas de tortillas refrigeradas en los Estados Unidos de América se han incrementado en un 3.9% por año, consumiéndose como aperitivos, bases para pizzas y lasagna, sustitutos de pan, entre otros, además de su utilidad pudiendo utilizarse frías o calientes (TIA, 2008).

La tecnología, mercadeo y distribución han tenido un gran impacto en el negocio de la tortilla, y se predice que la tendencia en el futuro será la disminución o desaparición de negocios de tamaño mediano en las áreas urbanas de todo el mundo para dar paso a las grandes corporaciones que empleen sistemas de mayor tecnología (refrigeración, congelación, envasado aséptico, atmósferas modificadas) que faciliten el acceso en cualquier momento y lugar del mundo, a alimentos de buena calidad que satisfagan las necesidades de los consumidores (como es el caso de las tortillas). Razón por la cual es conveniente la implementación de métodos como la refrigeración en el almacenamiento de las tortillas a gran escala.

Además, para asegurar que las tortillas de maíz tengan una textura aceptable, es necesario aplicar conservadores y varios aditivos que incrementen su vida útil. Los conservadores son necesarios para inhibir el crecimiento de microorganismos, mientras que otros aditivos se emplean para conservar la textura, reduciendo la pérdida de humedad en la tortilla y retardando el proceso de retrogradación del almidón. Por tanto, se recomienda en estudios posteriores, variar la concentración y tipo de mejorador de textura, así como el empleo de, aditivos que sean funcionales a bajas temperaturas, ya que la tendencia a utilizar el almacenamiento refrigerado va en aumento.

Bibliografía

1. Agama A. E., Ottenhof M. A., Farhat I. M., Paredes L. O., Ortíz C. J., Bello P. L. A. 2004. Efecto de la nixtamalización sobre las características moleculares del almidón de variedades pigmentadas de maíz. INCI. Noviembre, (29), (11).
2. Álvarez C. A. 2007. Análisis de la cadena de frío de frutas y hortalizas en México. IX Congreso Iberoamericano de Aire Acondicionado y Refrigeración. Pontificia Universidad Católica del Perú. Perú.
3. Arámbula V. G., Méndez A. J. A., González H. J., Gutierrez A. E., Moreno M. E. 2004. Evaluación de una metodología para determinar características de textura de tortilla de maíz (*Zea Mayz* l.). ALAN, (54), 2, 216-222.
4. Arámbula V. G., Barrón Á. L., González H. J. Moreno M. E. y Luna B. G. 2001. Efecto del tiempo de cocimiento y reposo del grano de maíz (*Zea Mayz* l.) nixtamalizado, sobre las características fisicoquímicas, reológicas, estructurales y Texturales del Grano, Masa y Tortillas de Maíz. ALAN, (51), 2, 187-194. (a)
5. Arámbula V. G., González H. J., Ordorica F. C. A. 2001. Physicochemical, structural and textural properties of tortillas from extruded instant corn flour supplemented with various types of corn lipids. Journal of Cereal Science, (33), 245-252. (b)
6. Badui D. S. 2006. Química de los alimentos. Pearson Educación, 5ª Edición. México.
7. Bello P. L. A., Flores C. A., Román B. J. Á. 2005. Efecto de la humedad y la temperatura de almacenamiento en la retrogradación de la tortilla, un punto de vista molecular. Instituto Politécnico Nacional.
8. Callejo G. Ma. De J., Rodríguez B. G., Gil G. M. 2002. Industrias de cereales y derivados. Mundi Prensa, 1ª Edición. España.
9. Charalambous G., Doxastakis G. 1989. Food emulsifiers, chemistry, technology, functional properties and applications. Elsevier Science Publishing Company Inc. Holanda.
10. Clubbs E. A., Vattadini E., Shellhammer T. H., Vodovotz Y. 2008. Effects of storage on the physico-chemical propoerties of corn tortillas prepared with glycerol and salt. Journal of Crereal Science, (47), 162-171.

11. Codex Alimentarius. 1999. Código de prácticas de higiene para los alimentos envasados refrigerados de larga duración en almacén. CAC/RCP 46 – 1999.
12. Figueroa C. J. de D., Martínez B. F., González H. J., Sánchez S. F., Martínez M. J. de la L., Ruiz T. M. 1994. Modernización tecnológica del proceso de nixtamalización. Avance y Perspectiva, (13) México.
13. Gasca M. J. C., Casas A. N. B. 2007. Adición de harina de maíz nixtamalizado a masa fresca de maíz nixtamalizado. Efecto en las propiedades texturales de masa y tortillas. Revista Mexicana de Ingeniería Química, (6), 3, 317-328.
14. Hosney R. C. 1991. Principios de ciencia y tecnología de los cereales. Acribia. España.
15. Hughes C. 1994. Guía de aditivos. Acribia. España.
16. Instituto Tecnológico de Embalaje, Transporte y Logística (ITENE). 2007. RFID en la cadena de frío: soluciones frente a una necesidad permanente. Primer Congreso de Logística y Gestión en la Cadena de Suministro. España.
17. Iturbe C. F. A., Lucio A. R. M., López M. A. 1996. Shelf – life of tortilla extended with fungal amylases. International Journal of Food Science and Technology, (31), 505-509.
18. Ley Federal de Metrología y Normalización. Norma Mexicana NMX-EE-207-1986. Envase. Película de Polietileno para envasar pan de caja y bollería.
19. Ley Federal de Metrología y Normalización. Diario Oficial de la Federación. Norma Oficial Mexicana NOM-187-SSA1/SCFI-2002. Productos y servicios. Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración y establecimientos donde se procesan. Especificaciones sanitarias. Información comercial. Métodos de prueba.
20. Lloyd R. 1999. Excelencia en calidad para tortillas de maíz. Efecto de la adición de proteínas de soya en la calidad de las tortillas. Cereal Quality Laboratory Soil and Crop Sciences Department. Reporte de Investigación.
21. Madrid V. A., Gómez-Pastrana R. J. M., Santiago R. F., Madrid V. J. M., Madrid C. J. 2003. Refrigeración, congelación y envasado de los alimentos. Mundi-Prensa. España.

-
22. MAG. 2008. Requisitos para el almacenamiento de frutas y hortalizas frescas. <http://www.sica.gov.ec/agronegocios/> (Acceso: Diciembre de 2008)
 23. Martínez F. H. E., Gaytán M. M., Figueroa C. J. de D., Martínez B. F., Reyes V. M. de la L., Rodríguez V. A. 2004. Efecto de algunos conservadores sobre la vida útil de tortillas de maíz obtenidas a partir de masa extrudida. *Agociencia*, (38), 285-292.
 24. Miranda L. M. 1995. El estudio cinético del endurecimiento de la tortilla de maíz comercial. Tesis Universidad de Hermosillo Sonora.
 25. Multon J. L. 1997. Aditivos y auxiliares de fabricación en las industrias agroalimentarias. Acribia. 2ª Edición. España.
 26. Pelayo M. 2008. La cadena de frío, elemento clave en seguridad alimentaria. Consumer Eroski. Universidad de Chile. Chile.
 27. Rendón V. R., Agama A. E., Islas H. J. J., Sánchez M. J., Bello P. L. A. 2006. In Vitro starch bioavailability of corn tortillas with hydrocolloids. *Food Chemistry*, (97), 631-636.
 28. Rojas M. A. 2001. Evaluación del efecto de la congelación por aire en las propiedades texturales de masa y tortilla elaboradas con harina de maíz nixtamalizado (Maseca). Tesis de Ingeniería en Alimentos, FES – Cuautitlán, UNAM.
 29. Salinas M. Y., Herrera C. J. A., Castillo M. J., Pérez H. P., 2003. Cambios fisicoquímicos del almidón durante la nixtamalización del maíz en variedades con diferente dureza de grano. *CEVAMEX*, (53), (2). Departamento de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Autónoma de Chapingo. México.
 30. Sandoval A. A., Rodríguez S. E., Fernández Q. A. 2005. Aplicación del análisis por calorimetría diferencial de barrido (DSC) para la caracterización de las modificaciones del almidón. *Dyna*, Julio, (72), (146). Universidad Nacional de Colombia. Colombia.
 31. Solano O. R. R. 2001. Propiedades texturales de la masa y la tortilla elaboradas con harina de maíz nixtamalizado, efecto de la humedad de la masa. Tesis de Ingeniería en Alimentos, FES – Cuautitlán, UNAM.

-
32. Suhendro E. L., Almeida-Dominguez H. D., Rooney L. W., Waniska R. D. 1995. Evaluation of functionality of hydrocolloids, bran, and enzymes for improvement of corn tortilla texture, Annual Meeting of the American Association of Cereal Chemists.
 33. Suhendro E. L., Almeida-Dominguez H. D., Rooney L. W., Waniska R. D. 1998. Objective rollability for corn tortilla texture measurement. *Cereal Chemistry*, (75), 1-3. (a)
 34. Suhendro E. L., Almeida-Dominguez H. D., Rooney L. W., Waniska R. D. 1998. Tortilla bending technique: an objective method for corn tortilla texture measurement. *Cereal Chemistry*, (75), 5-6. (b)
 35. Suhendro E. L., Almeida-Dominguez H. D., Rooney L. W., Waniska R. D., Moreira R. G. 1999. Use of extensibility to measure corn tortilla texture. *Cereal Chemistry*, (76), 3-4.
 36. TIA. Tortilla Industry Association. 2008. Tortilla Talk.
http://www.tortilla-info.com/consumers/tortilla_talk/tortilla_talk.htm#history
(Acceso: Diciembre del 2008).
 37. Torres F., M. E., Chong I., Quintanilla J. 1996. La industria de la masa y la tortilla. Desarrollo y tecnología. UNAM. México.
 38. Twillman T. J., White P. J. 1988. Influence of monoglycerides on the textural shelf life and dough rheology of corn tortillas. American Association of Cereal Chemists, Inc., (65), (3), 253-256.

Anexos

ANEXO 1. Prueba de rolabilidad

Tipo de masa	Día	Promedio	
		Trabajo total de rolabilidad (Ns)	Fuerza máxima de rolabilidad (N)
MFCCCM	0	0.34	0.05
	7	2.59	0.24
	14	0.60	0.07
	21	0.86	0.09
	28	0.22	0.04
MFCCSM	0	1.64	0.13
	7	2.55	0.24
	14	0.67	0.07
	21	0.61	0.08
	28	0.29	0.04
MFSCCM	0	0.86	0.10
	7	1.49	0.14
	14	0.22	0.04
	21	0.13	0.03
	28	0.25	0.04
MFSCSM	0	0.46	0.07
	7	1.90	0.16
	14	0.38	0.05
	21	0.24	0.05
	28	0.11	0.04
MHCCCM	0	0.11	0.02
	7	0.32	0.04
	14	0.25	0.04
	21	0.22	0.03
	28	0.30	0.05

Tipo de masa	Día	Promedio	
		Trabajo total de rolabilidad (Ns)	Fuerza máxima de rolabilidad (N)
MHCCSM	0	0.14	0.03
	7	0.39	0.06
	14	0.20	0.03
	21	0.14	0.03
	28	0.03	0.01
MHSCCM	0	0.07	0.02
	7	0.45	0.07
	14	0.23	0.04
MHSCSM	0	0.22	0.04
	7	0.43	0.06
	14	0.42	0.05
MXCCCM	0	0.11	0.02
	7	0.73	0.10
	14	0.28	0.04
	21	0.26	0.04
	28	0.04	0.01
MXCCSM	0	0.11	0.02
	7	0.19	0.04
	14	0.17	0.03
	21	0.45	0.06
	28	0.05	0.02
MXSCCM	0	0.16	0.03
	7	0.59	0.07
	14	0.36	0.05
MXSCSM	0	0.10	0.02
	7	1.54	0.13
	14	0.87	0.10

ANEXO 2. Prueba de extensibilidad

Tipo de masa	Día	Promedio			
		Fuerza de ruptura (N)	Distancia de ruptura (mm)	Trabajo de ruptura (Ns)	Resistencia final (N/s)
MFCCCM	0	5.70	14.69	15.84	1.30
	7	14.30	19.62	48.38	2.43
	14	11.10	13.58	26.64	2.95
	21	12.66	15.88	34.00	3.01
	28	10.55	16.06	27.85	2.47
MFCCSM	0	6.43	14.95	17.14	1.57
	7	11.53	17.11	34.96	2.17
	14	13.54	14.57	30.83	3.68
	21	14.48	15.26	37.14	3.50
	28	13.63	16.42	36.47	2.87
MFSCCM	0	11.31	19.68	38.43	2.07
	7	16.71	16.20	44.66	4.08
	14	18.99	17.33	56.39	3.76
	21	18.13	18.55	54.92	3.35
	28	20.24	17.25	58.12	4.07
MFSCSM	0	6.31	15.58	18.60	1.22
	7	10.71	14.05	22.56	3.23
	14	17.39	18.03	55.09	3.22
	21	16.36	16.54	46.29	3.46
	28	19.89	17.41	55.56	4.00
MHCCCM	0	2.18	8.31	2.71	0.90
	7	4.93	13.22	9.80	1.42
	14	5.27	14.28	11.28	1.48
	21	4.65	11.42	10.17	1.25
	28	5.75	9.00	11.95	1.64

Tipo de masa	Día	Promedio			
		Fuerza de ruptura (N)	Distancia de ruptura (mm)	Trabajo de ruptura (Ns)	Resistencia final (N/s)
MHCCSM	0	2.77	10.50	5.70	0.84
	7	6.20	13.43	14.58	1.55
	14	6.10	12.60	14.54	1.47
	21	6.13	12.25	14.45	1.33
	28	7.86	12.99	18.82	1.71
MHSCCM	0	3.25	10.56	6.22	0.99
	7	6.77	14.21	16.78	1.66
	14	5.89	12.48	11.63	1.85
MHSCSM	0	2.79	9.98	5.27	0.88
	7	6.17	13.13	12.88	1.83
	14	6.79	14.25	13.56	2.13
MXCCCM	0	4.52	12.80	10.97	1.16
	7	8.66	17.14	22.80	2.20
	14	9.10	13.95	21.87	2.20
	21	7.93	15.76	22.15	1.83
	28	7.40	13.34	17.26	1.81
MXCCSM	0	4.83	14.16	11.01	1.30
	7	9.26	17.17	23.41	2.33
	14	10.20	14.06	22.91	2.70
	21	10.94	15.75	28.81	2.49
	28	10.61	15.93	29.84	2.13
MXSCCM	0	5.13	12.93	11.86	1.38
	7	16.80	17.72	55.01	3.18
	14	18.44	17.86	60.97	3.36
MXSCSM	0	6.67	14.46	17.78	1.55
	7	15.81	16.11	45.52	3.36
	14	13.94	16.23	38.22	3.17

ANEXO 3. Prueba de tensión

Tipo de masa	Día	Promedio		
		Fuerza de ruptura (N)	Distancia de ruptura (mm)	Trabajo de ruptura (Ns)
MFCCCM	0	1.58	4.84	3.43
	7	8.66	4.71	33.25
	14	2.74	6.21	7.72
	21	2.60	7.94	12.25
	28	1.05	4.28	0.49
MFCCSM	0	1.73	3.57	2.48
	7	7.99	3.95	42.21
	14	2.13	5.62	4.54
	21	2.06	6.25	5.43
	28	1.88	3.61	1.70
MFSCCM	0	1.81	5.31	6.03
	7	2.01	4.95	3.27
	14	2.95	6.62	8.30
	21	2.50	6.57	6.80
	28	3.04	7.81	13.74
MFSCSM	0	2.54	4.94	7.19
	7	2.02	4.96	3.27
	14	3.18	7.85	17.10
	21	3.76	8.67	16.39
	28	3.99	7.42	18.17
MHCCCM	0	0.49	4.58	0.51
	7	1.25	4.65	1.92
	14	0.76	4.79	0.78
	21	0.84	4.04	0.47
	28	1.03	4.90	1.60

Tipo de masa	Día	Promedio		
		Fuerza de ruptura (N)	Distancia de ruptura (mm)	Trabajo de ruptura (Ns)
MHCCSM	0	0.92	5.08	2.27
	7	0.65	4.73	0.54
	14	1.14	5.79	2.29
	21	1.05	5.54	1.86
	28	1.34	6.19	3.44
MHSCCM	0	1.12	5.08	2.81
	7	2.40	3.54	3.47
	14	0.87	5.05	1.50
MHSCSM	0	1.30	4.24	3.33
	7	0.49	3.00	0.11
	14	0.50	4.34	0.23
MXCCCM	0	0.95	7.39	3.23
	7	2.10	4.25	2.16
	14	1.67	7.30	5.88
	21	1.55	6.39	4.27
	28	1.91	6.97	6.37
MXCCSM	0	0.94	5.68	1.99
	7	3.10	3.56	2.96
	14	1.73	6.53	5.66
	21	1.39	4.89	1.69
	28	2.41	8.63	10.54
MXSCCM	0	1.01	6.76	2.94
	7	6.26	5.38	21.69
	14	2.34	6.59	6.45
MXSCSM	0	1.22	7.38	4.19
	7	5.16	4.37	11.66
	14	3.44	7.00	13.32

ANEXO 4. ANOVA

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) porque es una prueba que permitió medir la variación de las respuestas numéricas como valores de evaluación de diferentes variables nominales (tipo de masa, adición de conservadores, adición de mejorador de textura y tiempo de almacenamiento en refrigeración – en días), es decir, se realizó para saber si existía diferencia en los promedios (que influyera positiva o negativamente) para los diferentes valores de las variables nominales.

De esta manera, mediante el uso del programa MINITAB 14, se realizó el ANOVA para cada prueba (rolabilidad, extensibilidad y tensión), considerando cada variable de respuesta (trabajo total de rolabilidad, fuerza máxima de rolabilidad, fuerza de ruptura, distancia de ruptura, trabajo de ruptura y resistencia final a la ruptura), de acuerdo a los siguientes pasos:

1. Se realizó un diseño factorial para introducir ordenadamente los datos de acuerdo a la variable nominal que les correspondía (tipo de masa, adición de conservadores, adición de mejorador de textura, tiempo de almacenamiento). Así se tuvieron:
 - a. Tres valores nominales que tomó la variable Tipo de masa: masa fresca (MF), masa de harina (MH), mezcla (MX).
 - b. Dos valores nominales que tomó la variable Mejorador de textura: Con, Sin.
 - c. Dos valores nominales que tomó la variable Conservadores: Con, Sin.
 - d. Cinco valores nominales que tomó la variable Tiempo de almacenamiento en refrigeración: 0, 7, 14, 21, 28 días.

NOTA. Se introdujeron los datos obtenidos de las tres réplicas de la experimentación, quedando un total de ciento ochenta datos para cada variable de respuesta.

2. Una vez introducidos los datos, se procedió a ejecutar el análisis de varianza, del cual se obtuvieron: el número de valores nominales ($c = 12$), el número total de datos ($n = 2160$), el promedio total de cada valor nominal (\bar{y}_j), la corrección de la media (CM), la suma del cuadrado de los tratamientos (SCC), la suma de los cuadrados del error (SCE = 0.2168), grados de libertad ($gl = 5\%$), el cuadrado medio de los tratamientos

(CMC), el cuadrado medio del error (CME), el valor P, para la comparación con los grados de libertad (5%), y el valor para la prueba F (F) de cada uno de los valores nominales.

- Posteriormente, se hace la prueba de Tukey considerando un 95% como intervalo de confianza y empleando una comparación emparejada, y se emplea el valor F obtenido del ANOVA.

Por ejemplo, para el caso de rolabilidad, se elaboró una tabla de acuerdo al diseño factorial obtenida del programa MINITAB 14:

No.	Tipo de masa	Conservador	Mejorador	Tiempo (días)	Trabajo total de rolabilidad (Ns)	Fuerza máxima de rolabilidad (N)
1	MFMN	Con, Sin	Con, Sin	0, 7, 14, 21, 28	x	y
□	MHMN	Con, Sin	Con, Sin	0, 7, 14, 21, 28	x	y
180	MX	Con, Sin	Con, Sin	0, 7, 14, 21, 28	x	y

Posteriormente, tras ejecutar el análisis de varianza, para el caso del trabajo total de rolabilidad, se obtuvo:

Valor nominal	gl	SCC	CMC	F	P
Tipo de masa	2	10.0020	6.5648	30.28	0.000
Conservador	1	0.0511	0.8405	3.88	0.051
Mejorador	1	0.2869	0.2869	1.32	0.252
Tiempo	4	13.3685	3.3421	15.41	0.000
Error	147	31.8734	0.2168		
Total	155	55.5819			

Valor nominal	Media o promedio (\bar{y}_j)	CME
Tipo de masa		
- MFMN	0.81967	0.06011
- MHMN	0.15121	0.06957
- MX	0.28267	0.06957
Conservador		
- 0.36 y 0.30%	0.49533	0.04908
- 0	0.34037	0.06153
Mejorador		
- 0.36 y 0.30%	0.37496	0.05421
- 0	0.46073	0.05421
Tiempo		
- Día 0	0.53167	0.07761
- Día 7	0.92444	0.07761
- Día 14	0.38778	0.07761
- Día 21	0.22414	0.09839
- Día 28	0.02122	0.09839

Posteriormente, mediante el uso de signos negativos y/o positivos se hace una comparación para efectuar la prueba de Tukey y se observa si existe o no diferencia significativa. Por ejemplo, para el caso del tipo de masa en el trabajo de rolabilidad:

Tipo de masa	Menor	Centro	Mayor
MHMN	-0.8863	-0.6685	-0.4507
MX	-0.7548	-0.5370	-0.3192

En donde son diferentes significativamente si y solo si los signos son iguales.

NOTA. Este análisis se efectuó para cada valor nominal de cada prueba.