



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN**

**EFFECTO DEL MANEJO FRIGORÍFICO EN LAS  
PROPIEDADES TEXTURALES DE MASAS CONGELADAS  
DE MAÍZ NIXTAMALIZADO.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERA EN ALIMENTOS  
P R E S E N T A:  
YAQUELIN NÚÑEZ ANAYA**

**ASESOR:**

**IBQ. NORMA BEATRIZ CASAS ALENCASER**



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.



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

ESTADOS UNIDOS MEXICANOS  
 SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA  
 1977

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN



DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO  
 DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
 PRESENTE

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:

Estudio del manejo higiénico de las comunidades  
texturales de masas congeladas de maíz nixtamalizado.

que presenta la pasante: Raquelín Núñez Anaya  
 con número de cuenta: 40509708-9 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 20 de Abril, de 2011.

PRESIDENTE Dr. Fernando Beristain Beristain

VOCAL Dr. Rubén Isidro Casas Mancera Isidro Casas Mancera

SECRETARIO Dr. Francisco Javier Moreno López Moreno López

PRIMER SUPLENTE Dr. Luis Eugenio Cortés Ortiz Cortés Ortiz

SEGUNDO SUPLENTE Dr. Wilber González Sánchez González Sánchez

## *AGRADECIMIENTOS*

A Dios, por darme la oportunidad de lograr uno de mis grandes anhelos y por todas las bendiciones que me has dado.

### *A mis padres*

Guillermo Núñez Rivas y Paulina Anaya Miranda por todo el apoyo, esfuerzo, comprensión, cariño y amor que me han brindado en el transcurso de mi vida. Los amo, gracias.

### *A mis hermanos*

Dulce Ibet, Saúl Guillermo y Omar, porque siempre han estado involucrados en mis proyectos y por su apoyo incondicional.

### *A mis asesores*

IBQ. Norma Beatriz Casas A. y al I.A Alfredo Álvarez C., por su dedicación, apoyo, orientación, tiempo e interés en el presente trabajo. Gracias.

### *A mis sinodales*

Por el tiempo dedicado a la revisión del trabajo y las observaciones realizadas.

### *A mis profesores*

Por sus consejos, esfuerzos y principalmente por la enseñanza que me impartieron.

A mi Alma Mater la Universidad Nacional Autónoma de México que me abrió sus puertas y me dio la mejor formación “Por mi raza hablará el espíritu”

## ÍNDICE

|  |    |
|--|----|
| Resumen  |    |
| Introducción   |    |
| CAPITULO 1. ANTECEDENTES.  |    |
| 1.1 Características de la materia prima  | 1  |
| 1.1.1 El maíz  | 1  |
| 1.1.2 Estructura del grano   | 1  |
| 1.1.3 Composición química del maíz   | 2  |
| 1.1.4 Proceso tradicional de nixtamalización   | 3  |
| 1.1.5 Fenómenos que modifican el granulo de almidón  | 6  |
| a) Gelatinización  | 6  |
| b) Retrogradación del almidón  | 6  |
| 1.2 Harina de maíz nixtamalizada (HMN)   | 7  |
| 1.2.1 Definición   | 7  |
| 1.2.2 Importancia económica y tecnológica de la harina de maíz nixtamalizado                       | 7  |
| 1.3 Proceso de elaboración de la harina de maíz nixtamalizado                                      | 8  |
| 1.4 Diferencias entre masa fresca y masa preparada con masa de harina de maíz nixtamalizado (MNMN) | 9  |
| 1.5 Tortilla   | 9  |
| 1.5.1 Definición   | 9  |
| 1.5.2 Importancia de la tortilla en México   | 10 |
| 1.6 Aditivos utilizados en tortillas   | 11 |
| 1.6.1 Conservadores  | 11 |
| a) Antimicrobianos   | 11 |
| b) Control de la actividad de agua   | 12 |
| 1.6.2 Mejoradores de textura   | 12 |
| a) Emulsificantes  | 12 |
| b) Hidrocoloides   | 13 |
| i) Gomas   | 13 |
| ii) Proteínas  | 14 |
| c) Enzimas   | 14 |

|   |    |
|---|----|
| 1.6.3 Totillaid-100M, mejorador para elaborar tortillas de maíz         | 14 |
| 1.7 Textura de masa y tortilla tortillas                                | 15 |
| 1.7.1 Importancia de la textura en masa y tortilla                      | 15 |
| 1.7.2 Métodos subjetivos de medición de textura en masa y tortilla      | 16 |
| 1.7.3 Métodos objetivos de medición de textura en masa y tortilla       | 17 |
| a) Análisis de perfil de textura  | 17 |
| b) Adhesividad  | 17 |
| c) Rollabilidad   | 17 |
| d) Extensibilidad   | 18 |
| e) Tensión  | 18 |
| 1.8 Congelación   | 18 |
| 1.8.1 La cadena del frío  | 18 |
| 1.8.2 Proceso de congelación  | 19 |
| 1.8.3 Curvas de congelación   | 19 |
| 1.8.4 Velocidad de congelación  | 21 |
| 1.8.5 Tipos de recristalización   | 22 |
| a) Recristalización isomásica   | 24 |
| b) Recristalización por presión   | 24 |
| c) Recristalización migratoria  | 24 |
| d) Recristalización por contacto  | 25 |
| 1.8.6 Efecto de la recristalización sobre la retrogradación del almidón | 25 |
| <b>CAPITULO 2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL</b>                             |    |
| 2.1 Cuadro metodológico   | 27 |
| 2.2 Objetivo general  | 28 |
| 2.3 Objetivos particulares  | 28 |
| 2.3.1 Objetivo 1  | 28 |
| 2.3.2 Objetivo 2  | 28 |
| 2.4 Hipótesis   | 28 |
| 2.5 Materia prima   | 29 |
| 2.5.1 Masa para la elaboración de tortillas                             | 29 |
| 2.6 Descripción de actividades experimentales                           | 29 |

|   |    |
|---|----|
| 2.6.1 Determinación de la humedad adecuada para las masas                     | 29 |
| 2.6.2 Preparación de la masa  | 30 |
| 2.6.3 Validación de termopares  | 30 |
| 2.6.4 Caracterización del congelador  | 31 |
| 2.6.5 Congelación de la masa  | 31 |
| 2.6.6 Recristalización  | 31 |
| 2.6.7 Descongelación de la masa congelada                                     | 32 |
| 2.6.8 Determinación de temperatura para la cocción de la tortilla en el comal | 32 |
| 2.6.9 Preparación de tortillas  | 32 |
| 2.6.10 Evaluación de las propiedades de textura en masa                       | 33 |
| a) Análisis de perfil de textura  | 33 |
| b) Adhesividad  | 35 |
| 2.6.11 Evaluación de propiedades texturales en tortilla                       | 37 |
| a) Rollabilidad   | 37 |
| b) Extensibilidad   | 38 |
| c) Tensión  | 39 |
| 2.7.12 Análisis estadístico   | 40 |
| <b>CAPITULO 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>                         |    |
| 3.1 Congelación de la masa  | 41 |
| 3.2 Congelación de la masa con ciclo de recristalización                      | 42 |
| 3.3 Evaluación de propiedades texturales en masa y tortilla                   | 43 |
| 3.3.1 Propiedades texturales en masa  | 43 |
| a) Análisis de perfil de textura (TPA)  | 43 |
| b) Adhesividad  | 48 |
| 3.3.2 Propiedades texturales en tortillas                                     | 51 |
| a) Rollabilidad   | 51 |
| b) Extensibilidad   | 54 |
| c) Tensión  | 57 |
| Conclusiones  | 62 |
| Bibliografía  | 64 |
| Apéndice  |    |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Partes anatómicas del maíz  | 1  |
| Figura 2. Proceso tradicional de nixtamalización  | 4  |
| Figura 3. Zonas en la curva de congelación  | 20 |
| Figura 4. Curvas de congelación   | 21 |
| Figura 5. Curva modelo del perfil de textura  | 34 |
| Figura 6. Curva modelo de la prueba de adhesividad  | 37 |
| Figura 7. Curva modelo de la prueba de rollabilidad   | 38 |
| Figura 8. Curva modelo de la prueba de extensibilidad   | 39 |
| Figura 9. Curva modelo de la prueba de tensión  | 40 |
| Figura 10. Curvas de congelación de la superficie y centro geométrico<br>de los tres tipos de masa                | 41 |
| Figura 11. Curvas de congelación con ciclo de recristalización del centro geométrico<br>de los tres tipos de masa | 42 |
| Figura 12. Efecto del mejorador en las masas sin congelar (TPA)   | 44 |
| Figura 13. Efecto del proceso y el mejorador en la MFMN   | 44 |
| Figura 14. Efecto del proceso y el mejorador en la MHMN   | 45 |
| Figura 15. Efecto del proceso y el mejorador en la MMMN   | 45 |
| Figura 16. Efecto del mejorador en las masas sin congelar (adhesividad)   | 48 |
| Figura 17. Efecto del proceso y el mejorador en la MFMN   | 48 |
| Figura 18. Efecto del proceso y el mejorador en la MHMN   | 49 |
| Figura 19. Efecto del proceso y el mejorador en la MMMN   | 49 |
| Figura 20. Efecto del mejorador en las masas sin congelar (rollabilidad)  | 51 |
| Figura 21. Efecto del proceso y el mejorador en la MFMN   | 51 |
| Figura 22. Efecto del proceso y el mejorador en la MHMN   | 52 |
| Figura 23. Efecto del proceso y el mejorador en la MMMN   | 52 |
| Figura 24. Efecto del mejorador en las masas sin congelar (extensibilidad)  | 54 |
| Figura 25. Efecto del proceso y el mejorador en la MFMN   | 54 |
| Figura 26. Efecto del proceso y el mejorador en la MHMN   | 55 |
| Figura 27. Efecto del proceso y el mejorador en la MMMN   | 55 |



|   |    |
|---|----|
| Figura 28. Efecto del mejorador en las masas sin congelar (tensión) | 58 |
| Figura 29. Efecto del proceso y el mejorador en la MFMN             | 58 |
| Figura 30. Efecto del proceso y el mejorador en la MHMN             | 59 |
| Figura 31. Efecto del proceso y el mejorador en la MMMN             | 59 |

## ÍNDICE DE TABLAS.

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Especificaciones del mejorador Tortillaid-100M®   | 15 |
| Tabla 2. Tiempos y velocidades de congelación de masa a -18°   | 42 |
| Tabla 3. Propiedades texturales de masa bajo la prueba de perfil de textura.<br>Promedios calculados por tipo de masa, aditivo y proceso   | 46 |
| Tabla 4. Propiedades texturales de masa bajo la prueba de adhesividad.<br>Promedios calculados por tipo de masa, aditivo y proceso         | 50 |
| Tabla 5. Propiedades texturales de tortillas bajo la prueba de rollabilidad.<br>Promedios calculados por tipo de masa, aditivo y proceso   | 53 |
| Tabla 6. Propiedades texturales de tortillas bajo la prueba de extensibilidad.<br>Promedios calculados por tipo de masa, aditivo y proceso | 57 |
| Tabla 7. Propiedades texturales de tortillas bajo la prueba de tensión.<br>Promedios calculados por tipo de masa, aditivo y proceso        | 60 |

## NOMENCLATURA

Ad: Adhesividad [N.s]

C: Cohesividad.

D: Dureza [N].

De: Distancia de extensibilidad [mm].

Dr: Distancia de ruptura [mm].

E: Estiramiento [mm].

Fa: Fuerza adhesiva [N].

Fe: Fuerza de extensibilidad [N]

Fr: Fuerza de ruptura [N].

G: Gomosidad [N].

HMN: Harina de maíz nixtamalizado.

IREI: Índice de recuperación elástica instantánea.

IRET: Índice de recuperación elástica total.

MFMNSM: Masa fresca de maíz nixtamalizado sin mejorador.

MFMNCM: Masa fresca de maíz nixtamalizado con mejorador.

MFMNCSM: Masa fresca de maíz nixtamalizado congelada sin mejorador.

MFMNCCM: Masa fresca de maíz nixtamalizado congelada con mejorador.

MFMNCRSM: Masa fresca de maíz nixtamalizado congelada con ciclo de recristalización sin mejorador.

MFMNCRCM: Masa fresca de maíz nixtamalizado congelada con ciclo de recristalización con mejorador.

MHMNSM: Masa de harina de maíz nixtamalizado sin mejorador.

MHMNCM: Masa de harina de maíz nixtamalizado con mejorador.

MHMNCSM: Masa de harina de maíz nixtamalizado congelada sin mejorador.

MHMNCCM: Masa de harina de maíz nixtamalizado congelada con mejorador.

MHMNCRSM: Masa de harina de maíz nixtamalizado congelada con ciclo de recristalización sin mejorador.

MHMNCRCM: Masa de harina de maíz nixtamalizado congelada con ciclo de recristalización con mejorador.

MMMNSM: Mezcla de masa de maíz nixtamalizado sin mejorador.

MMNNCM: Mezcla de masa de maíz nixtamalizado con mejorador.

MMNCSM: Mezcla de Masa de maíz nixtamalizado congelada sin mejorador.

MMNCCM: Mezcla de masa de maíz nixtamalizado congelada con mejorador.

MMNCRSM: Mezcla de masa de maíz nixtamalizado congelada con ciclo de recristalización sin mejorador.

MMNCRCM: Mezcla de masa de maíz nixtamalizado congelada con ciclo de recristalización con mejorador.

t: Tiempo [s].

T: Temperatura [ $^{\circ}$ C].

Ta: Trabajo adhesivo [N.s].

Tc: Trabajo cohesivo [N.s].

Te: Trabajo de extensión [N.s].

Tr: Trabajo de ruptura [N.s].

Tt: Trabajo total [N.s].

## RESUMEN

El propósito del presente trabajo fue evaluar el efecto del ciclo de recristalización y la adición del mejorador Tortillaid 100M<sup>®</sup> durante el manejo frigorífico de tres tipos de masas congeladas de maíz nixtamalizado sobre sus propiedades texturales y su repercusión en la calidad final de las tortillas. Las variables que se manejaron fueron el proceso frigorífico, donde los niveles de variación son en fresco, congelación a -18 °C y ciclo de recristalización (de -18 °C a -15 °C, de -15 °C a -18 °C y de -18 °C a -10 °C), tipos de masas de maíz nixtamalizado con y sin mejorador (masa de maíz nixtamalizado, masa de harina de maíz nixtamalizado y la mezcla de estas con un 30% de HMN). Teniendo tiempos de congelación, curvas fuerza-tiempo, curvas fuerza-distancia. Las pruebas efectuadas fueron análisis de perfil de textura y adhesividad en masa; rollabilidad, extensibilidad y tensión en tortillas. Todas las pruebas se efectuaron utilizando un texturómetro Texture Analyser TA XT2 con celda de carga de 25 kg a una temperatura de  $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ . Todas las pruebas se realizaron por triplicado y se les calculó el promedio, desviación estándar y coeficiente de variación. A estos datos se les aplica un análisis de varianza (ANOVA) de tres vías con un modelo general lineal, empleando el programa MINITAB<sup>(R)</sup> 14 Release, cuando hay diferencia significativas con un nivel de  $\alpha = 0.05$  se aplica la prueba de Tukey. Los cambios en las propiedades texturales de las masas por efecto del ciclo de recristalización durante el manejo frigorífico sí influye de manera significativa ya que presentan valores menores de adhesividad, cohesividad, resiliencia, índice elástico total y las masas son más duras y gomosas con respecto a las masas frescas. El uso del mejorador no presentó efecto significativo en las propiedades texturales de las masas. Las tortillas elaboradas con masas congeladas con ciclo de recristalización fueron menos rollables, más duras, menos flexibles y más frágiles. El uso del mejorador solo tuvo influencia en la prueba de extensibilidad teniendo valores mayores en los parámetros y en el aumento de la distancia de ruptura de la prueba de tensión provocando que las tortillas fueran más flexibles. La recristalización tuvo un efecto importante en la textura de la masa lo que repercutió en la textura de las tortillas.

## INTRODUCCIÓN

Las tortillas son un producto primordial en la canasta básica de la alimentación mexicana; este alimento es elaborado principalmente de masa de maíz a través del proceso de nixtamalización (Rojas, 2001; Torres, 1996). Para la elaboración de tortilla se utilizan diferentes tipos de masa como masa fresca de maíz nixtamalizado, masa de harina de maíz nixtamalizado y la mezcla de éstas. Uno de los principales problemas de la corta duración de la masa es el deterioro microbiano y una resequedad aparente durante el almacenamiento prolongado (Bootsrapa, 1999; Solano, 2001). Una técnica que se está imponiendo en la conservación y distribución en el mercado de productos es la congelación de masas congeladas de panificación. Existen muy pocas empresas que se dediquen a la fabricación y distribución de masas congeladas de este tipo en México. Se trata de un mercado nuevo en el país que apenas está comenzando a desarrollarse donde este producto está dirigido básicamente a tiendas de autoservicio (Bootsrapa, 1999; Felicidad, 2008). De ahí la importancia de incursionar en el campo de la congelación de masas de maíz nixtamalizado.

En la industria de alimentos las masas para panificación, se congelan a una temperatura entre  $-30/-40$  °C y se mantienen en estado de congelación a  $-18$  °C. El transporte hasta el punto de venta se realiza en un transporte frigorífico, más tarde se descongela y se cuece el producto (Mota, 1998). En el mercado no hay oferta de masas congeladas de maíz nixtamalizado, solamente tortillas refrigeradas. Sería importante introducir en el mercado este producto, ya que facilita la preparación de productos derivados de masa de maíz nixtamalizado (atole, tlacoyos, sopes, gorditas, tortillas).

El mantenimiento de la temperatura a lo largo de la cadena de frío es básico para conseguir que las especialidades conserven sus cualidades sensoriales, texturales y no sufran alteraciones en su composición ni en su calidad. Es una fase en la que, sin embargo, se cometen anomalías que acaban afectando al producto (Desrosier, 1999; Fennema, 1973). Durante este proceso se producen modificaciones en la estructura y características de los productos que dependen básicamente de las oscilaciones de temperatura, sin olvidar también el tipo de embalaje. Estas modificaciones obedecen al proceso de recristalización, el cual provoca la formación de

grandes cristales de hielo a expensas de los pequeños. La formación de éstos influye negativamente sobre la calidad del producto, provocando deformaciones celulares, estallido de células, reducción de la vida en anaquel, mermas por goteo en el descongelamiento, tal y como sucede cuando utilizamos una congelación lenta. Las modificaciones de la estructura de los cristales de hielo durante el almacenamiento y el transporte de alimentos congelados reducen las ventajas obtenidas por una rápida congelación de los productos. Es necesario evitar las oscilaciones de temperatura durante el almacenamiento de productos congelados, pues al existir continuos aumentos en la diferencia de tensión de vapor entre los cristales de distintos tamaños, se produce una marcada aceleración en los procesos de recristalización (Desrosier, 1999; Fennema, 1973; Martino; 1987).

Otros problemas que afectan la distribución comercial de masa y tortilla de maíz es la limitada vida de anaquel y el rápido endurecimiento por lo que se ha recurrido al empleo de diferentes aditivos que contribuyen a controlar el crecimiento microbiano, la pérdida de suavidad, flexibilidad y el endurecimiento en la tortilla.

De tal forma el propósito de este trabajo es evaluar el efecto del manejo frigorífico en las propiedades texturales de masas congeladas de maíz nixtamalizado y evaluar la influencia de un mejorador hecho a base de hidrocoloides y emulsificantes para disminuir el efecto de la recristalización sobre la textura de la masa y tortilla.

## CAPITULO 1. ANTECEDENTES.

### 1. 1 Características de la materia prima.

#### 1.1.1 El maíz

El maíz ha sido alimento, moneda y religión para el pueblo de México. En el México moderno, el maíz representa la componente más importante de la producción agrícola, pues ocupa aproximadamente la mitad de la superficie destinada a la agricultura. El maíz para consumo humano se procesa en México siguiendo una técnica pre-colombina conocida con el nombre de nixtamalización (del náhuatl nextli, cal de cenizas, y tamalli, masa cocida de maíz) (Figuroa y col., 1994).

#### 1.1.2 Estructura del grano

El grano de maíz se clasifica botánicamente como una cariósida, seco, indehiscente con semillas individuales en el fruto. El grano de maíz se adhiere a la mazorca a través del pedicelo. Una vez que el grano ha madurado el pedicelo sirve de sellador. Las partes anatómicas del grano (Figura 1) son: germen, endospermo, aleurora, punta y pericarpio (Kent, 1987).

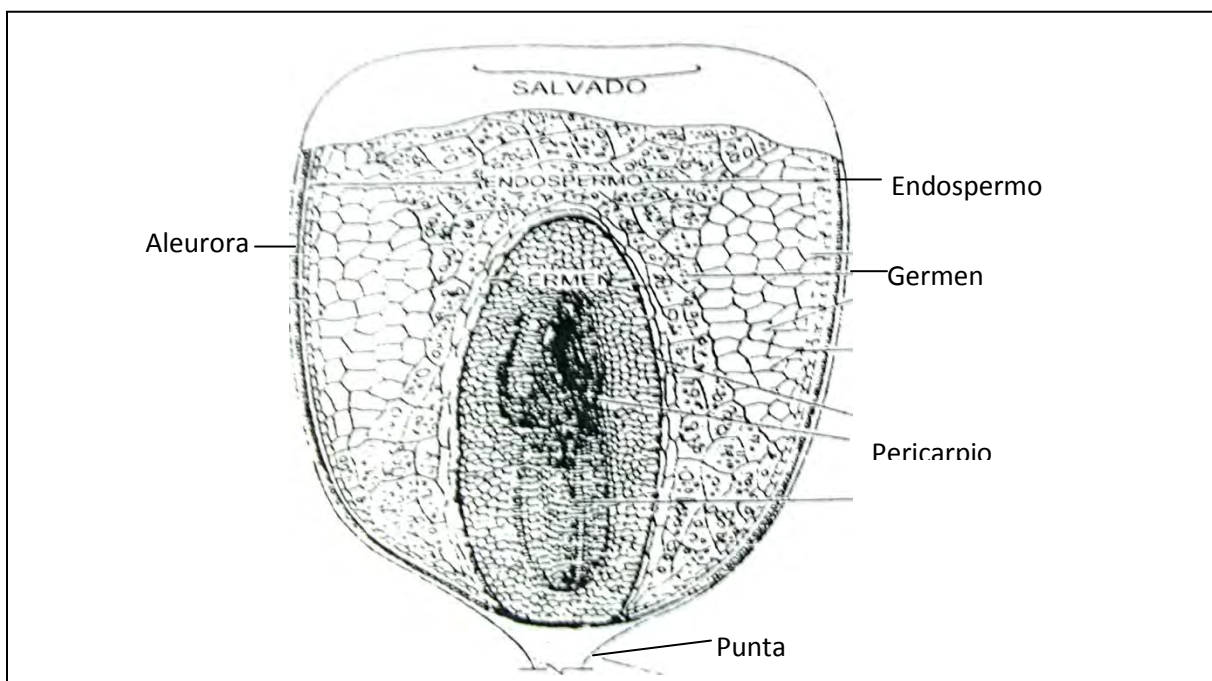


Figura 1. Partes anatómicas del maíz (Kent, 1987).

### 1.1.3 Composición química del maíz.

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

El almidón es el mayor componente del maíz, del cual el 98% se encuentra en el endospermo, aunque cantidades importantes se han encontrado en el embrión, el germen y la punta. Básicamente el contenido de almidón del grano entero es de 72-73% del peso seco del maíz (Kent, 1987).

El almidón está constituido por dos tipos de moléculas; un polímero lineal que es la amilosa y un polímero ramificado, que es la amilopectina; ambos polímeros están constituidos por glucosa. La proporción de amilosa y amilopectina en almidones normales es de alrededor 27% y 73% respectivamente. El almidón que se encuentra dentro del maíz está formado por gránulos redondos en el endospermo harinoso y gránulos poliédricos en el endospermo córneo (Rodríguez, 1996).

La amilosa constituye entre un 25-30% del almidón y está constituida por cadenas largas no ramificadas. La amilosa no es verdaderamente soluble en agua, pero forma micelas hidratadas. La amilopectina constituye un 70-75% del almidón, los enlaces glucosídicos del esqueleto son  $\alpha$  (1-4), pero los de los puntos de ramificación son enlaces  $\alpha$  (1-6). Las propiedades del almidón y sus componentes dependen notablemente del genotipo (Kent, 1987).

Otros carbohidratos, entre ellos la celulosa, forman las paredes de las células. El pericarpio se compone de 40% de celulosa y 40% de hemicelulosa. La fibra cruda se encuentra entre 21 al 23% encontrándose en el pericarpio del 41 al 46% del total (Rodríguez, 1996).

Las proteínas del maíz se componen de dos fracciones:

1. Las proteínas localizadas en el germen, que están bien equilibradas desde el punto de vista nutricional, pero que lamentablemente solo representan el 20% del contenido total de proteínas en el maíz.
2. Las proteínas que se encuentran en el endospermo en forma de cuerpos proteicos discretos y una matriz proteica. Los cuerpos proteicos están compuestos



fundamentalmente por una prolamina llamada zeína, que tiene cantidades insuficientes de dos aminoácidos indispensables, lisina y triptófano (Hoseney, 1991).

El maíz contiene cuatro tipos de proteína que son clasificadas de acuerdo a su solubilidad; así se tienen las albúminas que son solubles en agua, las globulinas en sales, las prolaminas en etanol al 70-80% y las glutelinas 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 proteínas (Rojas, 2001).

En el grano de maíz en lípidos representan en promedio 5% del grano entero, del cual el 83% proviene del germen. Los lípidos del maíz se encuentran principalmente como triglicéridos de ácidos grasos y los principales son el ácido linoleico (59%) y palmítico (12%).

Un 95% de las sustancias minerales de los cereales está formado por fosfatos y sulfatos de potasio, magnesio y calcio. El maíz es una fuente importante de selenio (0.08 mg/kg), potasio (0.08%), magnesio (0.37%), cloro (0.12%), calcio (0.05%), sodio (0.03%), iodo (385 mg/kg), fósforo (0.29%) y el azufre (0.14%) entre otros (Kent, 1987).

El maíz contiene dos vitaminas liposolubles: la vitamina A ( $\beta$ -caroteno) y la vitamina E. La vitamina A es generalmente variable entre las diferentes variedades de maíz y se destruye gradualmente por oxidación, junto con otros pigmentos carotenoides durante un almacenamiento prolongado. Las vitaminas hidrosolubles del maíz son: tiamina, riboflavina, niacina, ácido pantoténico, ácido fólico y colina (Kent, 1987; Rodríguez, 1996).

#### **1.1.4 Proceso tradicional de nixtamalización.**

El proceso de nixtamalización se ha empleado desde tiempos remotos para preparar la tortilla, uno de los alimentos más importantes para la población de Mesoamérica (Figuroa y col., 1994; Arámbula y col., 2001a). Este proceso se inicia con la recepción (Figura 2) del maíz deshidratado que es pesado para llevar su control desde este momento. Luego hay una primera limpieza para eliminar materiales extraños y una vez limpio se almacena en silos. Antes de ser enviado al proceso se vuelve a limpiar para eliminar el resto de materiales extraños y una vez limpio se vuelve a pesar. Después se envía a los cocedores con hidróxido de calcio (0.5 - 2%) y agua (120 a 300% con relación al peso del maíz) se eleva la temperatura de 80 - 100 °C,

generalmente se mantiene por debajo del punto de ebullición durante un tiempo relativamente corto (0.5 - 3 h) con lo que se inicia el proceso de nixtamalización. Se coloca en contenedores para que se enfríe lentamente a temperatura ambiente (generalmente toda la noche) se lava y se elimina el agua de cocimiento (nejayote). Viene entonces la molienda primaria con un molino de piedras estriadas (Gómez y col., 1987; Hosoney, 1991), el producto resultante del molido húmedo es la masa, ésta tiene 55% de humedad y forma una masa relativamente cohesiva, posiblemente a causa de la distribución del tamaño de sus partículas y de la humedad (Hosoney, 1991; Rubio, 1993; Gasca y Casas, 2007).

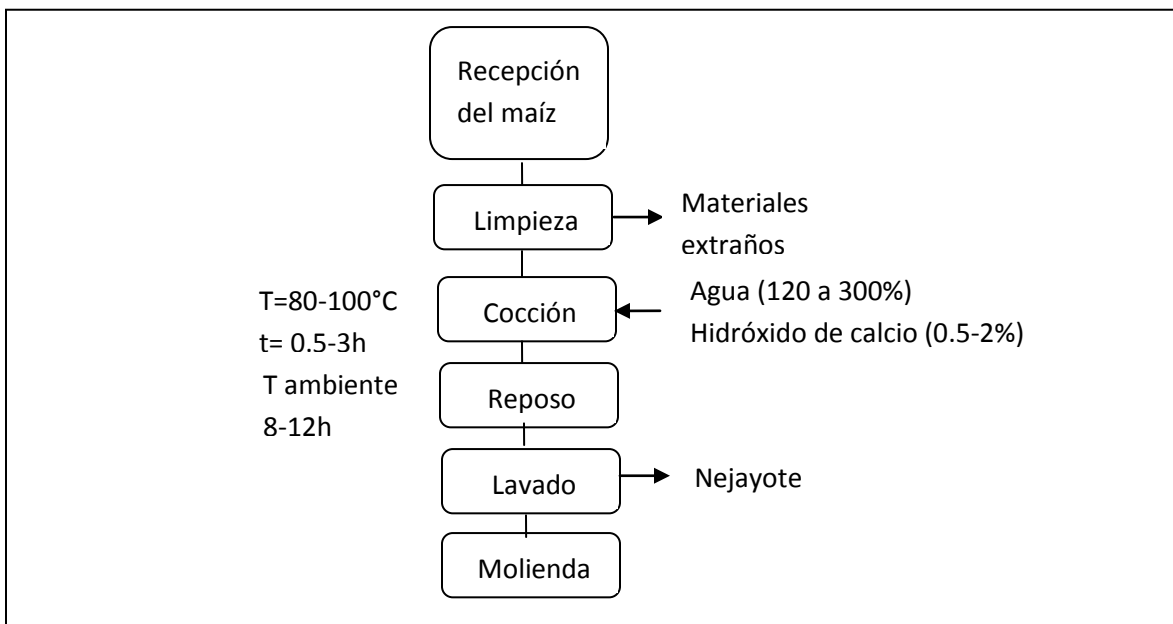


Figura 2. Proceso tradicional de nixtamalización (Hosoney, 1991).

Durante la cocción del maíz, la cantidad de almidón que se gelatiniza es relativamente pequeña. La temperatura es suficientemente alta, pero la cantidad de agua es limitada. El grano de maíz es muy duro y denso, por esto, es necesario un período de tiempo bastante largo para que el centro del grano llegue a empaparse de agua. Ésta es, aparentemente la razón del largo tiempo de maceración a temperatura elevada. Las sales solubles y el azúcar del grano elevan la temperatura de gelatinización, por lo que la mayoría del almidón no se gelatiniza. El hidróxido de calcio se añade por dos motivos; primero, confiere un sabor que es muy compatible con el maíz y que identificamos con los productos de maíz; segundo, el carácter básico del hidróxido de calcio debilita la capa exterior del pericarpio de maíz. Este se puede

separar después de la cocción por frotamiento, o incluso por lavado. El tiempo necesario de cocción, varía según el maíz y está relacionado aparentemente con la velocidad de penetración del agua. Es importante que todo el grano se hidrate por igual. También parece ser una operación importante la molturación o molienda. Generalmente se acepta la necesidad de molinos de piedra para producir buena masa (Hoseney, 1991).

El maíz como todos los cereales, es deficiente en aminoácidos esenciales (lisina y triptófano), y también en niacina, vitamina del complejo B. Sin embargo, el proceso de nixtamalización hace que la tortilla tenga mayor calidad nutricional comparada con el maíz crudo (Figuroa y col., 1994). La nixtamalización implica un tratamiento de las proteínas del maíz. Durante el proceso de cocimiento alcalino, la zeína, una proteína nutricional pobre, reduce su solubilidad, mientras que la glutelina, de mayor valor nutricional, incrementa su solubilidad y con ello la disponibilidad de aminoácidos esenciales (Figuroa y col., 1994).

La masa, como muchos otros alimentos, es un material viscoelástico. Durante su obtención, manejo y utilización para la elaboración de tortilla y otros productos, es sometida a diferentes tipos de fuerzas con muy diferentes niveles de compresión, incluyendo las operaciones por las cuales el molinero juzga la textura de manera empírica. Una propiedad importante de la masa para su desempeño en la elaboración de tortillas es la adhesividad y ésta es influenciada por las condiciones de proceso como temperaturas y tiempos de cocción y reposo, adición de agua y la distancia entre las piedras durante la molienda (Gómez y col., 1987).

La textura de la masa es crítica para el proceso de elaboración de tortilla. Cuando la masa tiene la textura adecuada, es lo suficientemente adhesiva para adherirse ligeramente a los rodillos laminadores de la maquina tortilladora y separarse adecuadamente. Si el maíz esta sobre-cocido, la masa es pegajosa y se adhiere fuertemente a los rodillos; el maíz sub-cocido produce una masa poco adhesiva, inadecuada para la formación de la tortilla (Bootsrapa y col., 1999; Ramírez y col., 1993).

### **1.1.5 Fenómenos que modifican el granulo de almidón**

#### **a) Gelatinización del almidón**

Durante la cocción del almidón se incrementa la temperatura, se retiene más agua y el gránulo empieza a hincharse y a aumentar de volumen, una vez que la parte amorfa del granulo se ha hidratado completamente, la cristalina inicia un proceso semejante, pero para esto se requiere más energía. Al llegar a ciertas temperaturas, normalmente cercanas a 65 °C, aunque depende de cada tipo de almidón, el granulo alcanza su volumen máximo y pierde tanto su patrón de difracción de rayos x como la propiedad de birrefringencia (fenómeno indicativo de una alta organización molecular interna; el almidón refleja doblemente la luz debido a la orientación molecular que presenta dentro del gránulo); si se administra más calor, el gránulo hinchado, incapacitado para retener el líquido, se rompe parcialmente y la amilosa y la amilopectina, fuertemente hidratadas se dispersan en el seno de la disolución (Badui, 2006; Rojas, 2001).

#### **b) Retrogradación del almidón.**

Este fenómeno se define como la insolubilización y la precipitación espontanea, principalmente de las moléculas de amilosa, debido a que sus cadenas lineales se orientan de forma paralela. Durante la gelatinización, al hincharse el granulo 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 si y los gránulos o residuos de gránulos presentes forman una malla induciendo la formación de agregados que cristalizan, provocando precipitación o formación de gel. Se ha llegado a la conclusión que las moléculas de amilosa son las responsables de este fenómeno ya que se ha comprobado que esta molécula es capaz de formar geles a bajas concentraciones (1.5%) y tiene gran influencia en las propiedades reológicas de los productos. Los fenómenos de gelatinización y retrogradación del almidón ocurren en mayor o menor grado durante la nixtamalización (gelatinización), cocción de la tortilla (gelatinización) y almacenamiento de la misma, dependiendo de las condiciones de proceso y almacenamiento. La unión por puentes de hidrógeno se incrementa hasta alcanzar un tamaño determinado que provoca una precipitación como cristales de almidón (Badui, 2006; Mota y col., 1998; Felicidad y Yrjo, 2008).

## **1.2 Harina de maíz nixtamalizada (HMN)**

### **1.2.1 Definición**

La Norma Oficial Mexicana (NOM-F-46-S-1980) define la harina de maíz nixtamalizada como el producto que se obtiene de la molienda de los granos de maíz (*Zea-Mays*) sanos, limpios, previamente nixtamalizados y deshidratados.

### **1.2.2 Importancia económica y tecnológica de la harina de maíz nixtamalizado**

La industrialización del maíz se originó en México con la intención de satisfacer la demanda, cada vez mayor de tortilla en las zonas rurales y urbanas del país, para lo cual se recurrió primero a la transformación del maíz en la masa del nixtamal, y posteriormente a la elaboración de la harina de maíz que tiene ventajas sobre la masa de nixtamal, ya que elimina las labores cotidianas, intensivas y tediosas del proceso tradicional, el producto es homogéneo y existe un mejor control higiénico durante su elaboración, lo que además de disminuir la actividad de agua del harina, permite que pueda ser almacenado durante cierto período de tiempo (Figueroa y col., 1994).

El proceso de producción de la tortilla a partir de harina tiene un rendimiento mayor al 15% aproximadamente con relación a la masa fresca; es decir, que con un kilogramo de maíz procesado en molino de nixtamal se elaboran 1.350 a 1.400 kilogramos de tortillas mientras que con harina se llegan a producir 1.550 a 1.650 kilogramos. Aunque la tortilla se sigue elaborando a escala doméstica y de autoconsumo, se produce en más de 20 mil establecimientos distribuidos en toda la República. La masa nixtamalizada que se elabora en los molinos de nixtamal tiene algunas desventajas; su costo de producción es más elevado que el de la harina de maíz puesto que no sólo se emplean mayores insumos básicos y se pierden mayor cantidad de nutrientes en el agua de cocimiento (nejayote), sino que tiene que ser empleada forzosamente con rapidez porque se descompone fácilmente. Por estas razones, actualmente la harina de maíz no es empleada nada más por las amas de casa sino principalmente por la industria tortilladora porque reduce las mermas y el desperdicio del maíz, disminuye la pérdida de nutrientes y tiene asegurado el control de calidad (Figueroa y col., 1994).

El proceso industrial permite una producción mayor de tortillas que la de los molinos de nixtamal y está menos sujeta a los aumentos del costo de insumos y mano de obra, al mismo tiempo que se está mejorando constantemente debido al desarrollo tecnológico y a la incorporación de nutrientes que enriquecen la alimentación de la población (Figuroa y col., 1994).

Las tortillas preparadas con harina instantánea son frágiles, pálidas y se deshidratan rápidamente, además, la carencia de color y textura apropiada son las principales desventajas de productos preparados de masas deshidratadas. Actualmente, la competencia entre proveedores de masa seca ha mejorado la calidad total y la uniformidad significativamente (Figuroa y col., 1994).

Con la llegada de tortillas envasadas con conservadores a los supermercados (refrigeradas o no), la tendencia en las áreas urbanas será la compra de estos productos innovadores. El empleo de la harina de masa deshidratada continuará creciendo y proveerá una amplia gama de productos con diferentes sabores y texturas. Toda esta tecnología desplazará en zonas urbanas a pequeños productores y fabricantes de baja capacidad (Figuroa y col., 1994).

### **1.3 Proceso de elaboración de la harina de maíz nixtamalizado**

En el caso de la elaboración de harina de maíz nixtamalizado, el maíz es cocido en agua con hidróxido de calcio y mantenido en reposo al igual que el método tradicional, o cocido de una forma más intensa en operación continua, rociando el grano con una solución de hidróxido de calcio, antes de ser sometido a cocción por vapor, para después lavarse, molerse, secarse con aire caliente, pulverizarse y separarse por tamaño. La temperatura y el tiempo de cocción son menores para preparar harina de maíz nixtamalizado comparado con la nixtamalización tradicional (Arámbula y col, 1998).

Dicho subcocimiento causa una insuficiente absorción de agua, restringe el hinchamiento de los gránulos de almidón y limita la lixiviación de la amilosa durante el calentamiento inicial. El corto tiempo de remojo limita la redistribución del agua y la reorganización de la estructura molecular como sucede en el remojo habitual para preparar la masa de nixtamal. La harina de maíz nixtamalizado contiene gránulos de almidón de forma irregular a causa de la destrucción

de su integridad esférica. El rápido secado de la masa causa una posterior gelatinización y reorientación de los polímeros de almidón provocando que la masa al rehidratarse sea menos plástica y cohesiva que la masa fresca (Rodríguez y col., 1996; Arámbula y col., 1998).

#### **1.4 Diferencias entre masa fresca y masa preparada con masa de harina de maíz nixtamalizado (MHMN)**

Durante el almacenamiento de la HMN y su utilización para la elaboración de tortilla, los gránulos de almidón parcialmente gelatinizados proporcionan núcleos para la recristalización y retrogradación, lo cual disminuye la cohesividad. La rehidratación de la masa no es capaz de destruir estos núcleos. Por lo anterior, la retrogradación de la tortilla ocurre muy rápidamente (Gómez, 1987; Gasca y Ramirez, 2007).

La HMN al rehidratarse produce una masa menos plástica y cohesiva que la masa fresca, debido principalmente al tamaño de partícula característico en este tipo de producto y al proceso al que es sometido (secado). La masa fresca mantiene cohesividad a causa de una mezcla que contiene almidón gelatinizado, proteínas hidratadas y sales de calcio. La harina de maíz nixtamalizado contiene algunos gránulos de almidón gelatinizado y partículas aglomeradas que la mantienen junta y que pueden llegar a formar un material con consistencia pegajosa. Del mismo modo, las tortillas manufacturadas con harina de maíz nixtamalizado son de textura diferente a las hechas de masa fresca y tienen poco sabor. Además que se endurecen más rápido debido a las condiciones en que el almidón se encuentra en la harina (Rodríguez, 1996).

### **1.5 Tortilla.**

#### **1.5.1 Definición**

La tortilla, diminutivo de torta (pan de maíz), según las crónicas de Sahagún y Díaz del Castillo, se ha constituido en el alimento más característico e importante de México y algunos países de Centroamérica (Figuroa y col., 1994).

### **1.5.2 Importancia de la tortilla en México.**

La tortilla y productos alcalinos juegan un rol importante en la dieta de la gente de los países Latinoamericanos; las tortillas solas proveen 38.8% de las proteínas, 45.2% de las calorías y 49.1% del calcio de las necesidades diarias de la dieta en México. Adicionalmente, el calcio imparte propiedades funcionales deseables (color, sabor, textura y vida de anaquel) y juega un papel esencial en la prevención de pelagra y osteoporosis.

El calcio que se aporta a la tortilla durante la nixtamalización se combina con proteínas y carbohidratos de ésta, lo que hace que el organismo absorba más rápidamente este mineral (Rojas, 2001).

El concepto mismo de la tortilla ha ido evolucionando con el fin de brindar una mayor comodidad a los consumidores. A pesar de la larga tradición de consumir la tortilla recién elaborada, la comercialización adoptada para muchos productos alimenticios mediante el desarrollo de empaques para ser distribuidos en tiendas no especializadas se está perfilando como una alternativa de comercialización de la tortilla; la vida de anaquel del producto envasado es de varios días, tal como lo requiere este sistema de comercialización, es decir, la tortilla lleva incorporada conservadores que prolongan notablemente la frescura del producto (Arámbula y col., 2001).

Una fábrica de tortillas puede recibir maíz, masa o harina como insumo, dependiendo su acceso a estas materias primas (Solís, 1996). Las preferencias del consumidor se inclinan hacia las tortillas elaboradas en forma tradicional por su sabor, sus propiedades texturales (rollabilidad, suavidad, flexibilidad) y su mejor desempeño durante el recalentamiento, doblado, enrollado y freído. No obstante el consumidor se ha ido acostumbrando a consumir, generalmente por facilidad, diferentes tipos de tortillas en los que cada vez es más frecuente el empleo de HMN. A pesar de las ventajas que ofrece la utilización de HMN para la fabricación de tortillas, las diferencias en las propiedades texturales del producto, en comparación con las elaboradas con MFMN no han sido superadas (Solano, 2001; Solís, 1996).



La tortilla de maíz hecha a partir de harina de maíz nixtamalizada no pierde su valor nutritivo, prácticamente retiene mas nutrientes que las elaboradas con el nixtamal tradicional, porque pierde menos sólidos.

## **1.6 Aditivos utilizados en tortillas.**

### **1.6.1 Conservadores para tortillas**

La limitada vida de anaquel y el rápido endurecimiento son los mayores problemas que afectan la distribución comercial de masa y tortillas de maíz. Las tortillas son propensas a la putrefacción microbiana a causa de su alto contenido de humedad (38 - 46%) y actividad de agua ( $a_w = 0.96$ ) (Rojas, 2001).

Para alargar la vida de anaquel de masa y tortillas envasadas, se recurre al empleo de diferentes aditivos que a continuación se mencionan.

#### **a) Antimicrobianos.**

Para controlar el crecimiento de bacterias y hongos en la tortilla se emplean combinaciones de ácidos y sales que funcionan como conservadores. Los aditivos comúnmente empleados como conservadores incluyen las sales de sorbato de potasio, propionato de sodio entre otros, los cuales son más efectivos bajo condiciones ácidas (pH 5.5). El control de pH del producto mediante la adición de ácidos como el cítrico, fumárico, sórbico y otros (en niveles de aproximadamente 0.45% por peso de harina) son importantes para optimizar la eficiencia de éstas sales como conservadores (Almeida y Helber, 1996; Sortwell, 1995).

Los sorbatos tienen su mayor actividad antimicrobiana en un rango de pH de 4.5 - 5.5; pueden ser razonablemente efectivos a un pH de 6.5. Este tipo de conservadores son más efectivos que los propionatos, pero su costo es más elevado y tiende a aumentar el precio de las tortillas, por esta razón, solo han ganado aceptación en pastelería. Los niveles sugeridos de sorbatos son de 0.01 a 0.3% en peso de la harina, ya que a esta concentración (en especial el de potasio) se ha podido controlar el crecimiento de levaduras (Rojas, 2001; Sortwell, 1995).

La utilización del dimetilfumarato o propionato de calcio en la elaboración de tortillas, ha demostrado prolongar significativamente la vida de anaquel del producto, aunque en el

primero su actividad antimicrobiana no depende del pH por lo que no son necesarios los acidulantes (Arámbula y col., 2001).

#### **b) Control de la actividad de agua**

Otra forma de prevenir el desarrollo microbiano en tortillas es mediante el desarrollo y estabilidad de la humedad intermedia utilizando reductores de actividad de agua tales como azúcares, sales, glicerol, ácido láctico, entre otros. Estos humectantes pueden agregarse a la masa en forma de soluciones, su función es la de disminuir la actividad acuosa normal de las tortillas ( $a_w = 0.96$ ) hasta aproximadamente 0.86 donde es difícil el crecimiento de mohos y bacterias (Sortwell, 1995).

#### **1.6.2 Mejoradores de Textura**

La pérdida de suavidad y flexibilidad de la tortilla al enfriarse durante el almacenamiento se debe en gran medida a la formación de una estructura rígida causada por la retrogradación del almidón y asociación con proteínas, fibra y otros componentes químicos.

Los cambios estructurales empiezan tan pronto como la tortilla sale del comal y empieza a enfriarse. La necesidad de conservar la textura durante el almacenamiento es crucial para la calidad de la tortilla en el mercado. El debilitamiento de la estructura rígida combinado con el establecimiento de una nueva estructura más flexible, menos susceptible a cambios durante el almacenamiento es una alternativa para mejorar la textura de la tortilla (Figueroa y col., 1994).

Los mejoradores de textura empleados en tortilla pueden clasificarse como: emulsificantes, gomas, proteínas, enzimas.

#### **a) Emulsificantes**

Las características comunes de estos aditivos es su naturaleza lipídica y su papel como agente texturizante. Dentro de las funciones de los emulsificantes en productos horneados que contienen almidón está la formación de complejos con las macromoléculas glucídicas, la interacción con el almidón y otros componentes de proteínas en alimentos que modifican la textura y propiedades reológicas (Multon, 1997).

El efecto que se busca en los alimentos es la aireación, el antiendurecedor y un efecto condicionante de la masa. En la mayoría de los casos, el empleo de monoglicéridos, de monoestearatos de sorbitán y de polisorbato 60 dan los mejores resultados. El efecto antiendurecedor se logra al formar complejos con la amilosa (monoglicéridos, estearil-lactilatos) y el efecto condicionante con los complejantes de proteína (esteril-lactilatos). Por lo tanto los monoglicéridos disminuyen la retrogradación del almidón al formar complejos con ambas fracciones de amilosa y amilopectina en la masa de maíz (Twillman y White, 1988). La selección se puede extender a otros tipos de emulsificantes, buscando el efecto deseado (Multon, 1997; Charalambous y col., 1997).

Bedolla (1983) encontró que el uso de monoglicéridos mejora la textura de tortillas de maíz. Twillman y White (1988) emplearon monoglicéridos en tortillas de maíz almacenadas a 4 °C durante 0, 1, 2 y 3 días y a -20 °C por 30 días. Los cambios en textura fueron evaluados con un panel entrenado y con la máquina universal Instron. La adición de monoglicéridos produjo tortillas más suaves, más rollables y menos secas que las tortillas control durante el almacenamiento.

## **b) Hidrocoloides**

### **(i) Gomas**

Las gomas actúan generalmente en la tortilla como retenedores de humedad, compuestos estructurales e inhibiendo la retrogradación del almidón, inhibiendo la recristalización de almidón gelatinizado, además de eliminar la adherencia del producto empacado, mejoran la tolerancia a la congelación y aumentan los volúmenes de producción (Arámbula y col. 2001; Rendon y col. 2006).

La adición de goma xantana, arabiga, carboximetilcelulosa y algarrobo hacen a la masa más firme y cohesiva. La masa requiere un ligero aumento en el contenido de humedad para hacerse más suave y mejorar el laminado. Las gomas aumentan la elasticidad de las tortillas y su capacidad para enrollarse sin romperse; sin embargo, le imparten a la tortilla una textura ligeramente gomosa, los hidrocoloides y almidón no incrementan el número de manchas oscuras en la superficie de la tortilla (Rojas, 2001).

**(ii) Proteínas**

La acción de las proteínas de soya sobre la funcionalidad de ingredientes en diversos sistemas alimenticios, 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 han sido dirigidos fundamentalmente a mejorar el valor nutrimental de las tortillas de maíz (Rojas, 2001).

**c) Enzimas**

Las masas son muy sensibles al sobremezclado y tienden a ser pegajosas. Las enzimas (amilolíticas) desdoblan parcialmente los enlaces del almidón y hemicelulosas interrumpiendo en esos puntos a la red estructural que compone a la masa. Las tortillas con amilasas son menos rígidas pero tienden a ser quebradizas. La malta es una mezcla de enzimas de varios tipos que actúan sobre varios componentes químicos de la masa. La utilización de malta diastásica de cebada aumenta la suavidad y pegajosidad de la masa produciendo tortillas más suaves pero quebradizas. La concentración de enzimas debe ser mínima ya que los componentes de la masa son muy susceptibles al ataque enzimático que cambian rápidamente las propiedades de la masa tan pronto como entra en contacto durante la rehidratación (Almeida y Helber, 1996).

Suhendro y col. (1995) evaluaron la funcionalidad de hidrocoloides, salvado y enzimas para mejorar la textura de las tortillas de maíz donde encontraron que la carboximetilcelulosa y la malta producen tortillas más rollables que las de control.

**1.6.3 Tortillaid-100M<sup>®</sup>, mejorador para elaborar tortillas de maíz.**

La empresa LALLEMAND México, S.A de C.V comercializa un mejorador denominado Tortillaid 100M<sup>®</sup> elaborado a base de harina de trigo, harina de soya desengrasada, gomas como la carboximetilcelulosa, polvo para hornear (carbonato de calcio, bicarbonato de sodio, sulfato de aluminio y sodio y fosfato monocálcico), mono y diglicéridos de ácidos grasos e hidrocoloides de grado alimenticio.

Tortillaid 100M<sup>®</sup> es utilizado en la elaboración de tortillas de maíz elaboradas con masa de nixtamal o harina de maíz nixtamalizado. Es aplicado en dosis del 0.5 – 1.0% tomando como base el peso de la harina de maíz y de 0.50 – 0.80% tomando como base el peso de la masa de nixtamal.

Tabla 1. Especificaciones del mejorador Tortillaid-100M

| <b>Fisicoquímicas</b> | Intervalos     |
|-----------------------|----------------|
| pH disp. al 1%        | 7.0 -11.0      |
| Pasa Malla            | 100 $\geq$ 80  |
| <b>Sensoriales</b>    |                |
| Color                 | Crema beige    |
| Olor                  | Característico |
| Apariencia            | Polvo fino     |

Distribuidor LALLEMAND México, S.A de C.V

### 1.7 Textura de masa y tortillas.

La textura de los alimentos es esencialmente una experiencia humana surgida de la interacción con el alimento, su estructura y comportamiento cuando se manipula. Comprender la respuesta a la estructura del alimento desde aspectos de fisiología y psicología de la percepción y hasta estudios físicos y químicos de la composición y estructura de los productos alimenticios y su comportamiento cuando son deformados o cizallados (Rosenthal, 2001).

La textura se define como todos los atributos mecánicos, geométricos y superficiales de un producto perceptible por medio de receptores mecánicos, táctiles y, si es apropiado, visuales y auditivos (Casas y Ramírez, 1998; Lewis, 1993, Rosenthal, 2001).

#### 1.7.1 Importancia de la textura en masa y tortilla.

El crecimiento de la industria de productos de maíz nixtamalizado y el aumento en la demanda del consumidor por productos de calidad alta y consistente crean la necesidad de implementar procedimientos analíticos para monitorear la calidad de los productos intermedios y terminados, sistemas de estandarización, monitoreo y control de los procesos, así como de crear especificaciones de calidad. Las mediciones de textura continuarán siendo indicadores fundamentales para monitorear la calidad de los productos. La capacidad de medir la textura

del nixtamal, masa y tortillas capacita a los operadores para responder apropiadamente a los cambios encontrados durante la operación normal de la maquinaria. La información obtenida tiene muchas posibilidades de uso para establecer especificaciones de calidad de productos y especificaciones de control en puntos críticos del proceso, evaluar cambios en el proceso, eficiencia y/o desgaste de maquinas, funcionalidad de aditivos, estudio de estabilidad del producto en el anaquel, caracterización de harinas de maíz, evaluación de métodos alternativos para la nixtamalización. El mejoramiento de la textura de las tortillas de maíz es una necesidad crucial para la industria con mercados grandes que requieren distribución y almacenamiento de productos (Suhendro y col., 1995; Bootsrapa y col., 1999).

La textura de la masa es crítica para el proceso de elaboración de tortilla. Cuando la masa tiene la textura adecuada, es lo suficientemente adhesiva para pegarse ligeramente a los rodillos laminadores de la máquina tortilladora y separarse adecuadamente. Si el maíz está sobrecocido, la masa es pegajosa y se adhiere fuertemente a los rodillos; el maíz sub-cocido produce una masa poco cohesiva, inadecuada para la formación de una tortilla (Gasca y Casas, 2007). La estabilidad durante la vida de anaquel, la habilidad de retener la textura original del producto y sus características sensoriales son problemas significativos en la tortilla. El endurecimiento es generalmente asociado con el incremento de la firmeza y el deterioro de la textura de productos horneados almacenados. Las tortillas frescas son suaves, fáciles de enrollar y sin grietas, en comparación con tortillas viejas que son rígidas, quebradizas, y se rompen al enrollarlas. La textura de la tortilla debe ser adecuada para su desempeño durante el recalentamiento, doblado, enrollado y freído (Suhendro y col., 1998a).

### **1.7.2 Métodos subjetivos de medición de textura en masa y tortilla**

La textura de masa y tortilla es evaluada en forma subjetiva por operadores de los molinos y tortillerías empleando técnicas empíricas desarrolladas en cada establecimiento. Los investigadores con frecuencia recurren a pruebas sensoriales de textura con evaluadores semi-entrenados o entrenados. Entre las pruebas empleadas están: Pegajosidad en la masa, textura de la masa, formación de ampolla durante la cocción de la tortilla, técnica de enrollado de tortilla, técnica de flexibilidad de tortilla, técnica de doblado de tortilla (Rojas, 2001).

### **1.7.3 Métodos objetivos de medición de textura en masa y tortilla**

Diferentes investigadores han desarrollado técnicas imitativas instrumentales para la evaluación de la textura de masa y tortilla utilizando máquinas sensibles a la deformación o analizadores de textura. Entre estos destaca el grupo de Suhendro, 1995.

Las pruebas más empleadas para masa y tortilla son:

#### **a) Análisis de perfil de textura en masa**

El Análisis de Perfil de Textura (iniciales en inglés TPA), es una prueba que mide fuerza en compresión. Una muestra del alimento sólido o semisólido de dimensiones y forma específica es comprimido y descomprimido dos veces; una distancia especificada simulando la masticación. Entre cada compresión se espera unos segundos. Durante la prueba se mide la fuerza en función del tiempo y se obtiene un gráfico de donde se calcula dureza, cohesividad, resiliencia, índice elástico instantáneo y total, gomosidad (Casas y Ramírez, 1998; Lewis, 1993; Rosenthal, 2001).

#### **b) Adhesividad en masa**

La adhesividad es el trabajo necesario para vencer las fuerzas de atracción entre la superficie del alimento y la superficie de otros materiales con los que el alimento entra en contacto. Con un dispositivo cilíndrico se presiona una superficie fresca de masa y se mide la fuerza y trabajo necesario para despegarlo de la masa. Se obtiene una curva fuerza-tiempo en la que se observan dos zonas: la correspondiente a la compresión de la masa y la de descompresión o retirada del dispositivo en la que se manifiestan las propiedades adhesivas del material (Ramírez y col., 1993).

#### **c) Rollabilidad de tortilla**

Utilizando un texturómetro, se mide la fuerza y el trabajo necesario para enrollar una tortilla a un cilindro de acrílico de 1.5 cm de diámetro y un hilo que es conectado al brazo sensor del texturómetro. La punta es calibrada a una distancia del brazo a la plataforma. Un borde de la tortilla es sujetado al cilindro firmemente, la fuerza requerida para tirar de un eje que da

vueltas al rodillo, para la creación del rollo de tortilla es registrada (Suhendro y Almeida, 1998b).

#### **d) Extensibilidad de tortilla**

Cuando un material es extendido con una fuerza igual y opuesta, la fuerza causa una completa ruptura del material (Suhendro y Almeida, 1999). La prueba de extensibilidad consta de una base rectangular con un orificio circular en medio, se sujeta la tortilla con unos tornillos y queda expuesta la parte central de la tortilla para la prueba. El cilindro del texturómetro extiende la tortilla hasta su ruptura y se obtienen parámetros como fuerza y distancia de extensibilidad.

#### **e) Tensión de tortilla**

En esta prueba se evalúan los módulos de deformación y de fuerza, al estirar una tira de tortilla sujeta de dos abrazaderas unidas al texturómetro hasta romperla (Iturbe y col., 1996).

### **1.8 Congelación**

#### **1.8.1 La cadena del frío.**

La cadena de frío es una expresión que comprende la secuencia de instalaciones, vehículos y aparatos desde la producción del alimento congelado hasta el consumidor. Esta cadena se establece en función de que el producto congelado debe mantener una temperatura  $\leq -18$  °C a lo largo de todo el proceso de distribución (Aguado, 1986).

Si el tratamiento es correcto los alimentos conservados en frío o congelados, pueden mantenerse durante meses prácticamente sin alteración. Ciertamente su conservación es limitada cuando salen de la cámara frigorífica, por lo que deben ser consumidos rápidamente. Por lo tanto, el mantenimiento adecuado de las condiciones de almacenaje para cada alimento (temperatura, humedad relativa, circulación de aire) durante todo el tiempo que dura el almacenaje, presupone la organización que abarca el transporte, la venta al por mayor y al detalle y, el consumidor (Plank, 1969).



### **1.8.2 Proceso de congelación**

Un momento muy importante desde el punto de vista de la conservación de la calidad del producto es el propio proceso de congelación. La modificación de las fases del agua con el característico aumento del volumen, daña la estructura coloidal de los productos. La magnitud y el carácter de estas variaciones, en su mayoría irreversibles, dependen del tipo de producto y de la realización técnica del proceso de congelación (Gruda, 1998).

El proceso de congelación se basa propiamente en la formación de una estructura cristalina a partir de grupos moleculares ya en parte ordenados. Al descender la temperatura del agua, se aproximan entre si sus moléculas; la fuerza de atracción que las une se acentúa. El agua se congela formando cristales hexagonales.

El proceso de cristalización, o sea, la formación de cristales de hielo, requiere tiempo y una determinada cantidad de energía. Las moléculas de agua, que están desordenadas o solo ligeramente ordenadas, deben desplazarse en la dirección correspondiente de la malla cristalina. Este movimiento se ve frenado por la presencia de partículas de sustancias extrañas, lo cual aumenta el tiempo necesario para la formación de la estructura cristalina. Al final, y si el enfriado de la solución es muy rápido, una parte del agua y en casos extraordinarios la totalidad de la misma puede convertirse en hielo amorfo (sin forma regular) (Gruda, 1998).

### **1.8.3 Curvas de congelación**

Se conoce como centro térmico del alimento el punto que tarda más tiempo en congelar. Si se hace una representación gráfica de la temperatura del centro térmico en función del tiempo durante la congelación se obtienen curvas características de cada alimento que se llaman curvas de congelación (Figura 3), donde se distinguen tres zonas. La primera es la zona de precongelación ó enfriamiento, la segunda es la zona de congelación o zona de máxima cristalización y la tercera es la zona de sub-enfriamiento ó zona de enfriamiento a la temperatura final de almacenamiento. En la primera zona “AB” se elimina el calor sensible del alimento y generalmente existe un sobreenfriamiento “S” antes de que comience la congelación entre  $-0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $-2.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . A partir de “B” comienzan a formarse los cristales. Según va descendiendo la temperatura va congelando el agua congelable del alimento. “BC” se

conoce como la plataforma de congelación donde se produce la máxima formación de cristales de hielo. Al llegar a “C” ha congelado prácticamente toda el agua congelable del alimento (Aguado, 1986; Desrosier y Tressler, 1999).

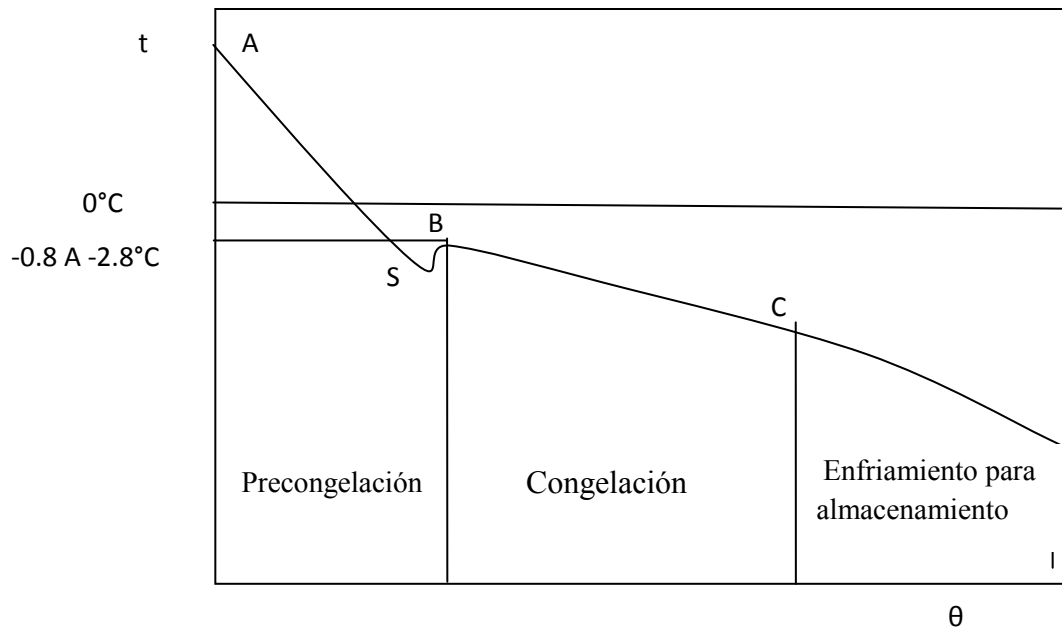


Figura 3. Zonas en la curva de congelación (Aguado, 1986).

Algunos autores trazan una línea por encima de “B” (temperatura de congelación del agua) y otra por debajo de “C” y delimitan una zona que llaman crítica (Figura 4). En esa zona es donde se forma todo el hielo que va a cristalizar en la operación, cualquiera que sea la pendiente de la curva de congelación. El punto donde la curva corta a la zona crítica (punto crítico) marca el tiempo que han tardado en formarse todos los cristales posibles, grandes en la curva I y microcristales en la III. Según sea la velocidad de la transmisión de calor las curvas tendrán distinta pendiente (Aguado, 1986).

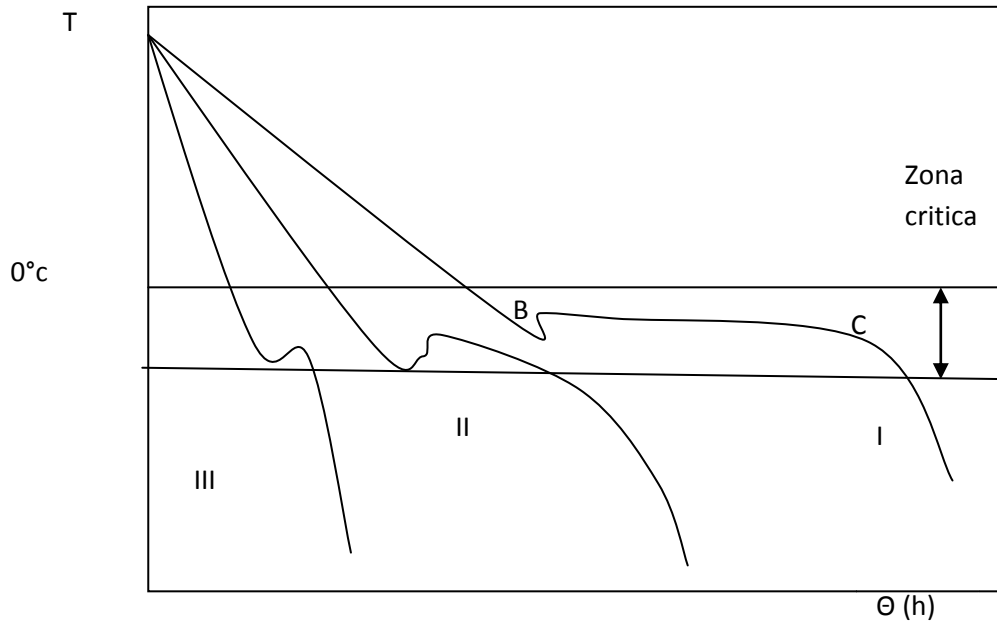


Figura 4. Curvas de congelación: (I) velocidad lenta, (II) velocidad rápida, (III) velocidad ultra rápida (Aguado, 1986).

#### 1.8.4 Velocidad de congelación.

La calidad de un producto congelado depende de la velocidad a la que éste es congelado. Dicha velocidad se define como la distancia mínima entre la superficie y el punto crítico partida por el tiempo en el que el punto crítico ha pasado desde 0 °C a -15 °C.

- a) Lenta: < 1 cm/h, por ejemplo un congelador doméstico con el aire inmóvil a -18 °C
- b) Rápida: 1-5 cm/h, en un túnel de aire frío a 20 km/h y -40 °C
- c) Ultra rápida: > 5 cm/h, en la inmersión en nitrógeno líquido (Singh, 1993).

La congelación depende de las condiciones del proceso de congelación, pero principalmente de la velocidad de congelación. Cuando la solución acuosa del alimento se congela rápidamente a una temperatura muy baja, durante la velocidad de descongelación, además de la modificación del estado de agregación, ocurren otras transformaciones físicas menos conocidas. La definición científica de congelación rápida es pasar la zona de máxima cristalización en 30 minutos. En la congelación rápida, se forma muy pequeños cristales de hielo en el interior de la célula y no causan ningún daño en los tejidos del producto. En cambio

en la congelación lenta el paso de la zona de máxima cristalización tarda más de 30 minutos y se producen pocos y grandes cristales de hielo fuera de la célula (Singh, 1993).

La velocidad de congelación de un alimento no ejerce influencia únicamente sobre la cantidad, sino también sobre la forma de los cristales generados. Se distinguen tres tipos principales de cristales.

1.- Cristales regulares hexagonales. Los ejes de cristalización que parten de un núcleo de cristalización forman entre sí un ángulo de  $60^{\circ}\text{C}$ ; estos cristales se forman durante las congelaciones muy lentas.

2.- Dendritas irregulares. Se originan con velocidades de congelación medias y elevadas; de los núcleos de cristalización no solo salen seis, sino muchos más ejes de cristalización que forman entre sí diversos ángulos.

3.- Cristales esféricos. Se producen en congelaciones rápidas y ultrarrápidas; de los respectivos núcleos parten agujas de hielo muy finas que en su forma exterior constituyen una esfera. Aumentando todavía más la velocidad de congelación, estas agujas se hacen cada vez más delgadas y el cristal acaba por hacerse transparente.

Cuando un alimento se enfría desde el exterior, se forman en la superficie enfriada cristales de hielo; simultáneamente se constituye una superficie de separación entre las fases sólidas y líquida. Si se parte del hecho de que en la solución no hay movimientos de convección, la forma de los cristales originados en la superficie de separación depende de la velocidad de penetración de la sustancia soluble mediante difusión en el interior de la solución (Gruda, 1998).

### **1.8.5 Tipos de recristalización.**

La recristalización consiste en todos aquellos cambios, principalmente físicos, que se producen en los cristales de hielo, que afectan a la forma y tamaño, fundamentalmente causados por oscilaciones de temperaturas en alimentos congelados.

El estudio microscópico de los artículos de congelados atestigua, sin embargo, una serie de modificaciones de la estructura cristalina que en términos generales se denomina

recristalización. La solución congelada en forma de cristales esféricos transparentes se hace opaca al sobrepasar una determinada temperatura (Martino y Zantzy, 1989).

Aumentando la temperatura, los cristales adoptan la forma de grandes granos que luego se unen para constituir plaquitas monolíticas de hielo. Con temperaturas bajas, este proceso cursa inicialmente muy despacio; se trata entonces de la llamada recristalización de “iniciativa libre”. Su velocidad aumenta a medida que se aproxima a la temperatura del punto crioscópico. Con temperatura próxima al punto de fusión puede observarse la aparición de un intenso crecimiento de grandes cristales a costa de cristales pequeños. Se trata entonces de la recristalización “anterior a fusión”. En general se aprecia que la recristalización es un proceso de crecimiento constante de los cristales consecuente a la emigración de las moléculas de agua desde cristales pequeños a cristales grandes (Desrosier y Tressler, 1999).

Según Nilson, la emigración es consecuencia de una mayor tensión de vapor de agua en la superficie de los pequeños cristales. Se establece entonces una determinada diferencia de presión, en virtud de la cual pasan las moléculas de agua en forma de vapor desde los cristales pequeños a los grandes. Una segunda causa de esta manifestación son las fluctuaciones de temperatura de almacenado (Shinsuke y Peter, 2008). Al superar una determinada temperatura, se funde primero los pequeños cristales, que poseen un punto de fusión más bajo; si se vuelve a congelar, el agua se congela en el momento del descenso de la temperatura ya en torno de los cristales grandes. El descenso de la temperatura de almacenamiento y la limitación de las oscilaciones térmicas frenan mucho este proceso. Con una temperatura de  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , la diferencia de presión de vapor de agua entre los cristales grandes y pequeños es unas cuatro veces menor que con una temperatura de  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . La total anulación de la recristalización sólo es posible por debajo de la temperatura eutéctica (temperatura en la que se alcanza un punto donde el agua restante conjuntamente con los solutos que han ido concentrándose se solidifican juntos), que en las soluciones biológicas es de unos  $-65^{\circ}\text{C}$  (Gruda; 1998).

Los diferentes tipos de recristalización son: Recristalización isomásica, recristalización por presión, recristalización migratoria y recristalización por contacto.

**a) Recristalización isomásica.**

Es cuando un cristal tiene una forma tal que presenta una relación superficie-masa muy grande y se establece un fenómeno natural que tiende a disminuirla, conservando la masa inicial. Las moléculas de agua se difunden dentro del mismo cristal y este pasa a una forma con relieves menos pronunciados. Cuando este movimiento ocurre entre los intersticios celulares en el cambio puede dañar ocasionalmente una membrana celular. La masa de hielo permanece constante, el cambio se va a producir en la forma de la estructura interna del hielo, de tal manera que la relación superficie/volumen se va a reducir.

**b) Recristalización por presión**

Si se aplica una fuerza a un conjunto de cristales cuyo plano basal está perpendicular a la dirección de la fuerza tiende a crecer a expensas de los otros. Este tipo de recristalización se puede evitar no amontonando los productos congelados unos encima de otros para su almacenamiento sino disponiéndolos en bandejas o bastidores. Este cambio se produce al estar en contacto varios cristales, se unen y dan lugar a un único cristal; el número de cristales se va a reducir, pero aumenta el tamaño de los que quedan.

**c) Recristalización migratoria**

Si por una entrada de calor en algún eslabón de la cadena de frío, o entre eslabones, sube la temperatura del congelado, una parte del hielo volverá al estado líquido, según la curva de congelación correspondiente. El tamaño de los cristales es ligeramente diferente aunque todos sean microcristales y cuando se recuperen los  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , el agua fundida volverá a congelar, pero lo hace depositándose preferentemente en los microcristales más grandes favoreciendo una recomposición masa-volumen tendiente a la disminución de energía libre superficial. Se va a formar un cristal de gran tamaño a costa de otros más pequeños, la diferencia con el anterior está en que son los más pequeños los que se van aproximando al mayor. Si la rotura de la cadena del frío se repite se puede llegar a una situación de monocristales grandes por desaparición de los microcristales más pequeños.

Al crecer los cristales rompen las paredes celulares, aumenta la presión de vapor en el interior (aun queda agua líquida), en el exterior la presión es más baja y tiende a equilibrarse extrayendo agua de las células dando como resultado una fuerte deshidratación.

#### **d) Recristalización por contacto**

Ocurre cuando se forma un aglomerado de cristales que tienen entre ellos puntos o superficies de contacto. Las superficies libres se van fusionando para terminar en un cristal único y más redondeado, pudiendo incluso quedar huecos en el cristal único resultante. Los cristales se convertirían así en un monocristal peligroso. Este tipo de recristalización se da en algunos alimentos sin que se pueda evitar, si bien su velocidad de formación es muy pequeña (Aguado, 1986).

De todos estos efectos, el más perjudicial es el de la recristalización migratoria, por el aumento del tamaño de los cristales de hielo y el daño que esto produce sobre las células. La causa de esta recristalización se encuentra en las fluctuaciones de temperatura en el almacenamiento (Shinsuke, 2008).

#### **1.8.6 Efecto de la recristalización sobre la retrogradación del almidón.**

La gelatinización del almidón experimenta cambios en la refrigeración, congelación y almacenamiento, tal como la retrogradación del almidón. Estos cambios afectan la calidad, aceptabilidad y vida de anaquel del almidón contenido en los alimentos.

El fenómeno de retrogradación del almidón depende de la temperatura y del tiempo, el cual implica una reasociación de moléculas en una estructura ordenada. Depende de las condiciones resulta el orden de cristalización de la amilosa y amilopectina. Estos cambios pueden detectarse en la apariencia del gel, por medio de propiedades de difracción de rayos-X, donde se muestra un incremento de tamaño con incremento del tiempo de almacenamiento y la recristalización. En tratamientos cortos se desarrolla la cristalización de la amilosa y en tratamientos largos ocurre la reordenación de la amilopectina (Felicidad y Yrjo, 2008).

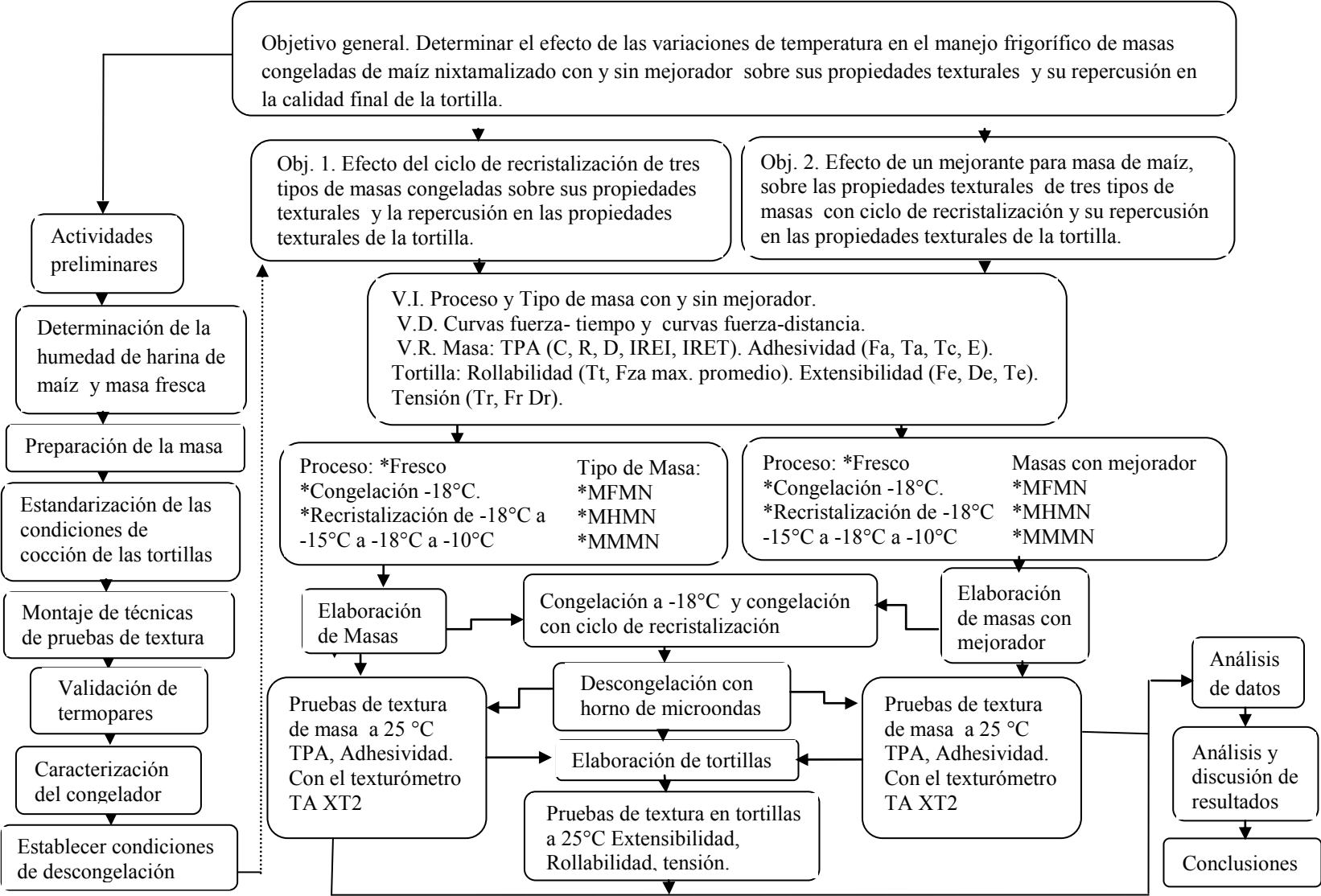
Los gránulos de almidón en una suspensión fría tienden a hincharse, reteniendo agua, y a una cierta temperatura gelatinizan espesando el líquido. Cuando se deja reposar, las cadenas lineales de amilosa se agregan como si cristalizaran y liberan parte del agua previamente retenida en su estructura, en un proceso llamado sinéresis.

Cada almidón tiene diferentes tendencias a la retrogradación, lo cual está directamente relacionada con su contenido de la fracción amilosa. La retrogradación de la amilopectina es más difícil debido a que sus ramificaciones impiden la formación de puentes de hidrogeno entre moléculas paralelas. Sin embargo, la insolubilización se produce cuando las soluciones de amilopectina se congelan y descongelan continuamente. 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 (Desrosier y Tessler, 1999).



## CAPITULO 2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

### 2.1 CUADRO METODOLÓGICO.



## **2.2 Objetivo general**

Determinar el efecto de las variaciones de temperatura en el manejo frigorífico de masas congeladas de maíz nixtamalizado con y sin mejorador sobre sus propiedades texturales y su repercusión en la calidad final de la tortilla.

## **2.3 Objetivos particulares**

### **2.3.1 Objetivo 1**

Evaluar el efecto del ciclo de recristalización durante el manejo frigorífico de tres tipos de masas congeladas de maíz nixtamalizado (masa fresca, masa de harina de maíz nixtamalizado y mezcla de ambas) sobre las propiedades texturales de la masa descongelada y la repercusión en las propiedades texturales de la tortilla.

### **2.3.2 Objetivo 2**

Evaluar el efecto de un mejorante para masa de maíz, sobre las propiedades texturales de tres tipos de masas congeladas de maíz nixtamalizado (masa fresca, masa de harina de maíz nixtamalizado y mezcla de ambas), sometidas a un ciclo de recristalización durante el manejo frigorífico y su repercusión en las propiedades texturales de la tortilla.

## **2.4 Hipótesis**

Hipótesis 1. El proceso de recristalización modificará la textura de la masa incrementando el fenómeno de retrogradación del almidón ocasionando que la masa sea menos cohesiva, elástica, resiliente, adhesiva y que las tortillas sean menos rollables, extensibles y se rompan más fácilmente.

Hipótesis 2. El empleo de un mejorador de textura a base de hidrocoloides y emulsificantes disminuirá la recristalización del almidón y los cambios de textura en las masas y las tortillas.

## **2.5 Materia prima.**

### **2.5.1 Masa para la elaboración de tortillas.**

Se utilizó masa fresca de maíz nixtamalizado (MFMN) proveniente de un molino cercano a la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan. 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  $87 \pm 5$  °C y 8.3 kg de cal en un tanque con aislamiento térmico y agitación, durante 38 - 45 min; la mezcla se transfiere a tinas 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 del molino (“apriete”) y la cantidad de agua agregada. Con el objetivo de tener durante el desarrollo del trabajo muestras de masa fresca de maíz nixtamalizado (MFMN) lo más homogéneas que fuera posible, se proponen las siguientes estrategias: se verificó que la cantidad de maíz en los silos del molino fuera suficiente para la experimentación, asegurando así que el maíz no fuera una fuente de variación; las muestras se tomaron siempre a las 8.30 a.m y se le solicitó al molinero masa tipo “normal”, que es la que entregan a la mayoría de las tortilladoras.

Se utilizó harina de maíz nixtamalizado (HMN) marca MASECA, para la elaboración de masa y tortillas adquirida en un establecimiento comercial en presentación de 1 kg. Se adquirió un lote de 10 kg que se almacena en el laboratorio en una gaveta a temperatura ambiente.

## **2.6 Descripción de actividades experimentales.**

### **2.6.1 Determinación de la humedad adecuada para las masas**

Se manejaron diferentes porcentajes de humedad teórica de masa (57%, 58%, 60%) observando que la masa fuera manejable, que no quede seca ni pegajosa para obtener tortillas de calidad aceptables.

Por medio de un balance de materia considerando la humedad de la masa y harina, la humedad deseada y la cantidad de masa a preparar, se calculó la cantidad de agua requerida para ajustar la humedad de la masa a los diferentes porcentajes.

### **2.6.2 Preparación de la masa.**

Primero se determinó la humedad de la harina y de la masa fresca de maíz nixtamalizado (MFMN) con una termobalanza Ohaus, modelo MB45 (Ohaus Corporation, Pine Brook, USA) a 80 °C, hasta una pérdida de peso menor a 1 mg/min. Se colocaron 5 g de muestra prensada entre dos almohadillas de asbesto y se procede a la determinación. Se preparan las masas solas y en mezcla, ajustando a un 57% de humedad. Para el mezclado se utilizó una batidora Kitchen Aid modelo K5SS (Kitchen Aid Inc. St. Joseph, USA) con mezclador tipo paleta; el agua se agregó a una temperatura de 30 °C y el mezclado se realizó al nivel de velocidad de 1 por cinco minutos. La masa obtenida se dejó reposar en bolsas de polietileno con sello por 15 min a temperatura ambiente ( $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ ). En cuanto a la mezcla de harina y masa fresca la concentración de harina es del 30% con relación a la masa fresca.

Se decidió utilizar el mejorador Tortillaid-100M<sup>®</sup> en un 0.65% con relación al peso de la masa a preparar. Este es fabricado por LALLEMAND México. S. A de C.V. a base de hidrocoloides y emulsificantes. Se adiciona directamente a la masa y se mezcla.

### **2.6.3 Validación de termopares.**

Las pruebas de precisión y linealidad se desarrollan en un sistema isotérmico a una temperatura de 92.8 °C registrando las lecturas de temperatura a intervalos iguales de tiempo (1 min), hasta obtener un mínimo de diez lecturas. Se realizan tres replicas. El termopar que presenta una mayor precisión es aquel cuyo coeficiente de variación sea menor. En el apéndice 1 se detalla el procedimiento.

La prueba de linealidad se realiza para verificar que el termopar guardará una relación lineal, sobre el intervalo de temperaturas del sistema donde se desea trabajar, con lo cual se asegura que las variaciones de temperatura realmente sean producidas por el sistema de experimentación.

La prueba de linealidad se realiza en un sistema de temperaturas descendentes, se parte de una temperatura de 92.8 °C (temperatura de ebullición del agua en Cuautitlan Izcalli Edo. México) se introducen los termopares dentro del agua y se toman los datos de temperatura en intervalos de tiempo de cada minuto hasta alcanzar 12 datos.

#### **2.6.4 Caracterización del congelador.**

Se utilizó un congelador horizontal Whirlpool® con 193 dm<sup>3</sup> de capacidad. Determinándose las diferentes temperaturas operativas, mediante el manejo del termostato, con seis niveles de variación de temperaturas. En el nivel seis alcanza una temperatura de -28 °C y en el nivel dos una temperatura de -18 °C. Estas temperaturas se emplearon en la experimentación.

#### **2.6.5 Congelación de la masa.**

La cantidad de masa que se congeló se determinó de acuerdo a lo necesario para la realización de las pruebas texturales en masa y tortilla, y considerando también un tamaño comercial que gira de acuerdo al consumidor final. El peso fue de 750 g de masa la cual se colocó en una bolsa de polietileno de baja densidad con sello hermético adecuado para congelar; la masa se distribuyó dentro de la bolsa formando un bloque con dimensiones de 26.5 cm de largo, 12.5 cm de ancho y 2.3 cm de espesor. Se colocó un termopar en el centro geométrico y otro a 0.5 cm de la superficie del bloque de masa. El bloque de masa se introdujo dentro del congelador, de tal forma que estuvo en contacto directo con la placa del mismo, el termostato se colocó en el nivel seis donde alcanza una temperatura de -28 °C. Las temperaturas se monitorea por medio de un lector de termopares cada dos minutos y cuando la temperatura del centro geométrico es de -18 °C se bajó la posición del termostato al número dos para que la masa se mantuviera por el resto del día a esta temperatura ya que las pruebas se realizaron al día siguiente.

#### **2.6.6 Recristalización**

En cuanto a la congelación con un ciclo de recristalización, se realizó el mismo procedimiento de congelación; en el momento en que la temperatura del centro geométrico fue de -18 °C el bloque de masa se sacó al exterior y se dejó que aumentara la temperatura a -15 °C; una vez que llegó a esta temperatura se volvió a introducir al congelador para que recuperara la temperatura de -18 °C, cuando llegó a esta temperatura se sacó una vez más para que subiera su temperatura a -10 °C y por último se introdujo al congelador, el termostato se colocó en la posición dos para que la masa estuviera a una temperatura de -18 °C por el resto del día.

### **2.6.7 Descongelación de la masa congelada.**

Se empleó un horno de microondas Mabe® modelo MH1400K 002, 1.75 Kw, 120/60: VAC/Hz. Se utilizó la opción *auto defrost* considerando el peso de masa a descongelar, volteando el producto cada vez que indica el horno de microondas. Este procedimiento se realiza dos veces hasta completar la descongelación, la masa se amasa nuevamente con la finalidad de que el calor aplicado sea homogéneo, hasta obtener una temperatura de 25 °C.

### **2.6.8 Determinación de temperatura para la cocción de la tortilla en el comal.**

De acuerdo a la bibliografía para la cocción de tortillas se manejan temperaturas de 180 °C a 320 °C y diferentes tiempos en tres o cuatro etapas de cocción. Por lo que se cuecen las tortillas a temperaturas de (180, 230, 280) °C con diferentes tiempos de cocción. Se observa que a una temperatura de 180 °C la tortilla no se cuece adecuadamente y necesita tiempos más largos y esto provoca deshidratación. Con la temperatura de  $280 \pm 10$  °C con tres tiempos de 15-30-20s la tortilla se cuece sin quemaduras, ni queda cruda, tomando en cuenta la formación de “ampolla” como indicador del fin de la cocción.

### **2.6.9 Preparación de tortillas.**

Se pesan porciones de masa de  $35g \pm 1$  g las cuales son depositadas en una bolsa de plástico con cierre hermético hasta el momento de su utilización. Cada porción se moldea manualmente en forma esférica y se prensa entre dos películas de polietileno con una prensa manual para tortillas. Inmediatamente después la tortilla se somete a cocción en un comal de teflón a una temperatura de  $280 \pm 10$  °C, en tres tiempos: 15s, 30s y 20s al término de cada uno de estos tiempos se voltea la tortilla para la cocción por ambos lados; uno de los indicadores del fin del proceso de cocción es la formación de ampolla. La temperatura del comal y las tortillas son medidas con un termómetro láser marca Raytec ®, modelo MT (Raytec China Company, Beijing China). Al retirar las tortillas del comal se colocan sobre un mantel de tela tapándolas perfectamente para que no se endurezcan hasta que alcanzan la temperatura ambiente  $25 \pm 2$  °C.

### **2.6.10 Evaluación de las propiedades de textura en masa.**

Se utiliza un Texturómetro Texture Analyser® modelo TA XT2 con celda de carga de 25 kg (Stable Micro Systems, Godalming, Inglaterra) y las pruebas se efectúan a  $25 \pm 2$  °C.

#### **a) Análisis de perfil de textura**

Para el perfil de textura se utilizan muestras cilíndricas preparadas como sigue: Un molde de acrílico de forma cilíndrica con dimensiones internas de 37.1 mm de diámetro y 24.1 mm de altura, se lubrica en su interior con aceite vegetal y se coloca sobre una película de polietileno. Se pesaron 50 g de masa, con la que manualmente se forma un cilindro que se introduce en el molde de acrílico, se presiona colocando encima una placa de acrílico y una pesa de 5 Kg durante dos minutos para estandarizar el empaquetado de la masa en el molde y evitar espacios de aire. El exceso de masa de la parte superior del molde se retira con una espátula de acero inoxidable. Se saca el cilindro de masa del molde y se coloca dentro de una bolsa de polietileno con cierre hermético, donde se deja reposar a temperatura ambiente durante 15 min permitiendo que se relaje después de la manipulación.

Para la prueba de perfil de textura de masa el dispositivo utilizado es una placa de acero inoxidable de 7 cm de diámetro lubricada con aceite vegetal, con la finalidad de evitar el efecto de la adherencia de la muestra al dispositivo. Las muestras se someten a dos ciclos de compresión, con una deformación relativa aparente de 0.43 (10.5 mm de compresión) con relación a la altura original, a una velocidad del cabezal de  $1 \text{ mm s}^{-1}$  teniendo un tiempo de espera entre los dos ciclos de 5s. Del Análisis de Perfil de Textura se extrae la curva fuerza-tiempo (Figura 5).

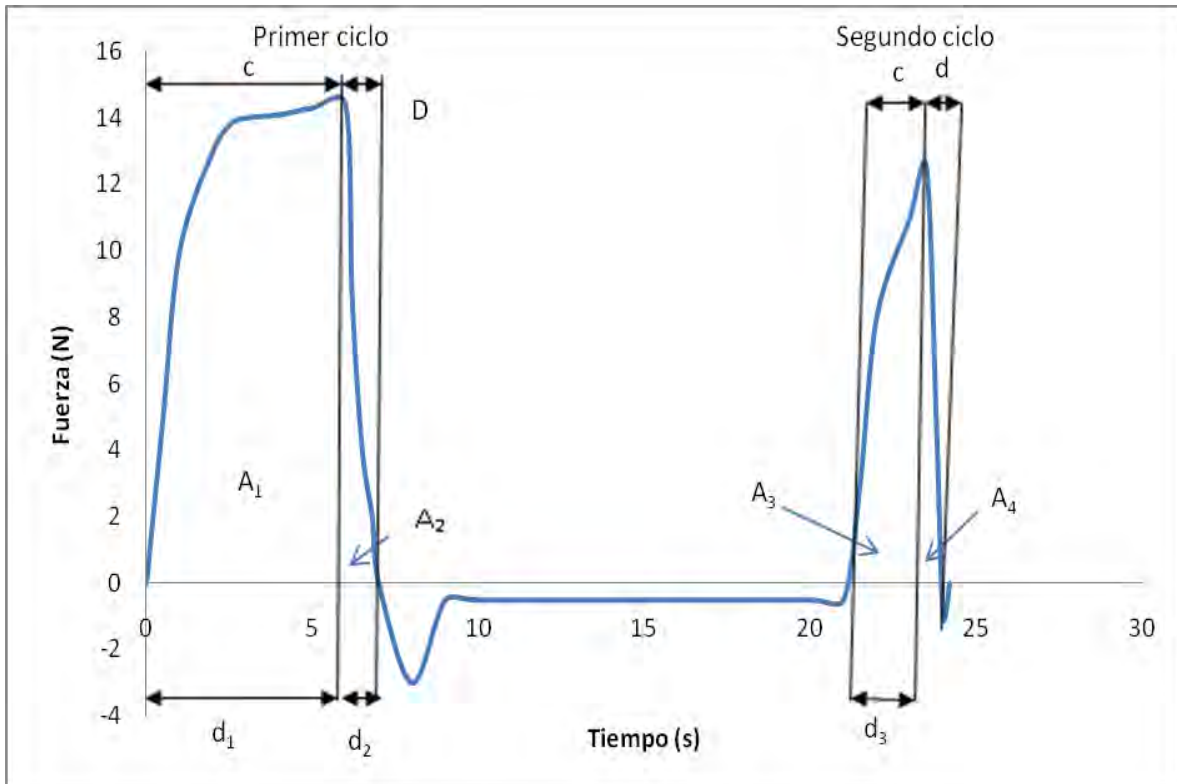


Figura 5. Curva modelo del perfil de textura.

De la curva fuerza-tiempo (Figura 5) se calculan los parámetros que a continuación se definen:

Cohesividad (C). Se define como la resistencia de los enlaces internos que forman el cuerpo del producto. Se calcula como el área total bajo la curva del segundo ciclo de compresión ( $A_3+A_4$ ) sobre el área total bajo la curva en el primer ciclo ( $A_1+A_2$ ).

$$C = \frac{A_3 + A_4}{A_1 + A_2} \quad \text{Ecuación (1)}$$

$$C = \frac{A_3 + A_4}{A_1 + A_2} = \frac{A_3}{A_1}$$

Resiliencia (R). Se define como la capacidad de un cuerpo de almacenar energía elásticamente. Se calcula con el área bajo la curva en la descompresión del primer ciclo ( $A_2$ ) sobre el área bajo la curva en la compresión del mismo ( $A_1$ ).

$$R = \frac{A_2}{A_1} \quad \text{Ecuación (2)}$$



Índice de recuperación elástica instantánea (IREI): Es un índice de las características elásticas ideales de un material (recuperación instantánea) en relación con la distancia comprimida. Se calcula como la distancia recuperada por la muestra durante la descompresión del primer ciclo ( $d_2$ ) sobre la distancia comprimida ( $d_1$ ).

$$IREI = \frac{d_2}{d_1} \quad \text{Ecuación (3)}$$

Índice de recuperación elástica total (IRET). Es un índice de recuperación elástica total de material, incluyendo la recuperación elástica ideal o instantánea y la recuperación retardada por el comportamiento viscoso. Se calcula como la distancia recuperada por la muestra en el tiempo transcurrido desde el término de la compresión en el primer ciclo ( $d_2$ ) y el inicio del segundo en relación con la distancia comprimida ( $d_1$ ).

$$IRET = \frac{d_2}{d_1} \quad \text{Ecuación (4)}$$

Dureza (D) Se define como la fuerza necesaria para alcanzar una deformación dada y se obtiene como la fuerza máxima en el primer ciclo de compresión (N).

Gomosidad (G): Se calcula con el producto de la dureza por la cohesividad (N). Energía requerida para desintegrar un alimento semisólido a un estado listo para deglutirlo (combinación de baja dureza y alta cohesividad) (Gasca y Casas, 2007).

$$G = DC \quad \text{Ecuación (5)}$$

### **b) Adhesividad**

Para la prueba de adhesividad la muestra se prepara como a continuación se describe: Se utiliza un molde de acrílico con forma de prisma rectangular con lados de 9.24 y 10.66 cm y altura de 9.5 cm, con un hueco central de 7.55 cm de diámetro. Esta placa descansa sobre una base de 11.9 cm de lado y 9.5 mm de altura. En el centro de la base se colocan 120 g de masa. El molde de acrílico se introduce sobre la masa aplicando presión manualmente hasta que el exceso de masa fluyera a través del orificio superior. Con una espátula se retira el exceso de masa a manera de dejar una superficie fresca y se coloca todo el dispositivo (base, masa y

placa con orificio) en la base del texturómetro para efectuar inmediatamente la prueba con las siguientes condiciones. El equipo se programa en la opción de adhesividad; un cilindro de acrílico de 2 pulgadas de diámetro hace contacto con la muestra con una fuerza de 5 g a una velocidad de  $5 \text{ mm s}^{-1}$  y se aplica una fuerza de compresión de 700 g durante 5s, con el fin de que la masa se adhiera a la superficie del dispositivo; inmediatamente después el dispositivo se retira con una velocidad de  $5 \text{ mm s}^{-1}$  hasta una distancia de 5 mm, despegándose de la superficie de la masa.

De la prueba de adhesividad se extrae la curva fuerza-tiempo (Figura 6) de la cual se obtienen los siguientes parámetros:

Adhesividad (Ad): área bajo la curva desde el inicio de la retirada del dispositivo hasta que la fuerza llega a cero o se hace constante y representa el trabajo necesario para que el dispositivo se despegue totalmente de la masa (N.s).

Trabajo adhesivo (Ta): Es el área bajo la curva positiva desde que inicia la retirada del dispositivo hasta antes del pico máximo o la fuerza máxima (N.s).

Trabajo cohesivo (Tc): Es el área bajo la curva positiva desde la fuerza máxima hasta que la fuerza llegue a cero (N.s).

Estiramiento (E): Representa la distancia entre el inicio de la retirada del dispositivo y de la descendencia de la fuerza a cero (mm).

Fuerza adhesiva (Fa): Representa la fuerza necesaria para la separación del dispositivo de la masa y se calcula como la fuerza máxima (N).

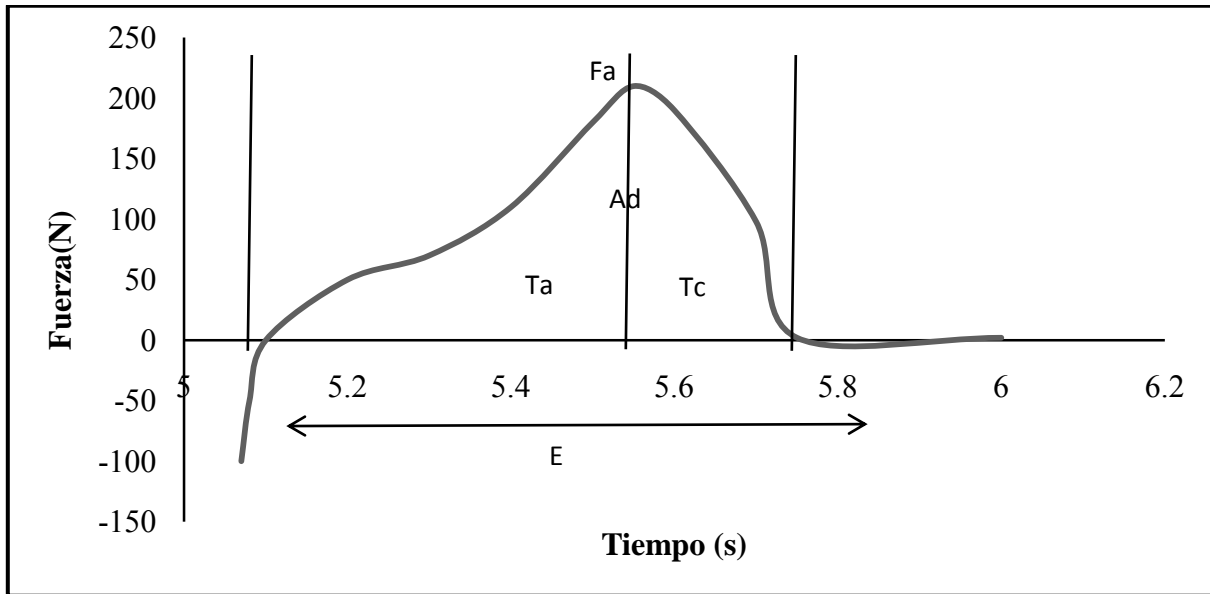


Figura 6. Curva modelo de la prueba de adhesividad.

### 2.6.11 Evaluación de propiedades texturales en tortilla.

Se utiliza el texturómetro Texture Analyser®, modelo TA XT2 con celda de carga de 25 kg, realizando las pruebas de rollabilidad, extensibilidad y tensión en dos dimensiones como se describen a continuación. Las pruebas se efectúan a  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ .

#### a) Rollabilidad.

Para la prueba de rollabilidad se utiliza el dispositivo del mismo nombre que consta de una base sobre la cual descansa un rodillo giratorio en el que se fija la tortilla por medio de una liga. El cilindro se une al brazo móvil del texturómetro por medio de un hilo. Al subir el brazo del texturómetro, hace girar el rodillo lo que ocasiona que la tortilla sujeta a éste se enrolle. Antes de efectuar la prueba se coloca el dispositivo sobre la plataforma del texturómetro y el hilo se sujeta al brazo móvil del mismo con un aditamento para este fin. El brazo móvil se calibra con la base, de manera que estén separados 170 mm con lo que el hilo queda tenso y la liga que sujeta a la tortilla al rodillo queda hacia arriba. El texturómetro se opera bajo el modo de tensión. Se sujeta la tortilla con la liga y el brazo sube a una velocidad de  $3 \text{ mm s}^{-1}$  una distancia de 50 mm enrollando la tortilla sobre el rodillo. Se obtiene una curva fuerza-tiempo (Figura 7) de la cual se obtienen los siguientes parámetros:

Fuerza máxima promedio: Es el promedio de diez fuerzas máximas de la curva (N). Nos indica la fuerza necesaria para enrollar una tortilla.

Trabajo total (Tt): Es el área bajo la curva de las diez fuerzas máximas (N.s). Es el trabajo que se aplica para enrollar una tortilla (Gasca y col., 2007).

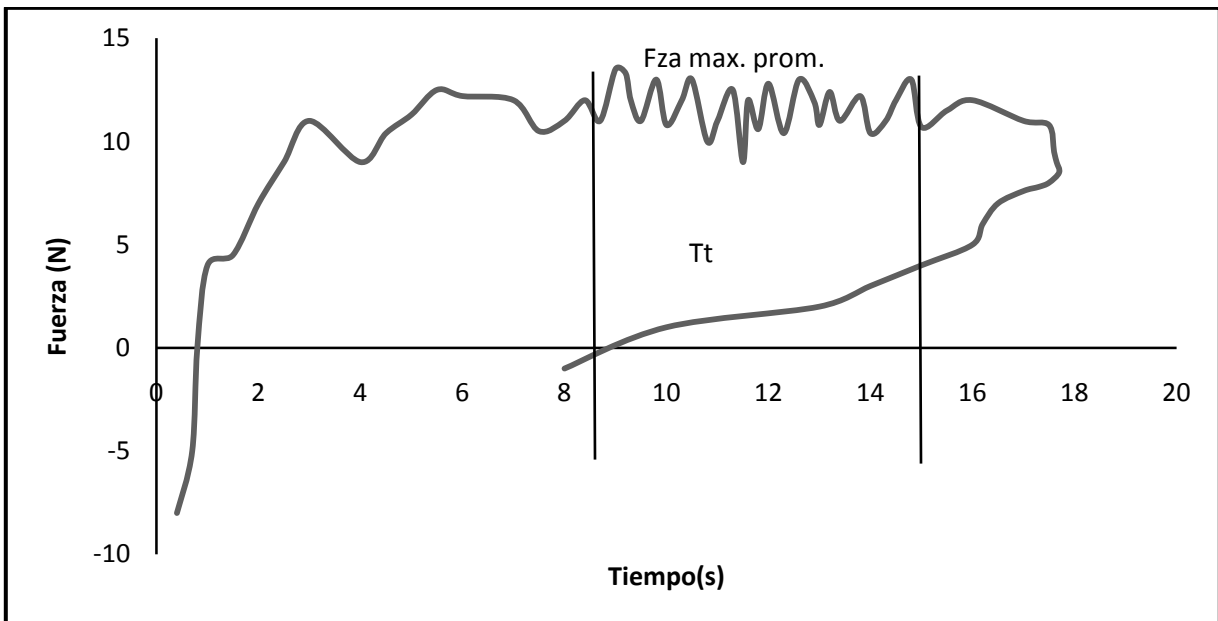


Figura 7. Curva modelo de la prueba de rollabilidad.

### b) Extensibilidad.

La prueba de extensibilidad en dos dimensiones consiste en lo siguiente: El dispositivo de extensibilidad consta de una base de acero inoxidable de 9.0 cm de altura 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 inserta la tortilla de manera que queda tensa. Se coloca sobre ella un marco que tiene también un orificio de 6 cm de diámetro y se fija a los tornillos por medio de unas tuercas para mantener la tortilla sin movimiento. De esta forma queda expuesta para la prueba la parte central de la tortilla fija y tensa. El texturómetro se opera en el modo de compresión y un cilindro de acrílico de 18 mm de diámetro comprime hasta una distancia de 20 mm a una velocidad de  $1.7 \text{ mm s}^{-1}$ . Durante su recorrido, el cilindro extiende la tortilla hasta su ruptura. Se obtiene una curva fuerza-tiempo (Figura 8) que presenta un pico que corresponde a la fuerza y distancia en que la tortilla se rompe en un respectivo tiempo y se

reporta como fuerza de extensibilidad ( $F_e$ ) (N) y distancia de extensibilidad ( $De$ ) (mm) respectivamente; se calcula también el trabajo de extensión ( $Te$ ) (N.s) que es el área bajo la curva desde que empieza a extender hasta su ruptura de la tortilla.

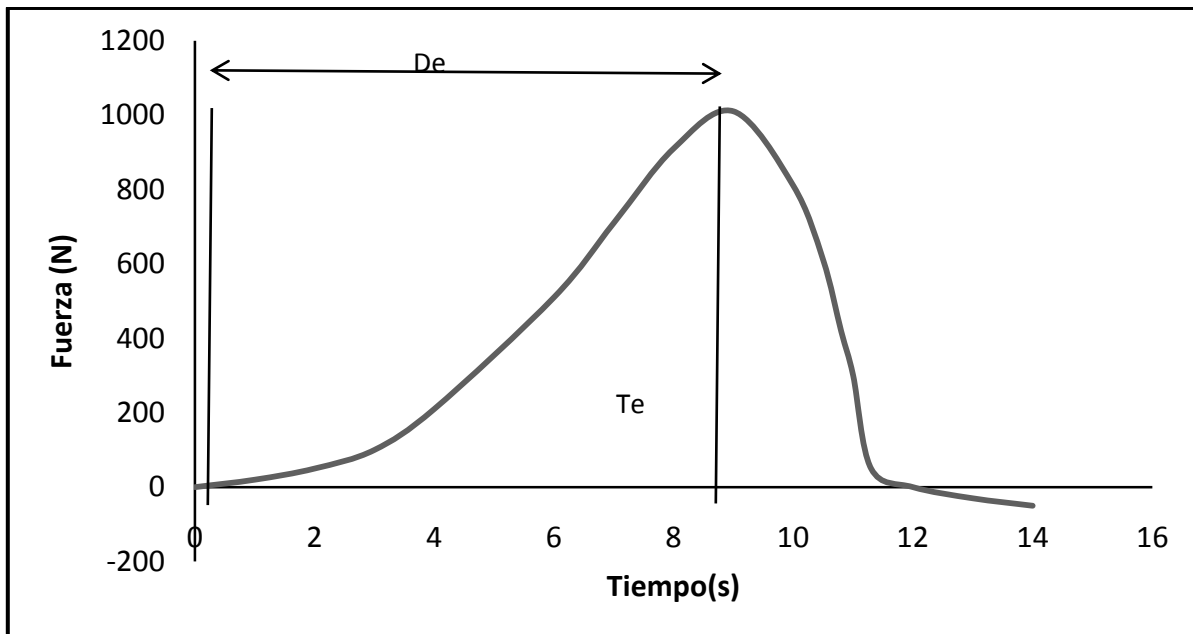


Figura 8. Curva modelo de la prueba de extensibilidad.

**c) Tensión.**

La prueba de tensión consiste en someter una tira de tortilla, sujetándola de ambos extremos a abrazaderas, hasta que se rompa. Una abrazadera es sujeta al brazo del texturómetro y la otra a la plataforma. Las abrazaderas superior e inferior son alineadas y se separan a una distancia de 30 mm. Se cortan tiras del centro de la tortilla, con dimensiones de 7 cm por 3.3 cm las cuales se ponen entre las abrazaderas alineadas verticalmente apretando moderadamente los tortillos para evitar romper la tira.

De la prueba de tensión se extrae la curva fuerza-tiempo (Figura 9) de la que se obtienen los siguientes parámetros.

Fuerza de ruptura ( $Fr$ ): Representa la fuerza max. necesaria para que la tortilla se rompa (N).

Trabajo de ruptura ( $Tr$ ): Es el área bajo la curva desde que empieza a romper hasta su ruptura total de la tortilla (N.s).

Distancia de ruptura (Dr): Representa la distancia entre el inicio de la retirada del dispositivo y la fuerza máxima (mm).

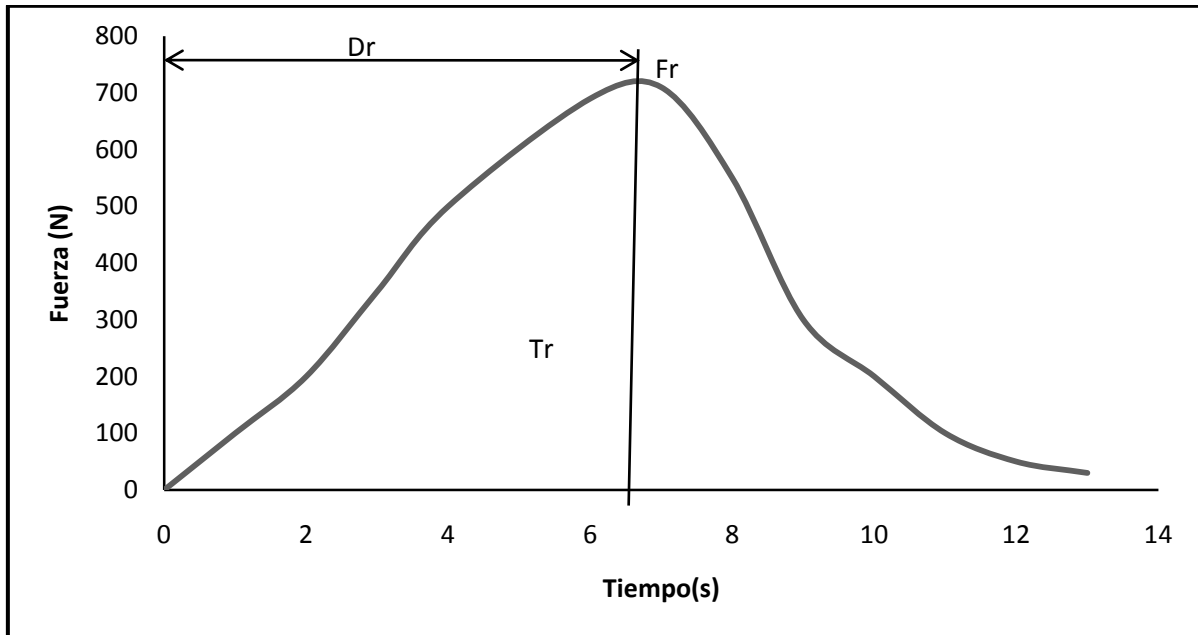


Figura 9. Curva modelo de la prueba de tensión.

### 2.6.12 Análisis de datos.

Todas las pruebas se realizan por triplicado y se calcula el promedio, desviación estándar y coeficiente de variación (apéndice 3). A estos datos se les aplica un análisis de varianza (ANOVA) de tres vías con un modelo general lineal teniendo como variables el tipo de masa, aditivo y proceso, empleando el programa MINITAB<sup>(P)</sup> 14 Release.

El tipo de masa tiene como niveles de variación la masa fresca de maíz nixtamalizado (MFMN), masa de harina de maíz nixtamalizado (MHMN) y la mezcla de estas dos con un 30% de HMN (MMMN), en el aditivo es sin y con mejorador y en el proceso es en fresco, congelado y con ciclo de recristalización. Se hacen las diferentes interacciones de tipo de masa-proceso, tipo de masa-aditivo y aditivo-proceso. Cuando hay diferencias significativas con un nivel de  $\alpha = 0.05$  se aplica la prueba de Tukey.

### CAPITULO 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

El porcentaje de humedad seleccionado fue del 57%, ya que la masa presentó las características adecuadas para la elaboración de tortillas. El mejorador Tortillaid-100M® se utilizó en un 0.65% con relación al peso de la masa a preparar como porcentaje intermedio. Las masas se congelan a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  con una temperatura del medio de  $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , la descongelación se realizó con horno de microondas siendo un método rápido y el más empleado por la gente. Las tortillas se cuecen a  $280 \pm 10^{\circ}\text{C}$  en tres tiempos de 15-30-20s observando la formación de “ampolla” como indicador del fin de la cocción.

A continuación se muestran los resultados obtenidos de la congelación con y sin ciclo de recristalización de los tres tipos de masas de maíz nixtamalizado con y sin mejorador.

#### 3.1 Congelación de la masa.

La serie de datos corregidos con respecto al termopar patrón de la congelación y ciclo de recristalización de los diferentes tipos de masa, así como los datos de la validación de los termopares se encuentran en el apéndice 2. Con estos datos se elaboraron las siguientes curvas de congelación.

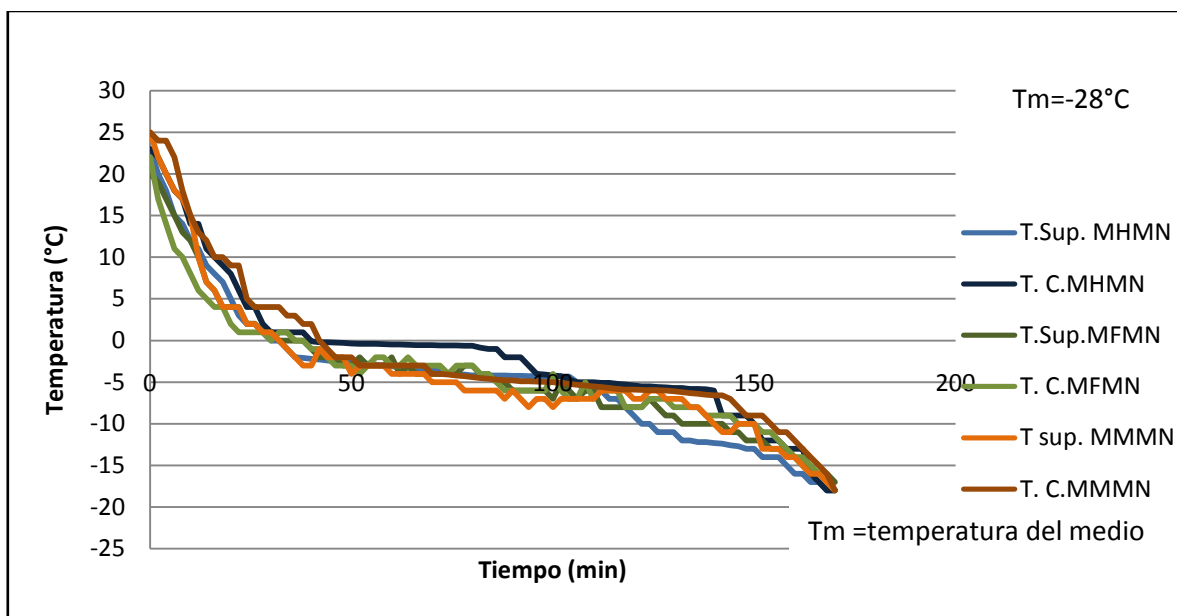


Figura 10. Curvas de congelación de la superficie y centro geométrico de los tres tipos de masa.

Tabla 2. Tiempos y velocidades de congelación de las masas a -18 °C.

| Tiempo de congelación (h)       | MFMN   |            | MHMN   |            | MMMN   |            |
|---------------------------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|
|                                 | Centro | Superficie | Centro | Superficie | Centro | Superficie |
|                                 | 2.766  | 2.733      | 2.833  | 2.8        | 2.8    | 2.766      |
| Velocidad de congelación (cm/h) | 0.4157 | 0.4207     | 0.4059 | 0.4107     | 0.4107 | 0.4157     |

De acuerdo con la Figura 10 y la tabla 3 se observa que la congelación se va dando de la superficie al centro geométrico del bloque de masa. La MHMN requiere mayor tiempo para su congelación, seguida de la MMMN y por último la MFMN. A pesar de que cuentan con la misma humedad si hay diferencias, lo que se atribuye principalmente al tamaño de partícula de la MHMN ya que frenan el proceso de cristalización, las moléculas de agua ligeramente desordenadas no se desplazan libremente hacia la malla cristalina. Se tienen velocidades de congelación lenta en los tres tipos de masas

### 3.2 Congelación de la masa con ciclo de recrystalización

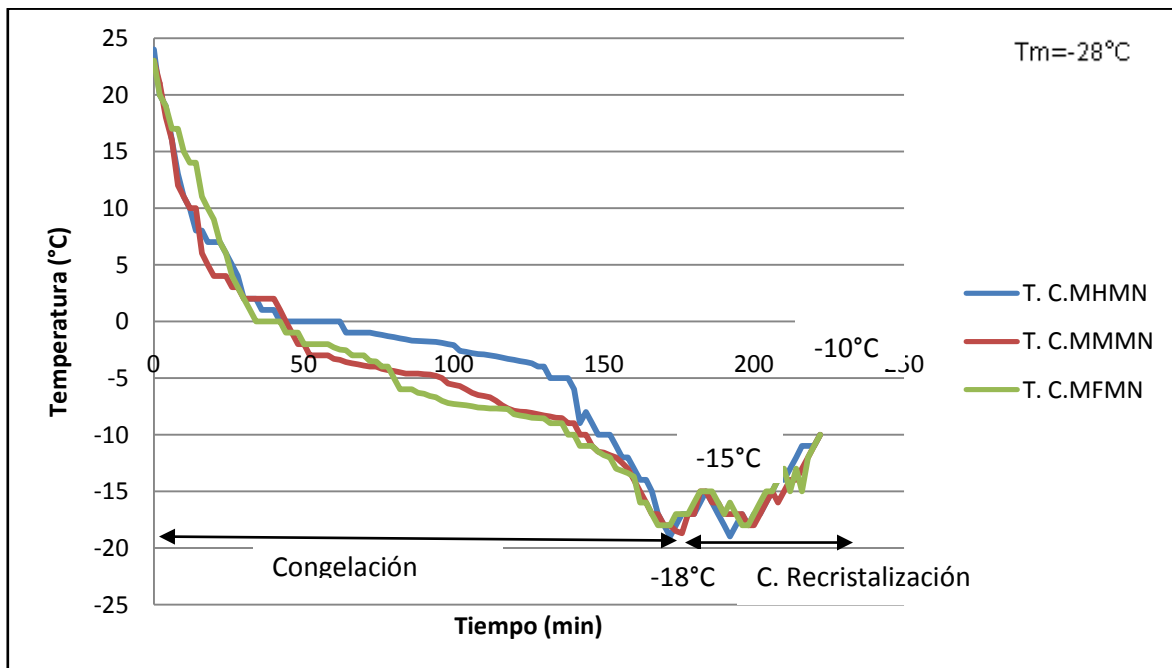


Figura 11. Curvas de congelación con ciclo de recrystalización del centro geométrico de los tres tipos de masa.



El ciclo de recristalización ocurre en un tiempo de 222 min, son 170 min en que se congela, 14min de -18 °C a -15 °C, 14 min de -15 °C a -18 °C y 24 min de -18 °C a -10 °C.

En la Figura 11 se muestra el comportamiento de las temperaturas al aplicar el ciclo de recristalización. De acuerdo con lo que dicen Martino y col. (1994), Desrosier y Tressler, (1994) y Felicidad y col (2008), una vez congelado el producto cuando se saca al exterior la entrada de calor sube la temperatura del congelado de -18 °C a -15 °C en el centro térmico, una parte del hielo vuelve al estado líquido y el tamaño de los cristales es ligeramente diferente y cuando se vuelve a introducir al congelador se recuperan los -18°C por lo que el agua fundida vuelve a congelar, pero lo hace depositándose preferentemente en los microcristales mas grandes favoreciendo una recomposición masa-volumen. Como se induce otra entrada de calor de -18 °C hasta llegar a una temperatura de -10 °C en el centro geométrico, se llega a una situación de monocristales grandes por desaparición de los microcristales más pequeños afectando las propiedades texturales de la masa. Como se aumenta la presión de vapor en el interior, en el exterior la presión es más baja y tiende a equilibrarse extrayendo agua de las células dando como resultado una fuerte deshidratación.

### **3.3 Evaluación de propiedades texturales en masa y tortilla.**

#### **3.3.1 Propiedades texturales en la masa**

##### **a) Análisis de perfil de textura (TPA)**

En la Figura 12 se muestra el efecto del mejorador en los tres tipos de masa sin congelar. Se observa que sin mejorador la MHMN es la más dura seguida de la mezcla y la MFMN es la más suave; lo anterior coincide con lo observado por Gasca y Casas (2007). El mejorador disminuye la dureza en los tres tipos de masa.

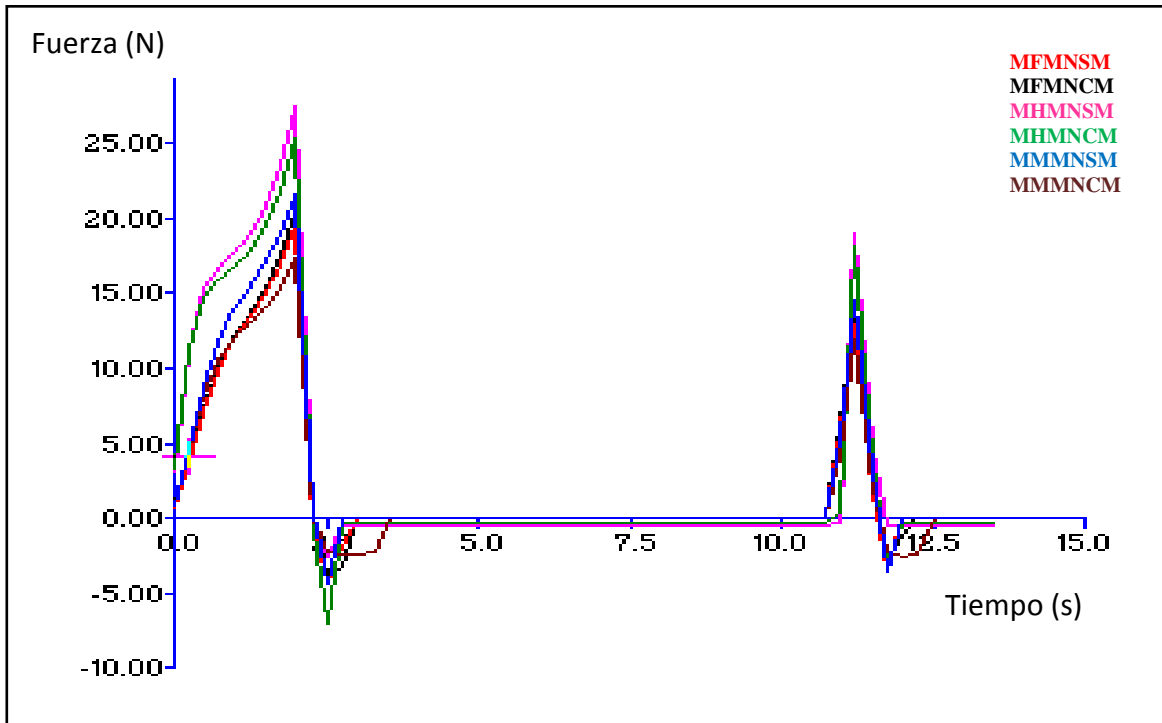


Figura 12. Efecto del mejorador en las masas sin congelar.

En la Figura 13 se observa que para la MFMN la congelación y recrystalización aumentan la dureza. El uso del mejorador atenúa el efecto de la recrystalización. En la masa fresca no se observa efecto del mejorador.

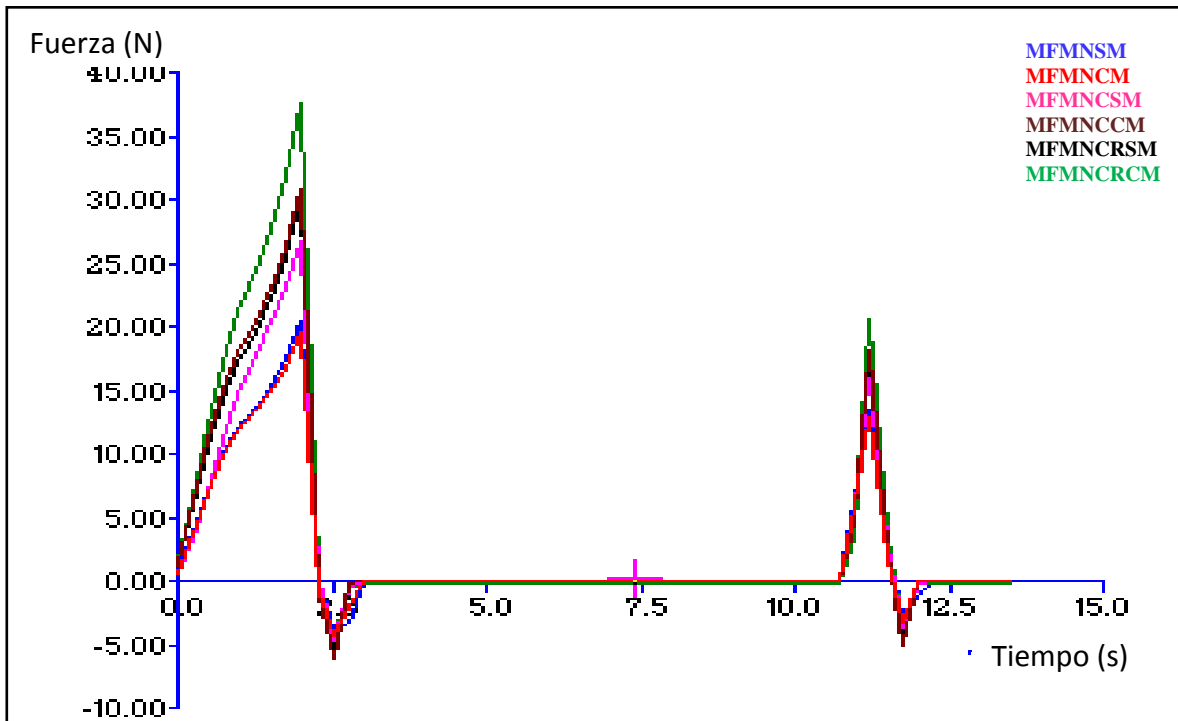


Figura 13. Efecto del proceso y el mejorador en la MFMN.

Con respecto a la MHMN (Figura 14) también es evidente el incremento de dureza por efecto de la congelación y recristalización así como la disminución de la dureza con el empleo del mejorador.

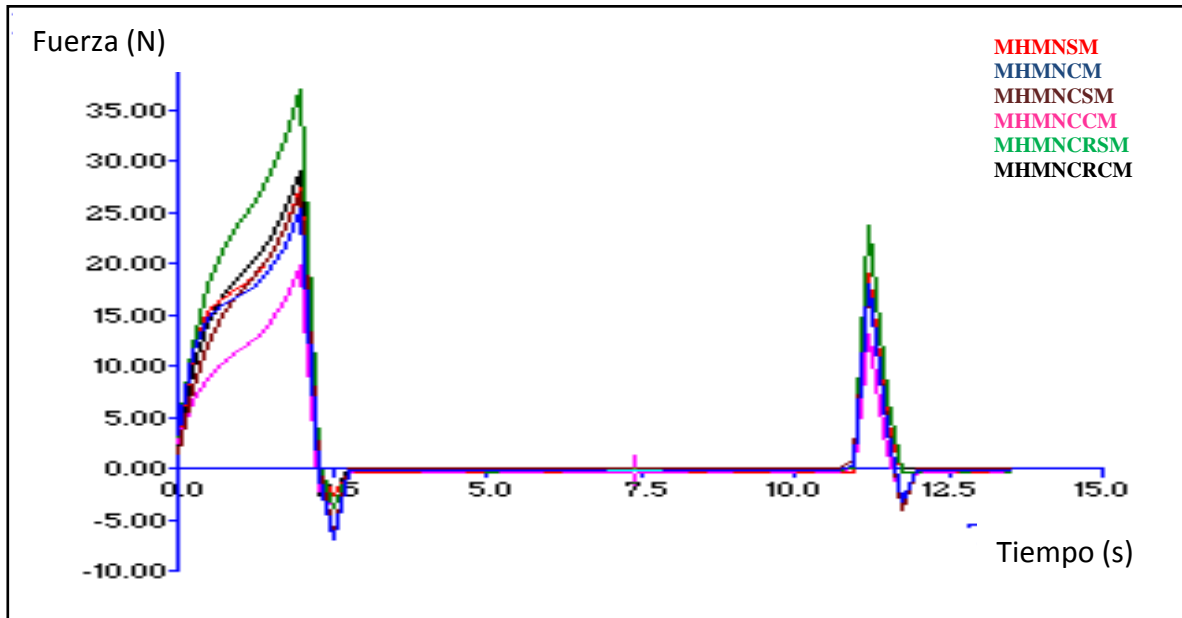


Figura 14. Efecto del proceso y el mejorador en la MHMN.

En la mezcla, el mejorador parece no tener efecto en disminuir la dureza en la masa sometida a congelación y recristalización.

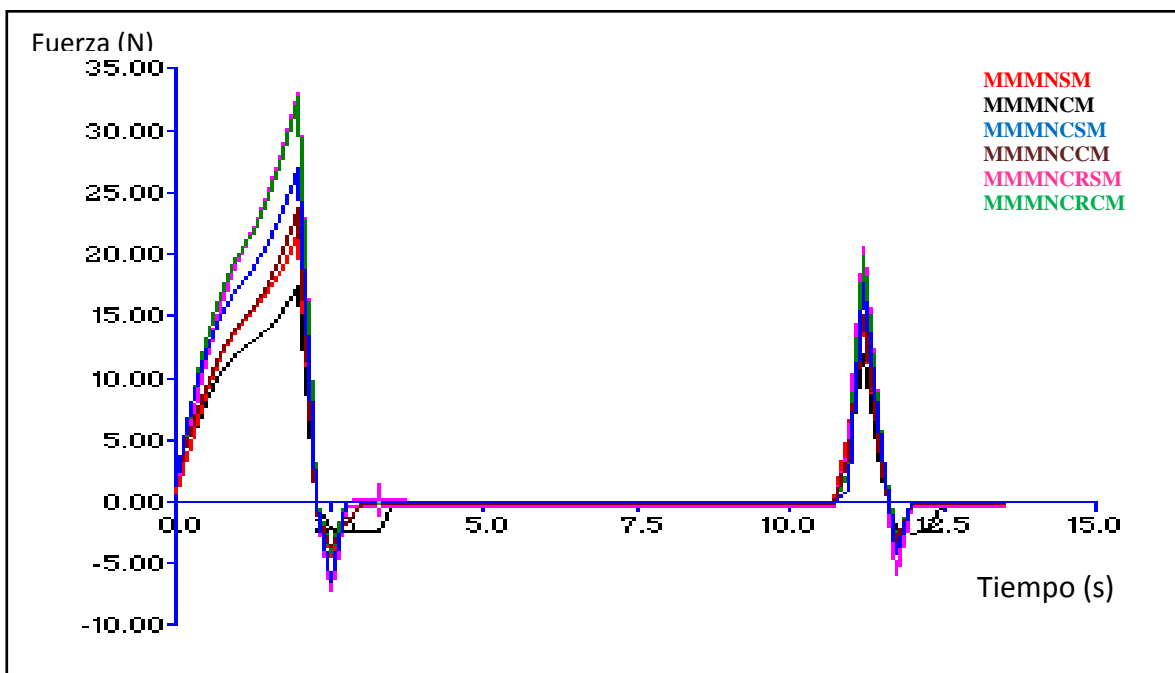


Figura 15. Efecto del proceso y el mejorador en la MMMN.

En la Tabla 3 se muestran los valores promedio de los parámetros de la prueba de perfil de textura, obtenidos para el tipo de masa, el aditivo y el proceso. Para todos los parámetros excepto la elasticidad instantánea, las masas resultaron estadísticamente diferentes, siendo la MFMN más suave, cohesiva, gomosa y con la mayor elasticidad total. La MHMN presentó los menores valores de estos parámetros. Arámbula y col. (2001) mencionan que en el caso de la elaboración de HMN el manejo de temperaturas y el tiempo de cocción del maíz causa insuficiente absorción de agua, lo que limita su redistribución durante el remojo y restringe el hinchamiento de los gránulos de almidón comparando con lo que ocurre en la masa fresca. Durante la rehidratación para la elaboración de MHMN los gránulos de almidón parcialmente gelatinizados proporcionan núcleos para la recrystalización y retrogradación, lo cual disminuye la cohesividad, la gomosidad y la elasticidad. Con esto podemos reafirmar lo que dice Gómez y col (1991) que la MHMN es menos cohesiva que la MFMN.

Tabla 3. Propiedades texturales de masa bajo la prueba de perfil de textura. Promedios calculados por tipo de masa, aditivo y proceso.

| TPA                 | Dureza (N)         | Cohesividad        | Resiliencia        | Índice elástico    |                    | Gomosidad (N)      |
|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                     |                    |                    |                    | Instantáneo        | Total              |                    |
| <b>Tipo de masa</b> |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
| MFMN                | 26.30 <sup>a</sup> | 0.209 <sup>a</sup> | 0.087 <sup>a</sup> | 0.073 <sup>a</sup> | 0.253 <sup>a</sup> | 5.947 <sup>a</sup> |
| MHMN                | 29.46 <sup>b</sup> | 0.191 <sup>b</sup> | 0.082 <sup>b</sup> | 0.070 <sup>b</sup> | 0.184 <sup>b</sup> | 4.935 <sup>b</sup> |
| MMMN                | 28.55 <sup>c</sup> | 0.199 <sup>c</sup> | 0.084 <sup>c</sup> | 0.074 <sup>a</sup> | 0.210 <sup>c</sup> | 5.169 <sup>c</sup> |
| <b>Aditivo</b>      |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
| Con mejorador       | 27.42 <sup>a</sup> | 0.200 <sup>a</sup> | 0.084 <sup>a</sup> | 0.071 <sup>a</sup> | 0.214 <sup>a</sup> | 5.179 <sup>a</sup> |
| Sin mejorador       | 28.78 <sup>b</sup> | 0.200 <sup>a</sup> | 0.085 <sup>a</sup> | 0.074 <sup>b</sup> | 0.217 <sup>a</sup> | 5.521 <sup>b</sup> |
| <b>Proceso</b>      |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
| Fresco              | 22.75 <sup>a</sup> | 0.217 <sup>a</sup> | 0.082 <sup>a</sup> | 0.075 <sup>a</sup> | 0.233 <sup>a</sup> | 4.883 <sup>a</sup> |
| Congelado           | 26.37 <sup>b</sup> | 0.197 <sup>b</sup> | 0.084 <sup>b</sup> | 0.073 <sup>a</sup> | 0.211 <sup>b</sup> | 5.027 <sup>a</sup> |
| Recrystalización    | 35.18 <sup>c</sup> | 0.186 <sup>c</sup> | 0.088 <sup>c</sup> | 0.069 <sup>b</sup> | 0.203 <sup>c</sup> | 6.140 <sup>b</sup> |

*Nota: Los valores con el mismo superíndice para una misma columna, resultaron estadísticamente iguales al aplicar la prueba de Tukey con un valor de  $\alpha = 0.05$ .*

El uso del mejorador solo mostró diferencias significativas en dureza, índice de elasticidad instantánea y gomosidad disminuyendo los valores, esto se atribuye a los ingredientes del mejorador ya que contiene emulsificantes (disminuye la retrogradación del almidón) carboximetilcelulosa y otros hidrocoloides.

El tipo de proceso produjo diferencias significativas en todos los parámetros de perfil de textura. Las masas con ciclo de recristalización fueron las más duras, gomosas y resilientes y las menos cohesivas y elásticas. Esto fue ocasionado principalmente por la retrogradación del almidón ya que se forman zonas con una organización cristalina muy rígida dentro de la propia estructura del almidón y por que las masas desprenden humedad con la fluctuación de temperatura de  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , al enfriarse nuevamente se deposita en las paredes internas de la bolsa. Como se vuelve a sacar y cambia su temperatura de  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , el producto se deshidrató un poco y la humedad perdida se depositó en forma de escarcha en el envolvente. De acuerdo con Bootsrapa y col. (1999) la masa es extremadamente sensible al contenido de humedad cuando las particular están justamente llenas de agua tiene la máxima cohesividad. El índice de elasticidad instantánea y la gomosidad de las masas no presentan diferencia significativa en forma fresca o congelada.

### b) Adhesividad

En la Figura 16 se comparan las masas no congeladas y no recristalizadas. Se observa de manera general que la MFMN tiene mayor fuerza adhesiva y adhesividad, y la MHMN presenta los menores valores. Con respecto al mejorador no hay un cambio muy notorio entre curvas.

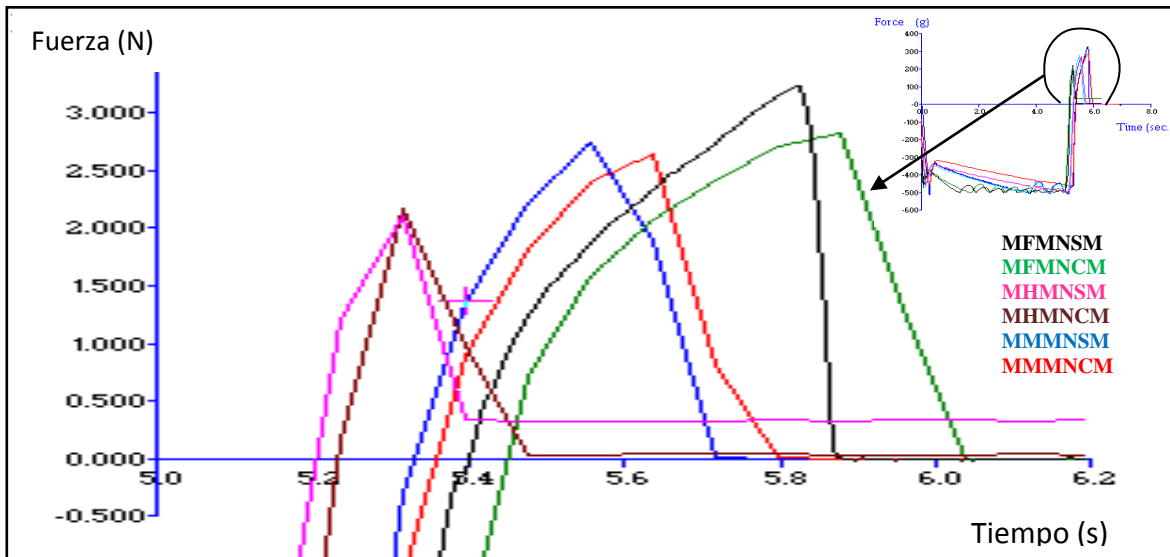


Figura 16. Efecto del mejorador en las masas sin congelar.

En las Figuras 17, 18 y 19 se puede ver que para los tres tipos de masa la congelación y recristalización disminuyen las propiedades adhesivas.

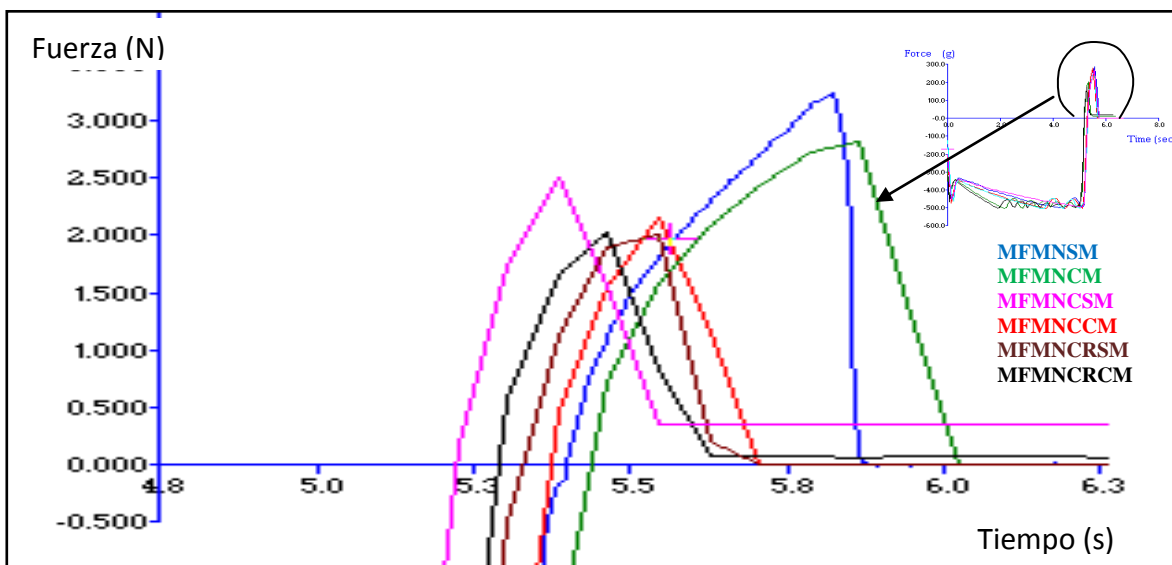


Figura 17. Efecto del proceso y mejorador en la MFMN.

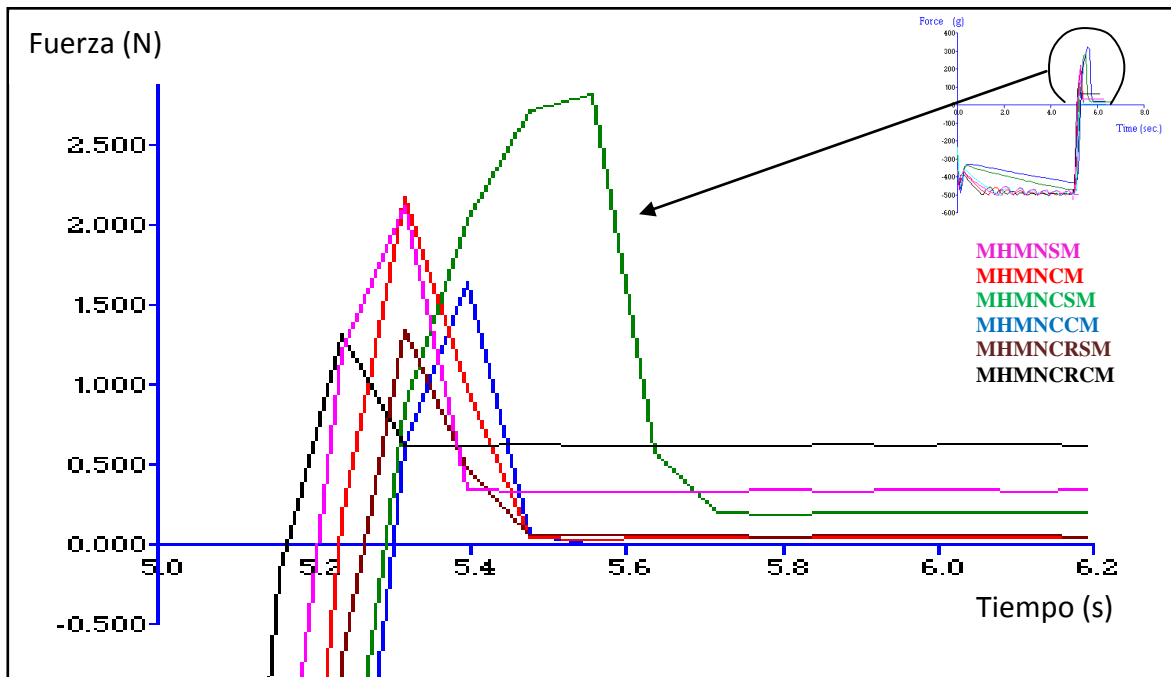


Figura 18. Efecto del proceso y el mejorador en la MHMN.

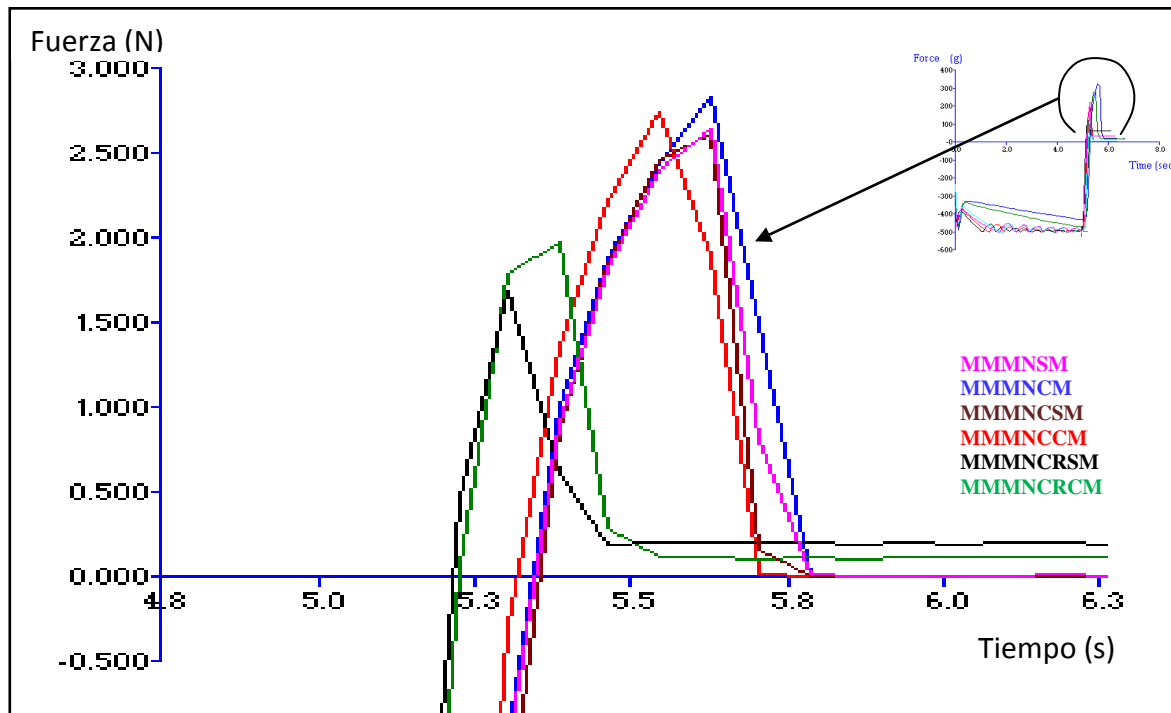


Figura 19. Efecto del proceso y el mejorador en la MMMN.

En la Tabla 4 se observa que el tipo de masa tiene efecto significativo en las propiedades adhesivas. La MFMN presenta los mayores valores de todos los parámetros, seguida de la mezcla y de la MHMN, con los menores valores. Lo anterior se atribuye a que, como

menciona Gómez y col. (1991), el rápido secado de la masa durante la elaboración del HMN proporciona una mayor gelatinización y reorientación de los polímeros de almidón, que durante el almacenamiento y rehidratación proporcionan núcleos para que exista mayor recristalización o retrogradación.

El proceso tiene efecto significativo en todos los parámetros. La congelación disminuye todas las propiedades y la recristalización lo hace aún más. Con la ruptura de la cadena del frío se llega a una situación de cristales grandes por desaparición de los cristales más pequeños, afectando la adhesividad, ya que aumenta la presión de vapor en el interior y en el exterior la presión es más baja y tiende a equilibrarse extrayendo agua de las células dando como resultado una fuerte deshidratación y de acuerdo a Ramírez-Wong y col. (1994) la adhesividad disminuye cuando la humedad se reduce. El empleo del mejorador no influyó significativamente.

Tabla 4. Propiedades texturales de masa bajo la prueba de adhesividad. Promedios calculados por tipo de masa, aditivo y proceso.

| <b>Adhesividad</b>  | <b>Fuerza adhesiva (N)</b> | <b>Trabajo adhesivo (N s)</b> | <b>Trabajo cohesivo (N s)</b> | <b>Adhesividad (N s)</b> | <b>Estiramiento (mm)</b> |
|---------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <b>Tipo de masa</b> |                            |                               |                               |                          |                          |
| MFMN                | 2.433 <sup>a</sup>         | 0.4950 <sup>a</sup>           | 0.351 <sup>a</sup>            | 0.978 <sup>a</sup>       | 1.917 <sup>a</sup>       |
| MHMN                | 1.457 <sup>b</sup>         | 0.385 <sup>b</sup>            | 0.175 <sup>b</sup>            | 0.181 <sup>b</sup>       | 1.098 <sup>b</sup>       |
| MMMN                | 2.260 <sup>c</sup>         | 0.451 <sup>c</sup>            | 0.311 <sup>c</sup>            | 0.570 <sup>c</sup>       | 1.756 <sup>a</sup>       |
| <b>Aditivo</b>      |                            |                               |                               |                          |                          |
| Con mejorador       | 2.128 <sup>a</sup>         | 0.3209 <sup>a</sup>           | 0.250 <sup>a</sup>            | 0.458 <sup>a</sup>       | 1.636 <sup>a</sup>       |
| Sin mejorador       | 1.971 <sup>a</sup>         | 0.335 <sup>a</sup>            | 0.245 <sup>a</sup>            | 0.431 <sup>a</sup>       | 1.545 <sup>a</sup>       |
| <b>Proceso</b>      |                            |                               |                               |                          |                          |
| Fresco              | 2.403 <sup>a</sup>         | 0.544 <sup>a</sup>            | 0.281 <sup>a</sup>            | 0.678 <sup>a</sup>       | 1.884 <sup>a</sup>       |
| Congelado           | 1.993 <sup>b</sup>         | 0.326 <sup>b</sup>            | 0.248 <sup>b</sup>            | 0.381 <sup>b</sup>       | 1.551 <sup>b</sup>       |
| Recristalización    | 1.753 <sup>c</sup>         | 0.106 <sup>c</sup>            | 0.213 <sup>c</sup>            | 0.275 <sup>c</sup>       | 1.336 <sup>c</sup>       |

*Nota: Los valores con el mismo superíndice para una misma columna, resultaron estadísticamente iguales al aplicar la prueba de Tukey con un valor de  $\alpha = 0.05$ .*



### 3.3.2 Propiedades texturales en tortillas.

#### a) Rollabilidad

En la Figura 20 se observa que el mejorador en los tres tipos de masa sin congelar no tiene efecto notorio. Es visible que las tortillas de MHMN necesitan menor fuerza para enrollarse. En las Figuras 21, 22 y 23 se manifiestan un incremento del trabajo total y la fuerza máxima a consecuencia de la congelación y recristalización de las diferentes masas. Sin embargo el uso del mejorador no disminuye estos parámetros, de manera significativa (Tabla 5).

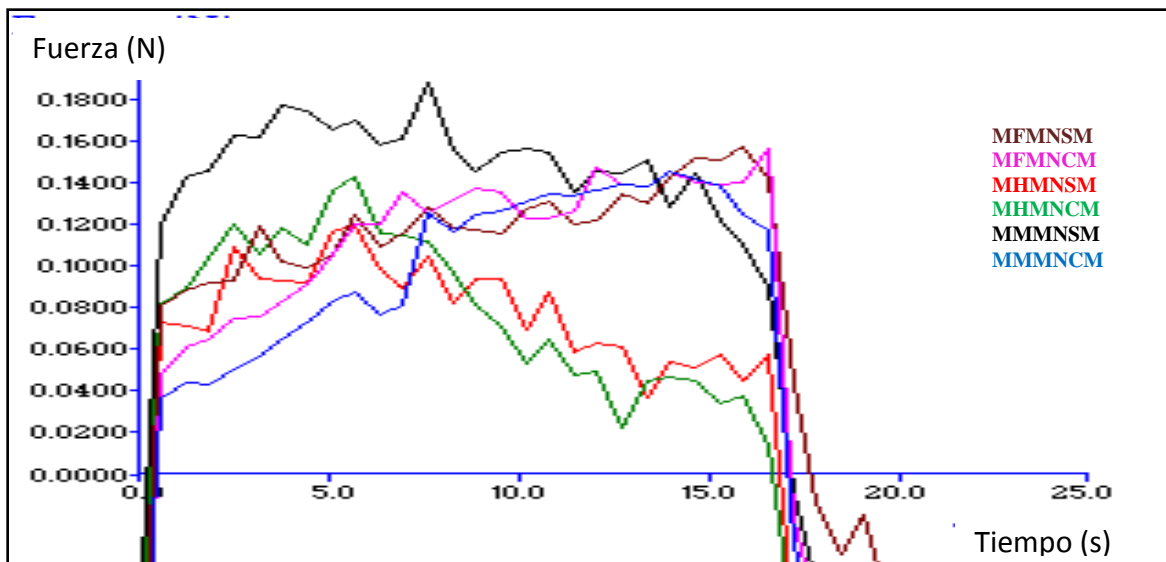


Figura 20. Efecto del mejorador en las masas sin congelar.

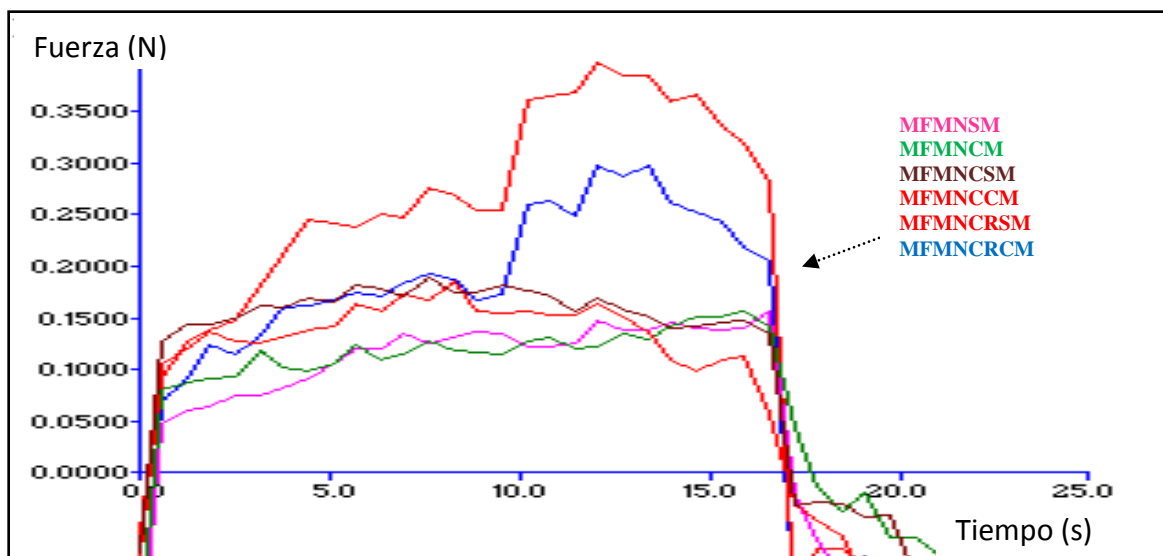


Figura 21. Efecto del proceso y el mejorador en la MFMN.

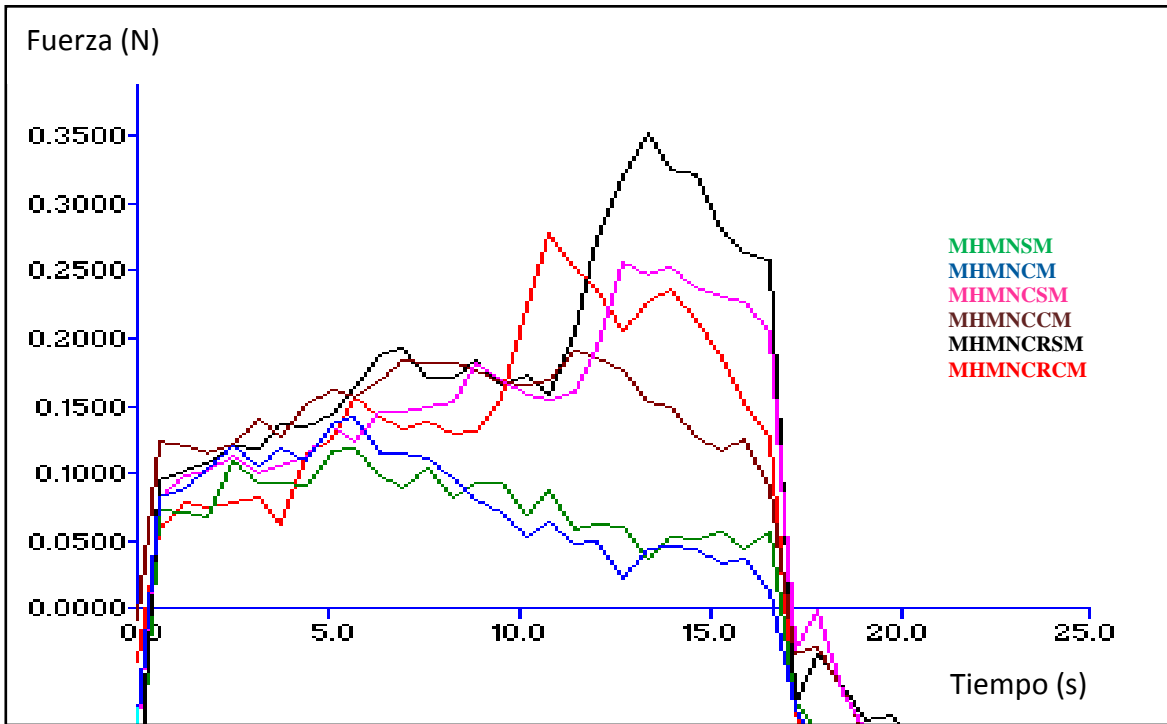


Figura 22. Efecto del proceso y el mejorador en la MHMN.

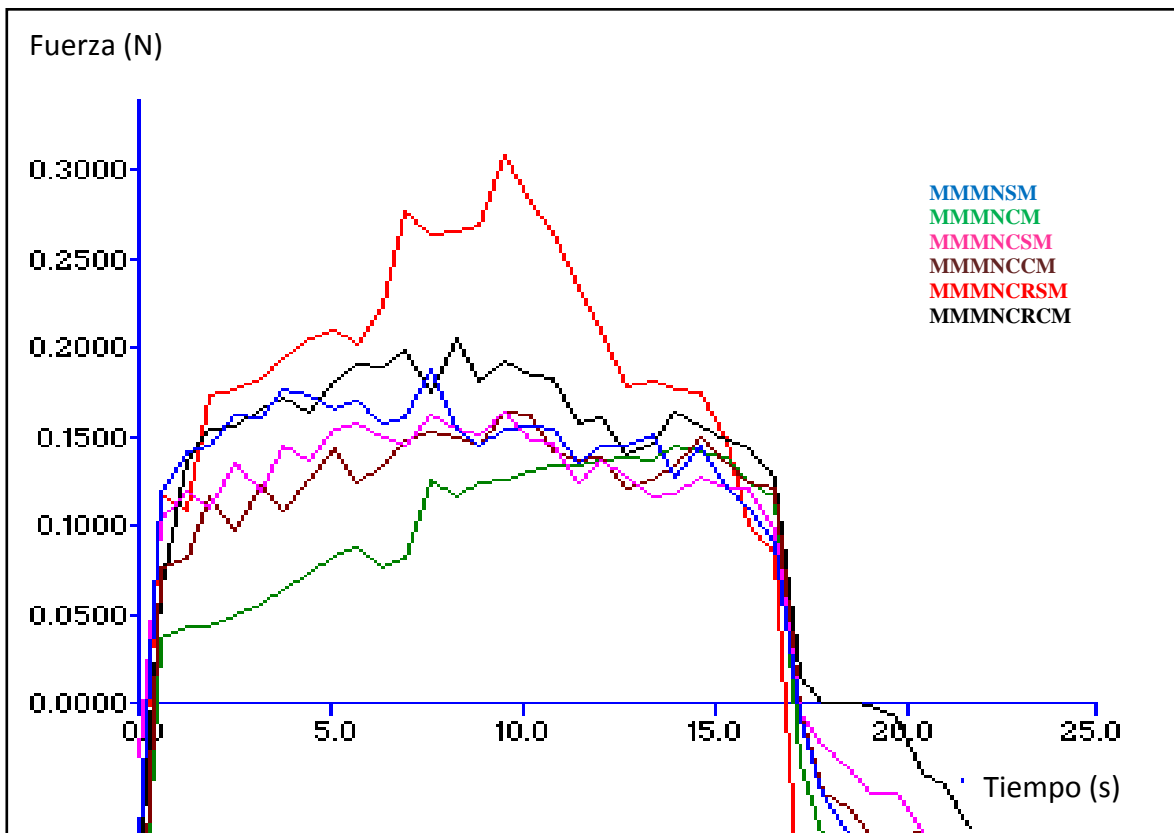


Figura 23. Efecto del proceso y el mejorador en la MMMN

Tabla 5. Propiedades texturales de tortillas bajo la prueba de rollabilidad. Promedios calculados por tipo de masa, aditivo y proceso.

| <b>Rollabilidad</b> | <b>Trabajo total<br/>(mN mm)</b> | <b>Fuerza máxima promedio<br/>(N)</b> |
|---------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| <b>Tipo de masa</b> |                                  |                                       |
| MFMN                | 1.985 <sup>a</sup>               | 0.244 <sup>a</sup>                    |
| MHMN                | 1.699 <sup>a</sup>               | 0.190 <sup>a</sup>                    |
| MMMN                | 2.002 <sup>a</sup>               | 0.224 <sup>a</sup>                    |
| <b>Aditivo</b>      |                                  |                                       |
| Con mejorador       | 1.955 <sup>a</sup>               | 0.212 <sup>a</sup>                    |
| Sin mejorador       | 1.836 <sup>a</sup>               | 0.221 <sup>a</sup>                    |
| <b>Proceso</b>      |                                  |                                       |
| Fresco              | 1.261 <sup>a</sup>               | 0.148 <sup>a</sup>                    |
| Congelado           | 2.071 <sup>b</sup>               | 0.196 <sup>b</sup>                    |
| Recristalización    | 2.354 <sup>c</sup>               | 0.305 <sup>c</sup>                    |

*Nota: Los valores con el mismo superíndice para una misma columna, resultaron estadísticamente iguales al aplicar la prueba de Tukey con un valor de  $\alpha = 0.05$ .*

En la Tabla 5 se presentan los valores promedio de los parámetros de la prueba de rollabilidad, para el tipo de masa, el aditivo y el proceso. Los diferentes tipos de masas con y sin mejorador resultaron estadísticamente iguales en todos los parámetros, se atribuye a que todas las pruebas se efectuaron en tortillas recién hechas.

Para el proceso todos los parámetros resultaron estadísticamente diferentes. La recristalización aumenta el trabajo total y la fuerza total promedio con referencia a las tortillas de masas frescas y congeladas. Las fluctuaciones de temperaturas provocan una mayor retrogradación de la fracción de amilosa las cuales formaron zonas con una organización cristalina muy rígida dentro de la propia estructura del almidón (Rendón y col. 2006) y una deshidratación de la masa, por lo que se requiere de una energía mayor para enrollar la tortilla.

**b) Extensibilidad**

En la Figura 24 se puede notar que las tortillas de MFMN sin mejorador tienen mayor fuerza extensiva y distancia de extensibilidad seguida de la mezcla y la MHMN.

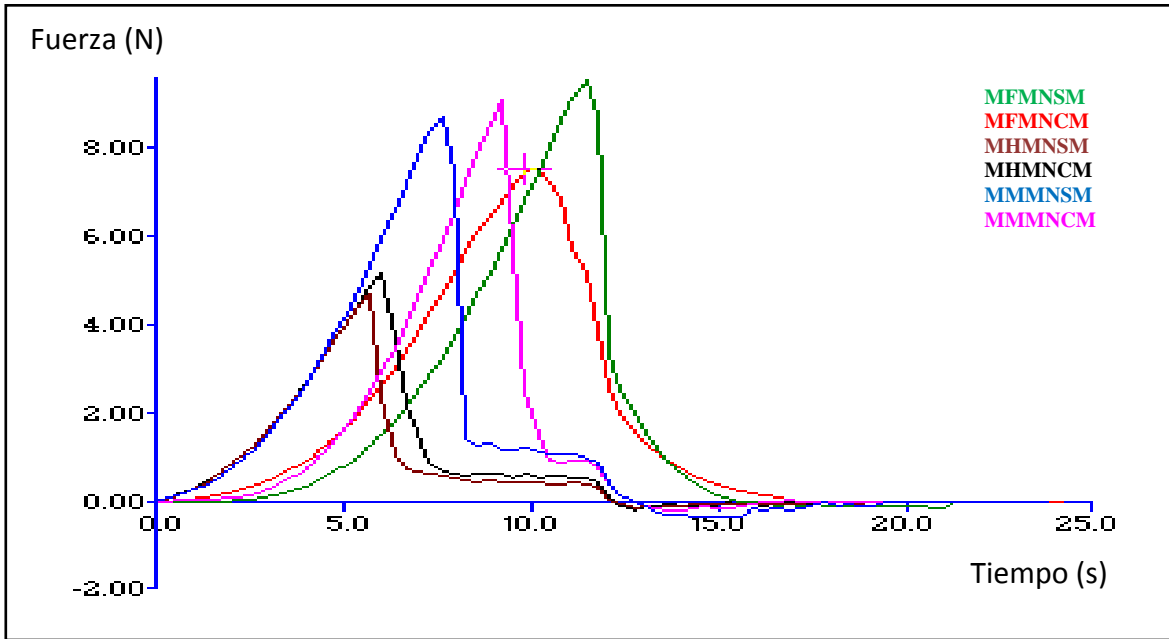


Figura 24. Efecto del mejorador en las masas sin congelar.

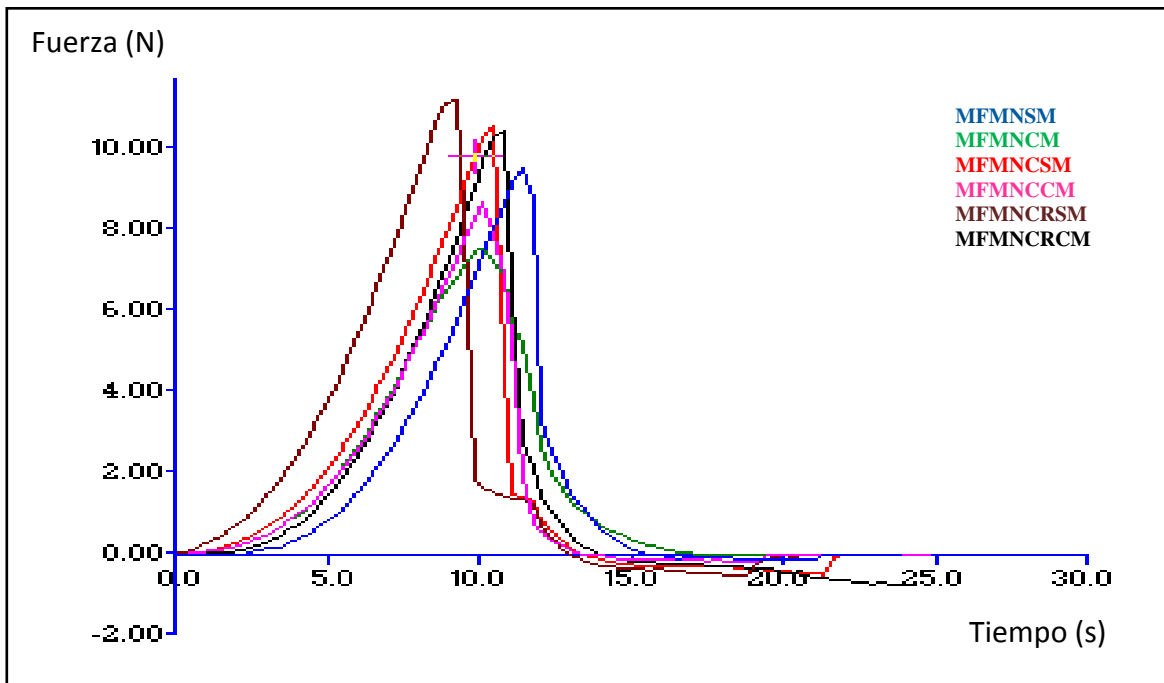


Figura 25. Efecto del proceso y mejorador en la MFMN

La recristalización en la MFMN y MMMN (Figuras 25 y 27) incrementan la fuerza extensiva y disminuyen la distancia de extensibilidad y en la MHMN (Figura 26) la fuerza extensiva no aumenta pero la distancia de extensibilidad si disminuye.

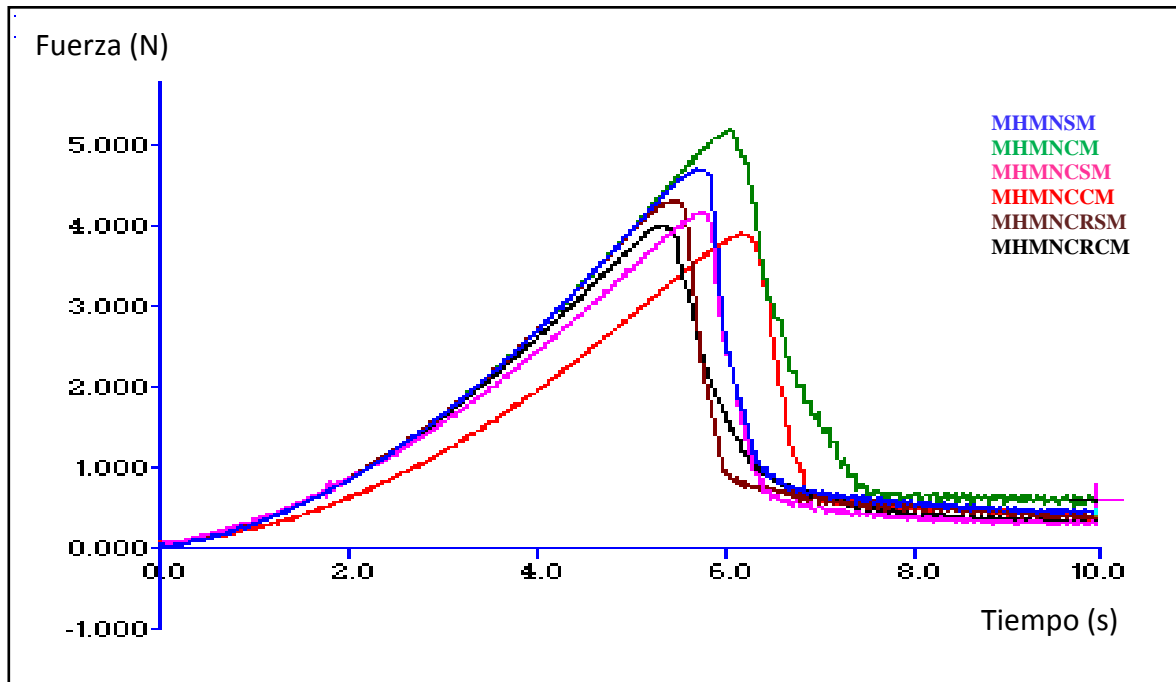


Figura 26. Efecto del proceso y el mejorador en la MHMN.

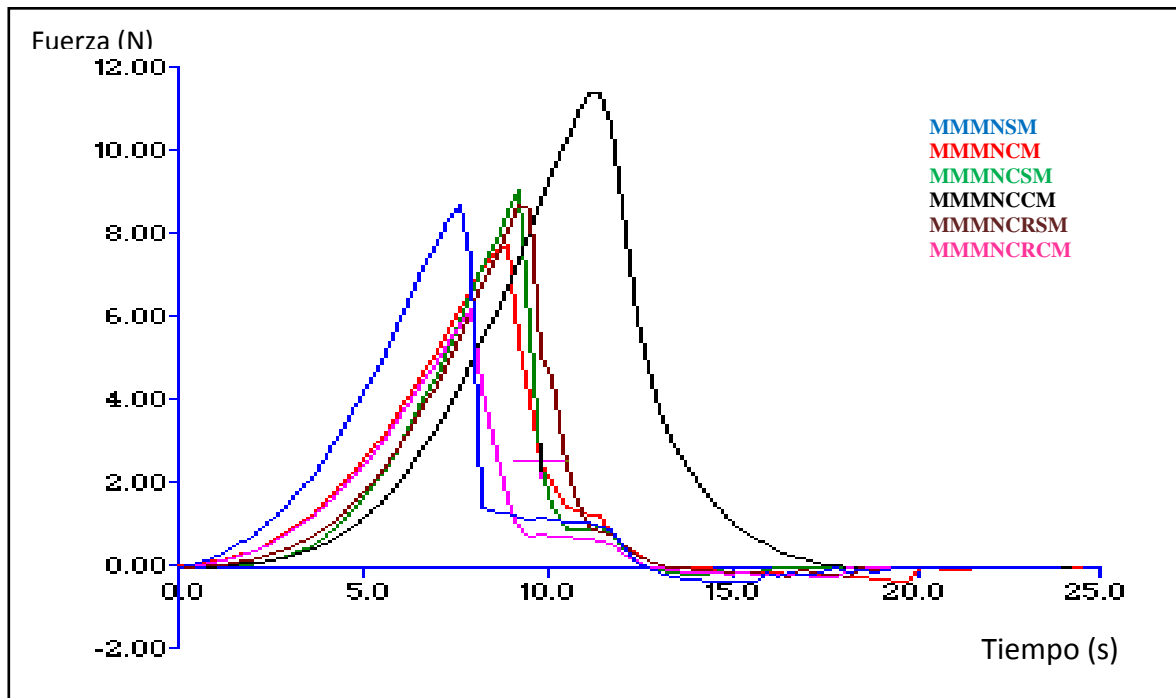


Figura 27. Efecto del proceso y mejorador en la MMMN.

En la Tabla 6 se muestran los valores promedio de los parámetros de la prueba de extensibilidad. Para el tipo de masa, aditivo y proceso la fuerza extensiva y el trabajo de extensión resultaron estadísticamente diferentes, siendo las tortillas de MFMN las que presentan mayor fuerza extensiva y trabajo de extensión, la adición de 30% de HMN en la masa para las tortillas disminuye la fuerza extensiva y el trabajo de extensión esto quiere decir que las tortillas hechas con MHMN son más suaves. Las tortillas elaboradas con MHMN presentaron la menor fuerza, trabajo y distancia de extensibilidad.

La distancia de extensibilidad y resistencia de las tortillas de MFMN alcanzan valores estadísticamente iguales a los de las tortillas de MMMN y las de MHMN resultaron estadísticamente diferentes a estas dos asentando valores menores. Las tortillas de MFMN con mayores distancias de extensibilidad nos indican que se extienden más antes de romperse en comparación con las tortillas hechas de MHMN las cuales se rompen a una distancia menor; lo anterior coincide con lo observado por Gasca y Casas (2007), e indica que las tortillas de MHMN son menos flexibles

El uso del mejorador presenta efecto significativo en todos los parámetros, proporcionando a las tortillas mayor fuerza extensiva, trabajo de extensión, resistencia y distancia de extensibilidad (mayor flexibilidad), esto se atribuye a los hidrocoloides contenidos en el mejorador causando que se rompan a una mayor distancia. Estando de acuerdo con Rendón y col. (2006) que las tortillas preparadas con algún hidrocoloide y emulsificante tienen una menor tendencia a sufrir retrogradación del almidón.

Los diferentes procesos expresan valores estadísticamente diferentes en todos los parámetros; la aplicación de la congelación y del ciclo de recristalización a las diferentes masas da como resultado mayor fuerza extensiva, trabajo de extensión y resistencia y menor distancia de extensibilidad en las tortillas con relación a la masa fresca, indicando que son más duras y se extienden menos antes de romperse. Se atribuye a que la textura de la masa con ciclo de recristalización presentó mayor dureza, gomosidad y menor cohesividad, índice elástico, adhesividad y estiramiento; estos parámetros se ven reflejados en la extensibilidad de las tortillas.

Tabla 6. Propiedades texturales de tortillas bajo la prueba de extensibilidad. Promedios calculados por tipo de masa, aditivo y proceso.

| <b>Extensibilidad</b> | <b>Fuerza extensiva (N)</b> | <b>Distancia de extensibilidad (mm)</b> | <b>Trabajo de extensión (N mm)</b> | <b>Resistencia final (N/mm)</b> |
|-----------------------|-----------------------------|---|------------------------------------|---------------------------------|
| <b>Tipo de masa</b>   |                             |   |                                    |                                 |
| MFMN                  | 9.705 <sup>a</sup>          | 16.91 <sup>a</sup>                      | 53.03 <sup>a</sup>                 | 1.120 <sup>a</sup>              |
| MHMN                  | 4.279 <sup>b</sup>          | 11.22 <sup>b</sup>                      | 16.90 <sup>b</sup>                 | 0.660 <sup>b</sup>              |
| MMMN                  | 8.476 <sup>c</sup>          | 16.60 <sup>a</sup>                      | 41.31 <sup>c</sup>                 | 1.074 <sup>a</sup>              |
| <b>Aditivo</b>        |                             |   |                                    |                                 |
| Con mejorador         | 7.809 <sup>a</sup>          | 15.21 <sup>a</sup>                      | 39.42 <sup>a</sup>                 | 0.983 <sup>a</sup>              |
| Sin mejorador         | 7.165 <sup>b</sup>          | 14.61 <sup>b</sup>                      | 34.74 <sup>b</sup>                 | 0.920 <sup>b</sup>              |
| <b>Proceso</b>        |                             |   |                                    |                                 |
| Fresco                | 7.787 <sup>a</sup>          | 16.46 <sup>a</sup>                      | 37.17 <sup>a</sup>                 | 1.001 <sup>a</sup>              |
| Congelado             | 6.231 <sup>b</sup>          | 13.46 <sup>b</sup>                      | 30.83 <sup>b</sup>                 | 0.774 <sup>b</sup>              |
| Recristalización      | 8.442 <sup>c</sup>          | 14.85 <sup>c</sup>                      | 43.24 <sup>c</sup>                 | 1.078 <sup>c</sup>              |

*Nota: Los valores con el mismo superíndice para una misma columna, resultaron estadísticamente iguales al aplicar la prueba de Tukey con un valor de  $\alpha = 0.05$ .*

#### a) Tensión

En la Figura 28 se muestra el efecto del mejorador en los tres tipos de masa sin congelar. Se observa que el mejorador aumenta la distancia de ruptura en los tres tipos de masa sin congelar. Se nota también que las tortillas elaboradas con MFMN se rompen a una mayor distancia. El efecto del proceso en la MFMN y MHMN en las Figuras 29 y 30 respectivamente se observa que la recristalización incrementa la fuerza de ruptura y disminuye la distancia de ruptura. Por otro lado en la MMMN (Figura 31) la fuerza no incrementa pero la distancia de ruptura si disminuye.

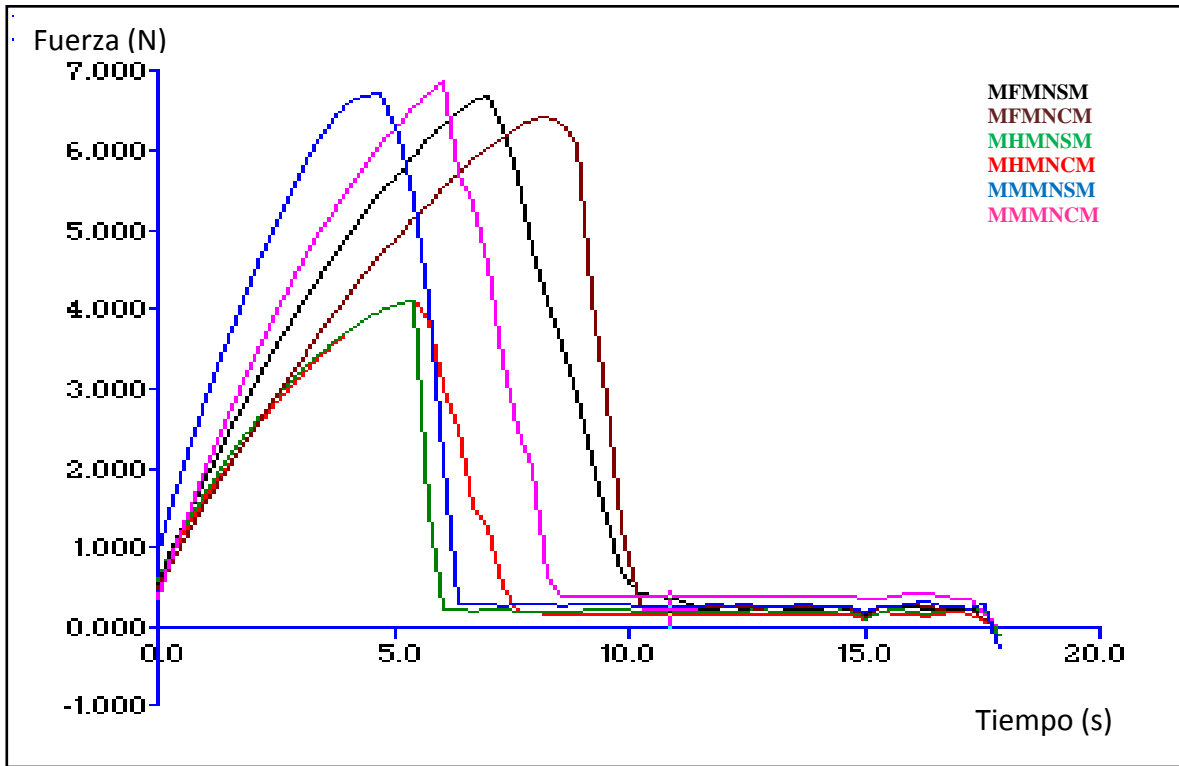


Figura 28.Efecto del mejorador en las masas sin congelar.

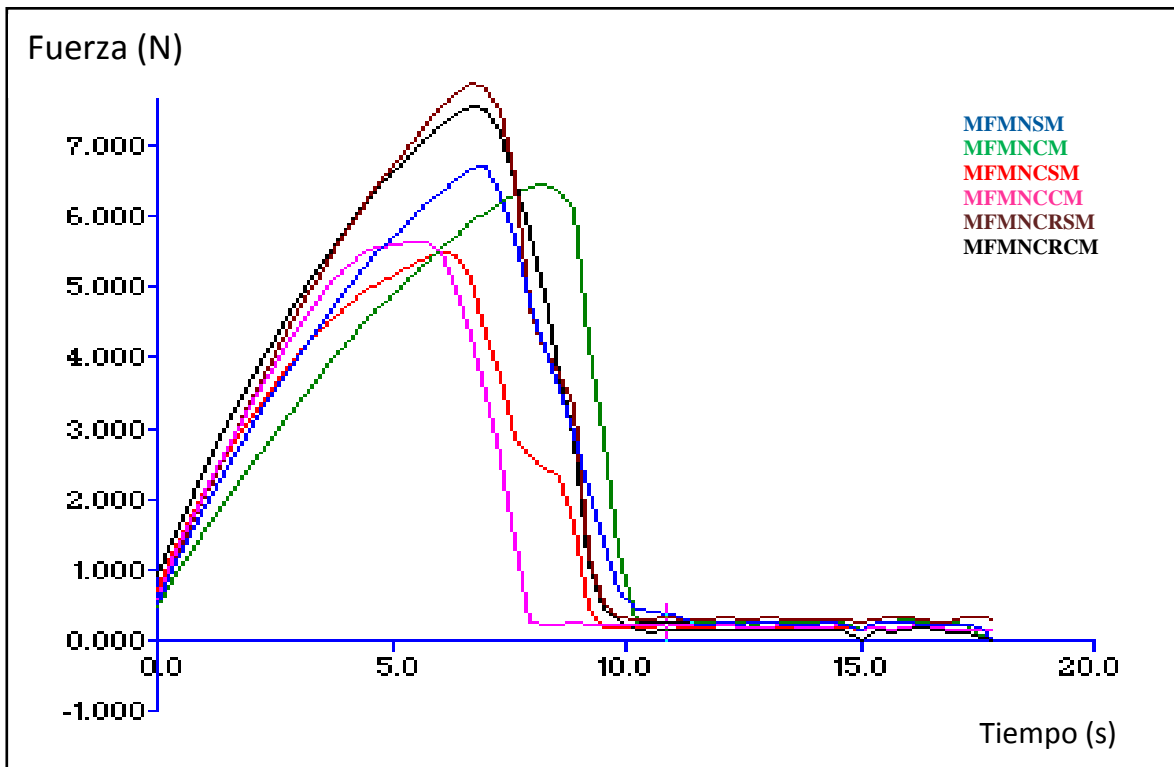


Figura 29.Efecto del proceso y del mejorador en la MFMN.



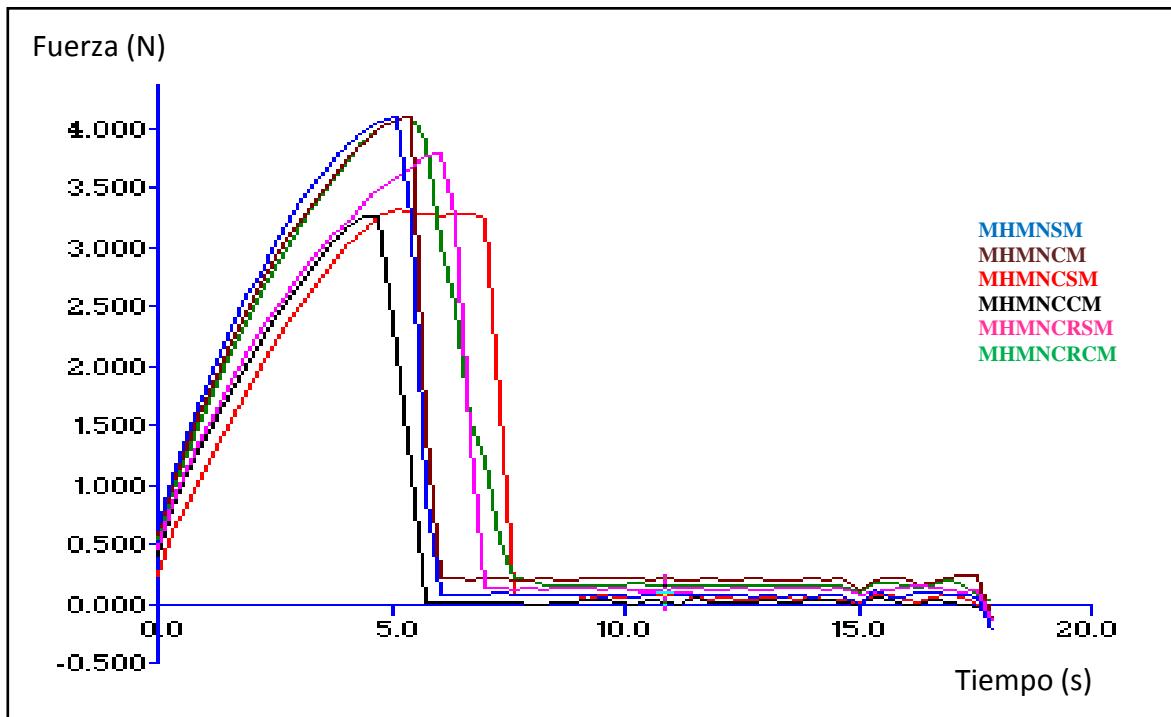


Figura 30. Efecto del proceso y el mejorador en la MHMN.

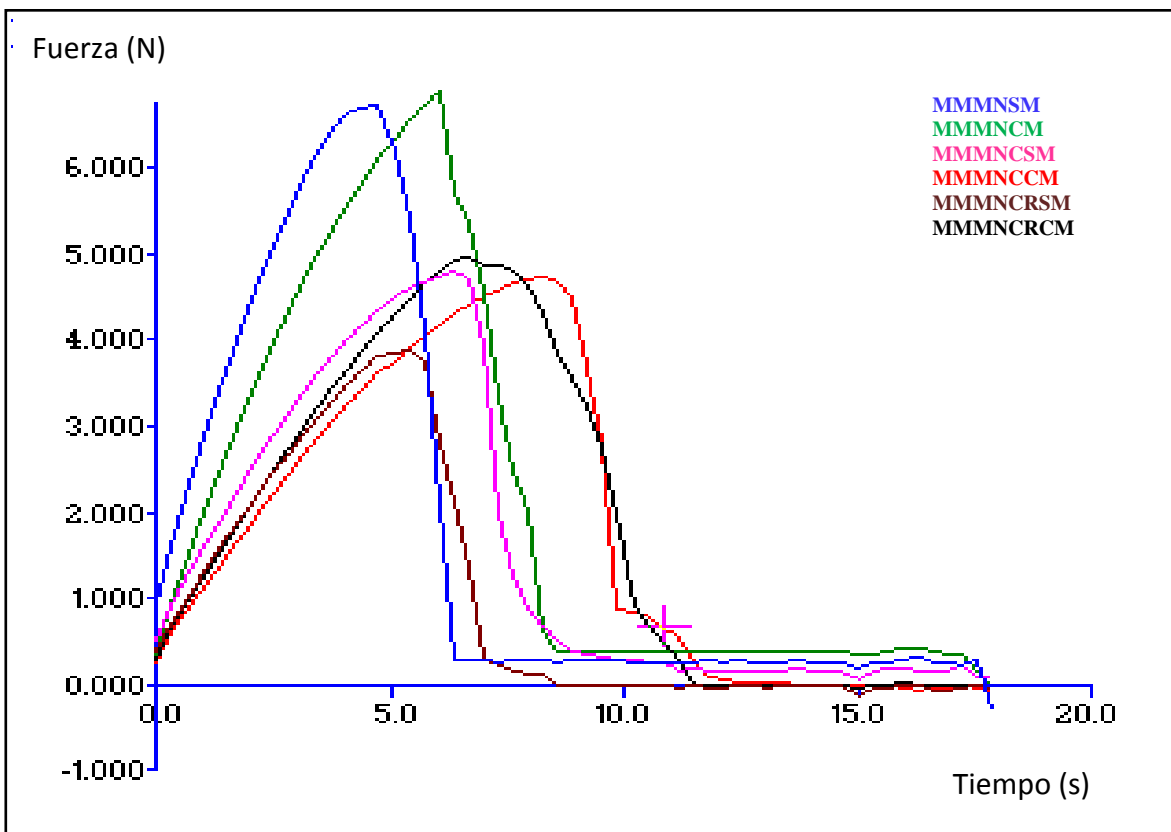


Figura 31. Efecto del proceso y el mejorador en la MMMN.

Tabla 7. Propiedades texturales de tortillas bajo la prueba de tensión. Promedios calculados por tipo de masa, aditivo y proceso.

| <b>Tensión</b>      | <b>Trabajo ruptura<br/>(N mm)</b> | <b>Fuerza ruptura<br/>(N)</b> | <b>Distancia de ruptura<br/>(mm)</b> |
|---------------------|-----------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Tipo de masa</b> |                                   |                               |                                      |
| MFMN                | 43.24 <sup>a</sup>                | 6.684 <sup>a</sup>            | 10.09 <sup>a</sup>                   |
| MHMN                | 19.52 <sup>b</sup>                | 3.784 <sup>b</sup>            | 7.467 <sup>b</sup>                   |
| MMMN                | 33.64 <sup>c</sup>                | 5.271 <sup>c</sup>            | 9.778 <sup>a</sup>                   |
| <b>Aditivo</b>      |                                   |                               |                                      |
| Con mejorador       | 32.62 <sup>a</sup>                | 5.174 <sup>a</sup>            | 9.702 <sup>a</sup>                   |
| Sin mejorador       | 31.64 <sup>a</sup>                | 5.319 <sup>a</sup>            | 8.527 <sup>b</sup>                   |
| <b>Proceso</b>      |                                   |                               |                                      |
| Fresco              | 26.47 <sup>a</sup>                | 4.535 <sup>a</sup>            | 10.30 <sup>a</sup>                   |
| Congelado           | 35.46 <sup>b</sup>                | 5.418 <sup>b</sup>            | 8.385 <sup>b</sup>                   |
| Recristalización    | 34.47 <sup>b</sup>                | 5.787 <sup>b</sup>            | 8.654 <sup>b</sup>                   |

*Nota: Los valores con el mismo superíndice para una misma columna, resultaron estadísticamente iguales al aplicar la prueba de Tukey con un valor de  $\alpha = 0.05$ .*

En la Tabla 7 se observa que el tipo de masa tiene efecto significativo en el trabajo de ruptura y fuerza de ruptura. La MFMN presenta los mayores valores de estos parámetros, seguida de la mezcla y de la MHMN, con menores valores. Para la distancia de ruptura, las tortillas de MFMN son estadísticamente iguales a las tortillas de MMMN y diferentes a las de MHMN que se rompen a menor distancia.

El empleo del mejorador no influyó significativamente en el trabajo de ruptura y la fuerza de ruptura, no obstante en la distancia de ruptura sí hubo diferencia significativa reportando valores más altos con el uso de éste, por lo que se puede afirmar que las tortillas son más flexibles, coincidiendo con estudios realizados por Iturbe y col. (1996) donde mostraron que el uso de amilasas fúngicas en la elaboración de tortillas de harina produce una marcada reducción en la retrogradación del almidón después de almacenarlas a  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$  y después de sufrir ciclos de congelación-descongelación, mejorando la masticación de estas.

Las tortillas hechas con masas congeladas y con ciclo de recristalización cuentan con valores similares en todos los parámetros, en contraste con las tortillas elaboradas con masas frescas. El efecto de la congelación y el ciclo de recristalización traen como consecuencia valores más altos en el trabajo de ruptura y fuerza de ruptura y menor distancia de ruptura. Con las oscilaciones de temperatura los residuos de gránulos de almidón presentes forman una malla induciendo la formación de agregados que cristalizan, provocando un endurecimiento del gel y de la misma forma se requiere una fuerza de ruptura mayor para poder romper las cadenas cristalinas, dando como resultado tortillas más duras y quebradizas.

## CONCLUSIONES

La MFMN presenta mejores propiedades de textura en la prueba de perfil de textura y adhesividad, siendo la más suave, cohesiva, gomosa, elástica y adhesiva; de la misma forma las tortillas elaboradas con esta masa presentan mejores parámetros de rollabilidad, extensibilidad y tensión. La incorporación del 30% de HMN a la MFMN disminuye estas propiedades y niveles aun más bajos le corresponden a la MHMN.

La congelación y el ciclo de recristalización durante el manejo frigorífico influyen de manera negativa en las propiedades texturales de las masas, lo que se hizo evidente en la disminución de los parámetros de adhesividad y análisis de perfil de textura excepto en la dureza y gomosidad con respecto a las masas frescas.

Las tortillas con masas congeladas y con ciclo de recristalización mostraron mayor trabajo total y fuerza máxima promedio en las pruebas de rollabilidad siendo menos rollables. En la extensibilidad presentaron valores más altos en la fuerza extensiva, trabajo de extensión, resistencia y menor distancia de extensibilidad provocando que las tortillas sean más duras y menos flexibles. En la prueba de tensión mostraron valores más altos en el trabajo de ruptura y fuerza de ruptura así como menor distancia de ruptura por lo que se consideran más frágiles.

El uso del mejorador no tuvo influencia significativa en los parámetros de la prueba de rollabilidad y tensión excepto en el aumento de la distancia de ruptura. Esto se atribuye a que todas las pruebas se efectuaron en tortillas recién hechas. En la prueba de extensibilidad el mejorador si influyó de manera significativa, presentando valores mayores en la resistencia final, fuerza, distancia y trabajo de extensibilidad provocando que sean más flexibles.

Hay que recalcar que el efecto del mejorador es más evidente en las masas que son sometidas a congelación y recristalización que en las masas frescas así como en las tortillas elaboradas con estas masas. Sin embargo no mejoró notablemente las propiedades texturales en las masas y tortillas, lo que se puede atribuir a que la concentración de 0.65% de mejorador utilizado en el total de la masa fue baja, por lo que se recomienda en próximos estudios manejar una concentración más alta.

La congelación y recristalización tuvieron un efecto negativo en la textura de la masa lo que repercutió en la textura de las tortillas, por lo que hay que evitar las fluctuaciones de temperatura en el manejo frigorífico de las masas congeladas para que no ocurra una recristalización, un aumento del fenómeno de retrogradación de almidón y la deshidratación de la masa. La textura de la masa es crítica para el proceso de elaboración de tortillas, si la masa no es lo suficientemente adhesiva, cohesiva, elástica dará como resultado tortillas menos rollables, flexibles y más duras.

**BIBLIOGRAFÍA**

1. Aguado. J. A. (1986). "Introducción a la ingeniería de los alimentos". Acribia, España.
2. Almeida D. y Helber R. W. (1996). Avances en la manufactura y calidad de productos de maíz nixtamalizado Industria Alimentaria. Noviembre-Diciembre, 18 (6) 4-13.
3. Arámbula V. G., Yáñez L. M., González H. J, Martínez, J. D. Figueroa, J. C. y Alvarado G. J. J. (1998). Effects of starch gelatinization on the thermal, dielectric and rheological properties of extruded corn masa. *Journal of Cereal Science* 27,147–155.
4. Arámbula V. G., Barrón Á. L., González H. J., Moreno M. E. y Luna B. G. (2001a). "Efecto del tiempo de cocimiento y reposo del grano de maíz nixtamalizado, sobre las características fisicoquímicas, reológicas, estructurales y texturales del grano, masa y tortillas de maíz". Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN. Universidad Autónoma de Querétaro. México. 42 (3).103
5. Arámbula V. G., González H. J. y Ordorica F. C. A. (2001b). 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.
6. Badui S. (2006). "Química de los alimentos". 6ta Edición. Alambra, México. D.F.
7. Bootsrapa L., Castell P. G. y Moreira. E. (1999). Effect of time and storage conditions on the rheological properties of masa for corn tortillas. U.S.A. *Lebensm. Wiss. U. Technology.* (32), 344-348.
8. Casas A. N. B. y Ramírez O, M. E. (1998). "Evaluación de la textura de materiales con maquina universal de deformación". Curso de superación académica Departamento de Ingeniería y Tecnología, Sección LEM alimentos. FES-C. México.
9. Charalambous G., Doxastakis G. y Amsterdam E. (1997). "Food emulsifiers: Chemistry, technology, functional properties and applications". 3ra Edición. Elsevier. USA.
10. Desrosier N. W. y Tressler D. K. (1999). "Fundamentals of food freezing" AVI. USA
11. Felicidad R. y Yrjo H. R. (2008). Gelatinization and freeze-concentration effects on recrystallization in corn and potato starch gels. *Carbohydrate Research*, (343) 903–911.
12. Fennema O. R. Powrie W. D. y Marth E. H. (1973). Low-Temperature preservation of foods and living matter. Dekker, New York, 101-222.

13. Figueroa C. J de D. Martínez B F., González H. J. y Sánchez S. F. (1994). Modernización tecnológica de proceso de nixtamalización. *Industria Alimentaria*. Mayo-Junio. 6 (7) 23-27.
14. Gasca M. J. C. y 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 tortilla. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 3, (6), 317-328.
15. Gomez M. H., Waniska R.D y Rooney L.W. (1991). Starch characterization of nixtamalized corn flour. *Cereal Chemistry* 68 (6), 578-582.
16. Gomez, M.H., Rooney, L. W y Waniska, R. D. (1987). Dry corn masa flours for tortilla and snack food production. *Cereal Foods World* 32 (5) 372-377.
17. Gruda Z. D. (1998). "Tecnología de la congelación de los alimentos". Primera edición. Acribia, España.
18. Hosney R. C. (1991). "Principios de ciencia y tecnología de los cereales". Acribia, España.
19. Iturbe C. F. A., Lucio A. R. M. y López M. A. (1996). Shelf-life of tortilla extended with fungal amylases. *International Journal of Food Science and Technology*, 31, 505-509.
20. Kent L. N (1987). "Tecnología de los cereales". Acribia, España.
21. Lewis J. M. (1993). "Reología y textura de los sólidos". *Propiedades Físicas de los alimentos y de los sistemas de proceso*. 3ra edición, Acribia, España; 135-163.
22. Martino N. M. y Zaritzky N. M. (1989). Ice recrystallization in a model system and in frozen muscle tissue. *Cryobiology* 26, 138-148.
23. Mota Z. V. M., Mireles M. C. E., Camarena A. E. A. y Bautista J. M. (1998). Efecto del uso de masas congeladas sobre las características y textura en pan blanco. Tesis. Ingeniería Agrícola. Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad de Guanajuato.
24. Multon J. L. (1997). "Aditivos auxiliares en la industria agroalimentaria". 4ta Edición, Acribia, España.
25. Norma Oficial Mexicana. Harina de maíz Nixtamalizado, NOM-F-46-S-1980. Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. México.

26. Rendón V. R., Agama A. E., Islas H. J. J., Sánchez M. J. y Bello P. L. A. (2006). In vitro starch bioavailability of corn tortillas with hydrocolloids. *Food Chemistry*. 97, 631–636.
27. Ramírez W. B., Sweat V. E., Torres P. I., Rooney L.W. (1993). Development of two instrumental methods for corn masa texture evaluation. *American Association of Cereal Chemistry*. 70 (3) 286-290.
28. Rodríguez T. M. (1996). "Evaluación del efecto del empleo de carboximetil celulosa de sodio y dos tensoactivos en la elaboración de tortillas de maíz". Tesis de Ingeniería en Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan. UNAM. México.
29. 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 nixtamalizada (maseca)". Tesis en Ingeniería en Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan. UNAM. México.
30. Rosenthal A. J. (2001). "Textura de los alimentos". Medida y percepción. 2da edición Acribia. España.
31. Rubio M. (1993). La industria de la harina y la tortilla de maíz. *Industria Alimentaria*. Noviembre-Diciembre, 18 (6), 14-19.
32. Silva J. A. y Rao M. A., (1990). *Viscolastic properties of hydrocolloid dispersions*. Elsevier Appred Science, 301-310.USA.
33. Shinsuke S. y Peter M. (2008). Kinetics and activation energy of recrystallization of intracellular ice in mouse oocytes subjected to interrupted rapid cooling. *Cryobiology* 56. 171–180.
34. Singh R. P. (1993). "Ingeniería de la industria alimentaria". volumen III, Operaciones de conservación de alimentos. Síntesis. España.
35. 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 licenciatura en Ingeniería en Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan. UNAM. México.
36. Solís J. V. (1996). Evolución y expansión de los mercados de la tortilla y sus insumos. *Industria Alimentaria*. Noviembre-Diciembre 18 (6) 14-19.



37. Sortwell D. (1995), Tecnología de los ingredientes para las tortillas de harina de trigo. Tecnología de alimentos. 30 (5), 32-34.
38. Suhendro E. L., Almeida D. H. D., Waniska R. D. (1995). Evaluation of functionality of hydrocolloids, bran and enzymes for improvement of corn tortilla texture. Cereal Quality Laboratory, Soil y Crop Science Department. Texas University. 166 102.
39. Suhendro E. L. y Almeida D. H. D. (1998a). Objective rollability method for corn tortilla texture measurement. Cereal Chemistry. Abril. (75) 1-3.
40. Suhendro E. L. y Almeida D. H. D. (1998b). Tortilla bending technique: an objective method for corn tortilla texture measurement. Cereal Chemistry. Diciembre. (75) 5-6.
41. Suhendro E. L. y Almeida D. H. D. (1999). Use of extensibility to measure corn tortilla texture. Cereal Chemistry. Agosto. (76) 3-4.
42. Torres F. Moreno E., Chong I., y Quintanilla, J. (1996). La industria de la masa y la tortilla. Desarrollo y Tecnología, Universidad Autónoma de México, México, 11-13.
43. Twillman T. J. y White O. J. (1988). Influence of monoglycerides on the textural shelf life and dough rheology of corn tortillas. American Association of Cereal Chemists. 65 (3) 253-257.

# APÉNDICE

## Apéndice 1. Validación de termopares

- **Prueba de precisión**

Materiales:

- \* 1 Vasos de precipitado 250 ml
- \* 2 termopares tipo T de cobre y constantan
- \* Agua a 92.8 °C (Temperatura de ebullición en Cuatitlan Izcalli Edo. México).
- \* Termómetro de mercurio 150°C
- \* Lector de termopares

Procedimiento:

Las pruebas de exactitud y precisión se desarrollaron en un sistema isotérmico a una temperatura de 92.8 °C registrando las lecturas de temperatura a intervalos iguales de tiempo (1 min), hasta obtener un mínimo de diez lecturas. Así mismo se realizaron tres replicas.

El termopar que presentó una mayor precisión fue aquel cuyo coeficiente de variación fue menor; dicho coeficiente fue calculado con la siguiente ecuación:

$$C.V = (\sigma / X) * 100$$

Donde:

$\sigma$  = Desviación estándar

X = Promedio

Tabla 9. Promedios de la prueba de precisión para los dos termopares.

| Tiempo<br>(min) | Termopar 1<br>(°C) | Termopar 2<br>(°C) |
|-----------------|--------------------|--------------------|
| 1               | 92.8               | 92.8               |
| 2               | 92.6               | 92.6               |
| 3               | 92.3               | 92.5               |
| 4               | 91.6               | 91.9               |
| 5               | 91.1               | 91.3               |
| 6               | 90.7               | 90.9               |
| 7               | 90.2               | 90.6               |
| 8               | 89.8               | 90.1               |
| 9               | 89.6               | 89.4               |
| 10              | 89.2               | 89                 |

El termopar 1 es el termopar que se colocó en el centro geométrico del bloque de masa congelada y el termopar 2 es el termopar que se colocó en la superficie del bloque de masa congelada.

Tabla 10. Resultados de la prueba de precisión.

| Precisión | Termopar 1 | Termopar 2 |
|-----------|------------|------------|
| X         | 90.99      | 91.11      |
| $\Sigma$  | 1.30       | 1.34       |
| c.v       | 1.43       | 1.49       |

En base a los resultados del coeficiente de variación (tabla 10), se puede observar que estadísticamente los dos termopares son precisos, ya que el coeficiente de variación es menor al 10%, siendo el termopar del centro el que presenta una mayor precisión, por lo que se puede decir que cuenta con una mayor capacidad para reproducir una lectura precisa.

## Prueba de linealidad.

Materiales:

- \* 1 Vasos de precipitado 250 ml
- \* 2 termopares tipo T de cobre y constantan
- \* Agua a 92.8 °C (Temperatura de ebullición en Cuautitlan Izcalli)
- \* Termómetro de mercurio 150°C
- \* Lector de termopares

La prueba de linealidad se realizó en un sistema de temperaturas descendentes, se partió de una temperatura de 92.8 °C (temperatura de ebullición del agua en Cuautitlan Izcalli) se introdujeron los termopares dentro del vaso con agua, dejando que la temperatura bajara, se tomaron los datos de temperatura en intervalos de tiempo de cada minuto hasta alcanzar 12 datos.

Tabla 10. Promedios de la prueba de linealidad para los dos termopares.

| Tiempo (min) | Termopar 1 | Termopar 2 |
|--------------|------------|------------|
| 1            | 88.00      | 88.67      |
| 2            | 85.67      | 86.22      |
| 3            | 83.33      | 84.11      |
| 4            | 81.33      | 82.44      |
| 5            | 79.00      | 80.33      |
| 6            | 77.33      | 78.44      |
| 7            | 75.33      | 76.78      |
| 8            | 73.33      | 75.11      |
| 9            | 71.67      | 73.56      |
| 10           | 70.33      | 72.28      |
| 11           | 69.00      | 70.83      |
| 12           | 67.33      | 69.44      |

A continuación se presentan los resultados y el comportamiento gráfico del termopar 1 y 2.

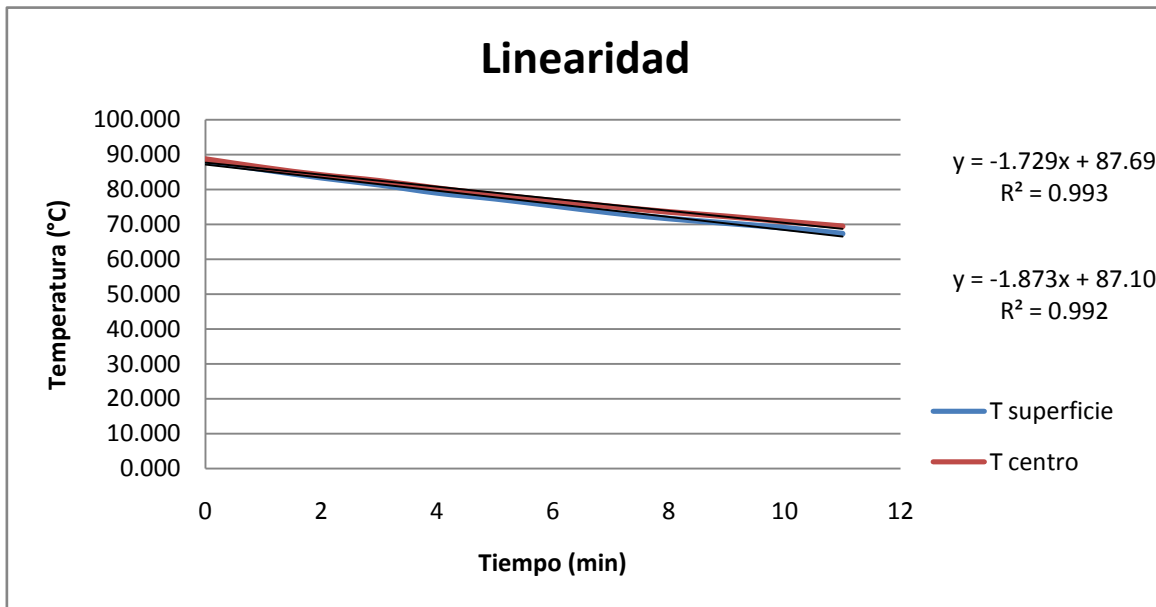


Figura 33: Curvas de la prueba de linealidad.

Tabla 11: Resultados de la primera prueba de linealidad.

| Atributos      | Termopar 1 | Termopar 2 |
|----------------|------------|------------|
| m              | -1.729     | -1.873     |
| b              | 87.69      | 87.1       |
| r <sup>2</sup> | 0.993      | 0.992      |

El termopar que presenta mayor linealidad es el termopar 1 (centro), fue aquel que cumplió principalmente con la menor dispersión de datos, es decir, presenta una correlación lo más cercana al valor de uno, las pendientes entre las curvas no cambian drásticamente, es decir, se aproximan a un valor que determina su comportamiento. La ordenada al origen se acercó al valor de la temperatura con la cual se inicio la prueba.

## Suma de atributos

Para la realización de la suma de atributos de los termopares se consideró para la prueba de precisión que el termopar de menor coeficiente de variación sea el número I y así de forma ascendente, para la prueba de linealidad se consideraron los valores del coeficiente de correlación lineal, siendo el número I el valor más cercano a 1 y así en forma descendente.

A continuación se presenta la siguiente tabla que contiene la suma de atributos en cada una de las pruebas realizadas para la validación de termopares con la finalidad de elegir el termopar patrón.

Tabla 12. Suma de atributos de termopares.

| Atributos  | Termopar 1 | Termopar 2 |
|------------|------------|------------|
| Precisión  | I          | II         |
| Linearidad | I          | II         |
| Suma       | 2          | 4          |

Se puede observar que al comparar las pruebas realizadas en cada uno de los termopares, el de menor atributo es el termopar 1 (centro), por lo que este se va a considerar como el termopar patrón y con el mismo se realizará la corrección del otro termopar.

## Corrección de termopares

Las temperaturas registradas en el termopar del centro serán utilizadas para la corrección del otro termopar, obteniendo una ecuación al graficar Termopar a Corregir vs. Termopar Patrón.

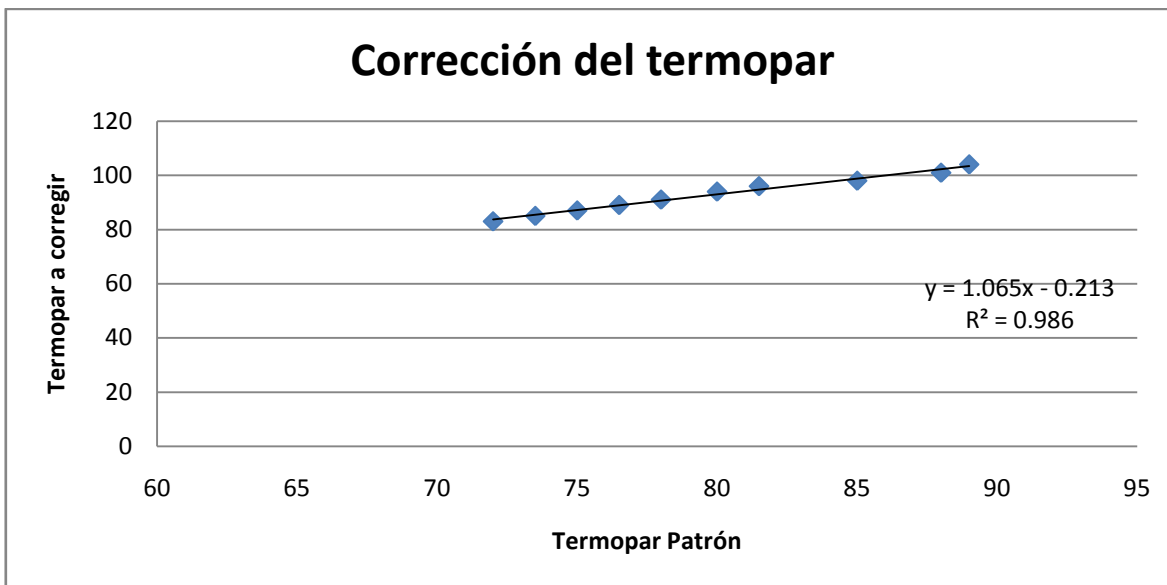


Figura 34. Curva de corrección del Termopar 2.

A continuación se presentan las ecuaciones obtenidas del gráfico anterior de cada uno de los termopares que se sometieron a corrección.

Tabla 13. Ecuación para corrección de termopares.

| Termopar                | Ecuación           |
|-------------------------|--------------------|
| Termopar 2 (superficie) | $1.065T_1 - 0.213$ |



**Apéndice 2. Datos para las curvas de congelación y recristalización de las diferentes masas congeladas.**

Tabla 14. Temperaturas corregidas de la congelación de los tres tipos de masa.

| Tiempo (min) | T Superficie MHMN | T Centro MHMN | T superficie MFMN | T Centro MFMN | T superficie MMMN | T Centro MMMN |
|--------------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|
| 0            | 24.3              | 24.3          | 21.1              | 23.23         | 26.43             | 26.43         |
| 2            | 21.1              | 23.23         | 20.04             | 17.91         | 23.23             | 25.36         |
| 4            | 18.97             | 21.1          | 17.91             | 14.71         | 21.1              | 25.36         |
| 6            | 15.78             | 18.97         | 15.78             | 11.52         | 18.97             | 23.23         |
| 8            | 14.71             | 17.91         | 13.65             | 10.45         | 17.91             | 18.97         |
| 10           | 12.58             | 14.71         | 12.58             | 8.32          | 15.78             | 15.78         |
| 12           | 11.52             | 14.71         | 10.45             | 6.19          | 10.45             | 13.65         |
| 14           | 9.39              | 11.52         | 7.26              | 5.13          | 7.26              | 15.78         |
| 16           | 8.32              | 10.45         | 6.19              | 4.06          | 6.19              | 10.45         |
| 18           | 7.26              | 9.39          | 4.06              | 4.06          | 4.06              | 12.58         |
| 20           | 5.13              | 8.32          | 4.06              | 1.93          | 4.06              | 11.52         |
| 22           | 3                 | 6.19          | 4.06              | 0.87          | 4.06              | 9.39          |
| 24           | 1.93              | 4.06          | 1.93              | 0.87          | 1.93              | 5.13          |
| 26           | 1.93              | 4.06          | 1.93              | 0.87          | 1.93              | 4.06          |
| 28           | 0.87              | 1.93          | 0.87              | 0.87          | 0.87              | 4.06          |
| 30           | -0.2              | 0.87          | 0.87              | -0.2          | 0.87              | 4.06          |
| 32           | -0.2              | 0.87          | -0.2              | 0.87          | -0.2              | 4.06          |
| 34           | -1.27             | 0.87          | -0.2              | 0.87          | -1.27             | 3             |
| 36           | -2.33             | 0.87          | -0.2              | -0.2          | -2.33             | 3             |
| 38           | -4.46             | 1.93          | -0.2              | -0.2          | -3.4              | 1.93          |
| 40           | -5.53             | -0.2          | -1.27             | -1.27         | -3.4              | 1.93          |
| 42           | -5.53             | -0.2          | -2.33             | -1.27         | -1.27             | -0.2          |
| 44           | -4.46             | -0.2          | -2.33             | -2.33         | -2.33             | -1.27         |
| 46           | -4.46             | -0.2          | -2.33             | -3.4          | -2.33             | -2.33         |
| 48           | -5.53             | -0.2          | -3.4              | -3.4          | -2.33             | -3.4          |
| 50           | -6.59             | -0.2          | -3.4              | -3.4          | -4.46             | -3.4          |
| 52           | -5.53             | -0.2          | -2.33             | -4.46         | -3.4              | -3.4          |
| 54           | -5.53             | -0.2          | -3.4              | -3.4          | -3.4              | -2.33         |
| 56           | -5.53             | -0.2          | -3.4              | -2.33         | -3.4              | -2.33         |
| 58           | -4.46             | -0.2          | -3.4              | -2.33         | -3.4              | -3.4          |
| 60           | -4.46             | -0.2          | -2.33             | -3.4          | -4.46             | -2.33         |

Continuación de la Tabla 14.

|     |        |       |       |       |       |       |
|-----|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 62  | -4.46  | -0.2  | -4.46 | -3.4  | -4.46 | -3.4  |
| 64  | -4.46  | -0.2  | -3.4  | -2.33 | -4.46 | -3.4  |
| 66  | -4.46  | -0.2  | -4.46 | -3.4  | -4.46 | -3.4  |
| 67  | -4.46  | -0.2  | -4.46 | -3.4  | -4.46 | -3.4  |
| 68  | -4.46  | -0.2  | -4.46 | -3.4  | -4.46 | -3.4  |
| 70  | -4.46  | -0.2  | -4.46 | -3.4  | -5.53 | -4.46 |
| 72  | -4.46  | -0.2  | -4.46 | -3.4  | -5.53 | -5.53 |
| 74  | -4.46  | -0.2  | -4.46 | -4.46 | -5.53 | -4.46 |
| 76  | -4.46  | -0.2  | -4.46 | -3.4  | -5.53 | -2.33 |
| 78  | -4.46  | -0.2  | -3.4  | -3.4  | -6.59 | -3.4  |
| 80  | -4.46  | -0.2  | -3.4  | -3.4  | -6.59 | -2.33 |
| 82  | -4.46  | -0.2  | -4.46 | -4.46 | -6.59 | -3.4  |
| 84  | -4.46  | -1.27 | -4.46 | -4.46 | -6.59 | -3.4  |
| 86  | -4.46  | -1.27 | -5.53 | -5.53 | -6.59 | -4.46 |
| 88  | -4.46  | -2.33 | -5.53 | -6.59 | -7.66 | -4.46 |
| 90  | -4.46  | -2.33 | -6.59 | -6.59 | -6.59 | -3.4  |
| 92  | -4.46  | -2.33 | -6.59 | -6.59 | -7.66 | -4.46 |
| 94  | -4.46  | -3.4  | -6.59 | -6.59 | -8.72 | -7.66 |
| 96  | -4.46  | -4.46 | -6.59 | -6.59 | -7.66 | -5.53 |
| 98  | -4.46  | -3.4  | -6.59 | -6.59 | -7.66 | -3.4  |
| 100 | -4.46  | -3.4  | -7.66 | -4.46 | -8.72 | -1.27 |
| 102 | -4.46  | -3.4  | -5.53 | -6.59 | -7.66 | -4.46 |
| 104 | -4.46  | -3.4  | -6.59 | -7.66 | -7.66 | -2.33 |
| 106 | -5.53  | -5.53 | -7.66 | -7.66 | -7.66 | -4.46 |
| 108 | -6.59  | -5.53 | -6.59 | -5.53 | -7.66 | -4.46 |
| 110 | -6.59  | -5.53 | -6.59 | -7.66 | -7.66 | -4.46 |
| 112 | -6.59  | -4.46 | -8.72 | -6.59 | -6.59 | -4.46 |
| 114 | -7.66  | -3.4  | -8.72 | -6.59 | -6.59 | -3.4  |
| 116 | -7.66  | -3.4  | -8.72 | -6.59 | -6.59 | -5.53 |
| 118 | -8.72  | -4.46 | -8.72 | -8.72 | -6.59 | -4.46 |
| 120 | -9.79  | -4.46 | -8.72 | -8.72 | -7.66 | -5.53 |
| 122 | -10.85 | -4.46 | -8.72 | -8.72 | -7.66 | -5.53 |
| 124 | -10.85 | -5.53 | -7.66 | -7.66 | -6.59 | -4.46 |
| 126 | -11.92 | -5.53 | -8.72 | -7.66 | -6.59 | -4.46 |
| 128 | -11.92 | -4.46 | -9.79 | -7.66 | -7.66 | -5.53 |
| 130 | -11.92 | -4.46 | -9.79 | -8.72 | -7.66 | -5.53 |

Continuación de la Tabla 14.

|     |        |        |        |        |        |        |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 132 | -12.98 | -4.46  | -10.85 | -8.72  | -7.66  | -5.53  |
| 134 | -12.98 | -4.46  | -10.85 | -8.72  | -8.72  | -5.53  |
| 136 | -10.85 | -4.46  | -10.85 | -8.72  | -8.72  | -5.53  |
| 138 | -10.85 | -5.53  | -10.85 | -9.79  | -9.79  | -5.53  |
| 140 | -11.92 | -6.59  | -10.85 | -9.79  | -10.85 | -6.59  |
| 142 | -11.92 | -9.79  | -10.85 | -9.79  | -11.92 | -6.59  |
| 144 | -12.98 | -9.79  | -11.92 | -9.79  | -11.92 | -7.66  |
| 146 | -12.98 | -9.79  | -11.92 | -10.85 | -10.85 | -8.72  |
| 148 | -14.05 | -9.79  | -12.98 | -10.85 | -10.85 | -9.79  |
| 150 | -14.05 | -10.85 | -12.98 | -10.85 | -10.85 | -9.79  |
| 152 | -15.11 | -11.98 | -12.98 | -12.92 | -14.05 | -9.79  |
| 154 | -15.11 | -11.98 | -14.05 | -12.92 | -14.05 | -10.85 |
| 156 | -15.11 | -12.08 | -14.05 | -13.58 | -14.05 | -11.92 |
| 158 | -16.18 | -13.05 | -15.05 | -14.05 | -15.11 | -11.92 |
| 160 | -16.74 | -14.05 | -16.11 | -15.11 | -15.11 | -12.98 |
| 162 | -17.24 | -14.05 | -17.18 | -15.11 | -16.18 | -14.05 |
| 164 | -17.24 | -16.24 | -18.24 | -17.18 | -17.24 | -15.11 |
| 166 | -17.77 | -17.31 |        | -18.24 | -18.24 | -17.18 |
| 168 | -18.37 | -17.77 |        |        |        | -18.24 |
| 170 |        | -18.37 |        |        |        |        |

Tabla 15. Temperaturas corregidas de la congelación de los tres tipos de masa con la aplicación del ciclo de recristalización.

| Tiempo (min) | T. Centro MHMN | T. Centro MMMN | T. Centro MFMN |
|--------------|----------------|----------------|----------------|
| 0            | 24.76          | 23.7           | 23.7           |
| 2            | 20.5           | 21.57          | 20.5           |
| 4            | 19.44          | 18.37          | 19.44          |
| 6            | 16.24          | 16.24          | 17.31          |
| 8            | 13.05          | 10.92          | 17.31          |
| 10           | 10.92          | 9.85           | 15.18          |
| 12           | 9.85           | 11.98          | 14.11          |
| 14           | 8.32           | 10.45          | 14.71          |
| 16           | 8.32           | 6.19           | 11.52          |
| 18           | 7.26           | 5.13           | 10.45          |

Continuación de la Tabla 15.

|    |       |       |       |
|----|-------|-------|-------|
| 20 | 7.26  | 4.06  | 9.39  |
| 22 | 7.26  | 4.06  | 7.26  |
| 24 | 6.19  | 4.06  | 6.19  |
| 26 | 5.13  | 3     | 4.06  |
| 28 | 4.06  | 3     | 3     |
| 30 | 1.93  | 1.93  | 1.93  |
| 32 | 1.93  | 1.93  | 0.87  |
| 34 | 1.93  | 3     | -0.2  |
| 36 | 0.87  | 4.06  | -0.2  |
| 38 | 0.87  | 1.93  | -0.2  |
| 40 | 0.87  | 1.93  | -0.2  |
| 42 | -0.2  | 0.87  | -0.2  |
| 44 | -0.2  | -0.2  | -1.27 |
| 46 | -0.2  | -1.27 | -1.27 |
| 48 | -0.2  | -2.33 | -1.27 |
| 50 | 0.87  | -2.33 | -2.33 |
| 52 | -0.2  | -3.4  | -2.33 |
| 54 | -0.2  | -2.33 | -3.4  |
| 56 | 0.87  | -3.4  | -2.33 |
| 58 | -0.2  | -3.4  | -2.33 |
| 60 | -0.2  | -2.33 | -3.4  |
| 62 | -0.2  | -3.4  | -3.4  |
| 64 | 1.93  | -2.33 | -2.33 |
| 66 | -1.27 | -3.4  | -3.4  |
| 68 | -0.2  | -3.4  | -3.4  |
| 70 | -0.2  | -3.4  | -3.4  |
| 72 | -1.27 | -4.46 | -4.46 |
| 74 | -0.2  | -2.33 | -3.4  |
| 76 | -0.2  | -2.33 | -4.46 |
| 78 | -0.2  | -3.4  | -4.46 |
| 80 | 0.87  | -3.4  | -5.53 |
| 82 | -0.2  | -3.4  | -6.59 |
| 84 | -0.2  | -4.46 | -6.59 |
| 86 | -0.2  | -4.46 | -6.59 |
| 88 | -1.27 | -3.4  | -5.53 |
| 90 | -1.27 | -4.46 | -6.59 |

Continuación de la tabla 15.

|     |        |        |        |
|-----|--------|--------|--------|
| 92  | -1.27  | -4.46  | -6.59  |
| 94  | -1.27  | -4.46  | -6.59  |
| 96  | -1.27  | -5.53  | -7.66  |
| 98  | -2.33  | -6.59  | -6.59  |
| 100 | -1.27  | -5.53  | -7.66  |
| 102 | -2.33  | -5.53  | -7.66  |
| 104 | -1.27  | -7.66  | -7.66  |
| 106 | -1.27  | -6.59  | -7.66  |
| 108 | -1.27  | -6.59  | -5.53  |
| 110 | -0.2   | -6.59  | -7.66  |
| 112 | -1.27  | -6.59  | -6.59  |
| 114 | -1.27  | -8.72  | -6.59  |
| 116 | -2.33  | -7.66  | -6.59  |
| 118 | -2.33  | -8.72  | -7.66  |
| 120 | -2.33  | -9.79  | -7.66  |
| 122 | -3.4   | -8.72  | -8.72  |
| 124 | -3.4   | -7.66  | -8.72  |
| 126 | -3.4   | -7.66  | -8.72  |
| 128 | -4.46  | -6.59  | -8.72  |
| 130 | -4.46  | -7.66  | -8.72  |
| 132 | -5.53  | -6.59  | -9.79  |
| 134 | -5.53  | -8.72  | -9.79  |
| 136 | -5.53  | -8.72  | -9.79  |
| 138 | -5.53  | -9.79  | -10.85 |
| 140 | -6.59  | -9.79  | -10.85 |
| 142 | -9.79  | -10.85 | -11.92 |
| 144 | -8.72  | -10.85 | -11.92 |
| 146 | -9.79  | -11.92 | -11.92 |
| 148 | -10.85 | -10.85 | -10.85 |
| 150 | -10.85 | -11.92 | -11.92 |
| 152 | -10.85 | -11.92 | -12.98 |
| 154 | -11.92 | -12.98 | -14.05 |
| 156 | -12.98 | -11.92 | -12.98 |
| 158 | -12.98 | -14.05 | -14.05 |
| 160 | -14.05 | -15.11 | -14.05 |
| 162 | -15.11 | -16.18 | -17.24 |
| 164 | -15.11 | -17.24 | -17.24 |

Continuación de la Tabla 15.

|     |        |        |        |
|-----|--------|--------|--------|
| 166 | -16.18 | -18.31 | -18.31 |
| 168 | -18.31 | -18.31 | -19.37 |
| 170 | -19.37 | -19.37 | -19.37 |
| 172 | -20.44 | -19.37 | -19.37 |
| 174 | -19.37 | -18.31 | -18.31 |
| 176 | -18.31 | -19.37 | -18.31 |
| 178 | -18.31 | -18.31 | -18.31 |
| 180 | -18.31 | -18.31 | -17.24 |
| 182 | -17.24 | -16.18 | -16.18 |
| 184 | -16.18 | -16.18 | -16.18 |
| 186 | -17.24 | -17.24 | -16.18 |
| 188 | -18.31 | -17.24 | -17.24 |
| 190 | -19.37 | -18.31 | -18.31 |
| 192 | -20.44 | -18.31 | -17.24 |
| 194 | -19.37 | -18.31 | -18.31 |
| 196 | -18.31 | -18.31 | -19.37 |
| 198 | -19.37 | -19.37 | -19.37 |
| 200 | -18.31 | -19.37 | -18.31 |
| 202 | -18.31 | -18.31 | -17.24 |
| 204 | -17.24 | -17.24 | -16.18 |
| 206 | -16.18 | -16.18 | -16.18 |
| 208 | -15.11 | -17.24 | -15.11 |
| 210 | -15.11 | -16.18 | -14.05 |
| 212 | -14.05 | -15.11 | -16.18 |
| 214 | -12.98 | -15.11 | -14.05 |
| 216 | -11.92 | -14.05 | -16.18 |
| 218 | -11.92 | -12.98 | -12.98 |
| 220 | -11.92 | -11.92 | -11.92 |
| 222 | -10.85 | -10.85 | -10.85 |

### Apéndice 3. Propiedades texturales de masa y tortilla.

Tabla 16. Propiedades texturales de masa fresca bajo la prueba de perfil de textura. Promedio, desviación estándar y coeficiente de variación.

| MASA FRESCA |          | Dureza (N) | Cohesividad | Resiliencia | Índice elástico |        | Gomosidad (N) |
|-------------|----------|------------|-------------|-------------|-----------------|--------|---------------|
|             |          |            |             |             | Instantáneo     | Total  |               |
| MFCM        | x        | 21.467     | 0.25        | 0.089       | 0.078           | 0.293  | 5.393         |
|             | $\sigma$ | 0.339      | 0.009       | 0.003       | 0.001           | 0.018  | 0.231         |
|             | c.v      | 1.581      | 3.516       | 3.114       | 1.176           | 6.050  | 4.274         |
| MFSM        | x        | 20.180     | 0.248       | 0.083       | 0.069           | 0.300  | 5.010         |
|             | $\sigma$ | 0.616      | 0.004       | 0.002       | 0.004           | 0.010  | 0.143         |
|             | c.v      | 3.053      | 1.793       | 2.422       | 5.242           | 3.319  | 2.850         |
| MFCCM       | x        | 32.898     | 0.203       | 0.089       | 0.073           | 0.264  | 6.608         |
|             | $\sigma$ | 0.230      | 0.014       | 0.002       | 0.002           | 0.061  | 0.504         |
|             | c.v      | 0.699      | 6.92        | 2.029       | 2.760           | 23.119 | 7.625         |
| MFCSM       | x        | 28.858     | 0.192       | 0.086       | 0.069           | 0.227  | 5.903         |
|             | $\sigma$ | 0.986      | 0.008       | 0.001       | 0.003           | 0.010  | 0.212         |
|             | c.v      | 3.301      | 4.167       | 0.702       | 4.348           | 4.235  | 3.596         |
| MFCRCM      | x        | 38.516     | 0.191       | 0.089       | 0.073           | 0.226  | 6.142         |
|             | $\sigma$ | 0.227      | 0.019       | 0.004       | 0.005           | 0.021  | 0.182         |
|             | c.v      | 0.589      | 9.679       | 4.189       | 6.155           | 9.375  | 2.962         |
| MFCSRSM     | x        | 23.142     | 0.183       | 0.091       | 0.076           | 0.214  | 7.206         |
|             | $\sigma$ | 1.868      | 0.006       | 0.002       | 0.003           | 0.008  | 0.184         |
|             | c.v      | 5.520      | 3.054       | 2.222       | 3.518           | 3.900  | 2.555         |

Tabla 17. Propiedades texturales de masa de harina bajo la prueba de perfil de textura.

Promedio, desviación estándar y coeficiente de variación.

| MASA HARINA |          | Dureza (N) | Cohesividad | Resiliencia | Índice elástico |       | Gomosidad (N) |
|-------------|----------|------------|-------------|-------------|-----------------|-------|---------------|
|             |          |            |             |             | Instantáneo     | Total |               |
| MHSM        | X        | 28.644     | 0.189       | 0.079       | 0.074           | 0.18  | 3.568         |
|             | $\sigma$ | 0.3425     | 0.006       | 0.001       | 0.002           | 0.008 | 0.17          |
|             | c.v      | 1.285      | 3.2         | 1.092       | 2.99            | 4.693 | 3.438         |
| MHCM        | X        | 26.31      | 0.188       | 0.083       | 0.077           | 0.185 | 5.188         |
|             | $\sigma$ | 0.061      | 0.006       | 0.002       | 0.003           | 0.003 | 0.093         |
|             | c.v.     | 0.216      | 3.353       | 2.662       | 3.436           | 1.551 | 1.784         |
| MHCSM       | X        | 27.955     | 0.186       | 0.086       | 0.077           | 0.184 | 5.27          |
|             | $\sigma$ | 0.274      | 0.012       | 0.003       | 0.005           | 0.015 | 0.09          |
|             | c.v.     | 1.524      | 6.387       | 3.674       | 6.771           | 8.146 | 1.701         |

Continuación de la Tabla 17.

|        |          |        |       |       |       |       |       |
|--------|----------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| MHCCM  | X        | 19.452 | 0.187 | 0.08  | 0.064 | 0.175 | 4.933 |
|        | $\sigma$ | 0.403  | 0.003 | 0.001 | 0.003 | 0.003 | 0.122 |
|        | c.v.     | 1.367  | 1.604 | 1.759 | 5.024 | 1.774 | 3.422 |
| MHCRSM | X        | 29.131 | 0.179 | 0.087 | 0.073 | 0.174 | 6.603 |
|        | $\sigma$ | 0.735  | 0.007 | 0.001 | 0.004 | 0.009 | 0.267 |
|        | c.v.     | 1.98   | 3.74  | 1.461 | 4.768 | 5.297 | 4.042 |
| MHCRCM | X        | 31.811 | 0.19  | 0.08  | 0.063 | 0.183 | 3.879 |
|        | $\sigma$ | 0.35   | 0.004 | 0.003 | 0.004 | 0.007 | 0.031 |
|        | c.v.     | 1.101  | 1.981 | 3.66  | 6.077 | 4.048 | 0.796 |

Tabla 18. Propiedades texturales de la mezcla de masa fresca y masa de harina bajo la prueba de perfil de textura. Promedio, desviación estándar y coeficiente de variación.

| MEZCLA |          | Dureza (N) | Cohesividad | Resiliencia | Índice elástico |        | Gomosidad (N) |
|--------|----------|------------|-------------|-------------|-----------------|--------|---------------|
|        |          |            |             |             | Instantáneo     | Total  |               |
| MMSM   | x        | 21.9       | 0.196       | 0.0851      | 0.071           | 0.2094 | 4.6346        |
|        | $\sigma$ | 0.56       | 0.01        | 0.0029      | 0.0044          | 0.0125 | 0.2832        |
|        | c.v.     | 2.556      | 5.102       | 3.408       | 6.197           | 5.969  | 6.111         |
| MMCM   | x        | 18.013     | 0.215       | 0.0786      | 0.0758          | 0.2318 | 3.9217        |
|        | $\sigma$ | 0.176      | 0.004       | 0.0009      | 0.0014          | 0.008  | 0.0732        |
|        | c.v.     | 0.976      | 2.095       | 1.1622      | 1.8995          | 3.432  | 1.8661        |
| MMCSM  | x        | 27.233     | 0.215       | 0.0841      | 0.0728          | 0.228  | 4.9142        |
|        | $\sigma$ | 0.422      | 0.009       | 0.0027      | 0.0071          | 0.0106 | 0.0982        |
|        | c.v.     | 1.741      | 4.192       | 3.2275      | 9.3325          | 4.6451 | 1.9978        |
| MMCCM  | x        | 23.962     | 0.195       | 0.0845      | 0.0728          | 0.2086 | 4.498         |
|        | $\sigma$ | 0.766      | 0.005       | 0.002       | 0.003           | 0.0093 | 0.1539        |
|        | c.v.     | 3.196      | 2.564       | 2.367       | 4.121           | 4.458  | 3.422         |
| MMCRSM | x        | 34.199     | 0.184       | 0.0884      | 0.074           | 0.1914 | 6.5121        |
|        | $\sigma$ | 0.234      | 0.012       | 0.0021      | 0.0026          | 0.0089 | 0.3067        |
|        | c.v.     | 0.653      | 6.285       | 2.3371      | 3.5388          | 4.6707 | 4.7089        |
| MMCRCM | x        | 32.873     | 0.185       | 0.0875      | 0.0703          | 0.1947 | 6.3538        |
|        | $\sigma$ | 0.212      | 0.009       | 0.0009      | 0.0051          | 0.0123 | 0.1746        |
|        | c.v.     | 0.625      | 5.128       | 1.0659      | 7.0141          | 6.3334 | 2.7476        |



Tabla 19. Propiedades texturales de masa fresca bajo la prueba de Adhesividad. Promedio, desviación estándar y coeficiente de variación.

| MASA FRESCA |          | Fuerza adhesiva (N) | Trabajo adhesivo (Ns) | Trabajo cohesivo (N s) | Adhesividad (N s) | Estiramiento (mm) |
|-------------|----------|---------------------|-----------------------|------------------------|-------------------|-------------------|
| MFPCM       | x        | 2.765               | 0.938                 | 0.331                  | 0.979             | 2.784             |
|             | $\sigma$ | 26.829              | 11.625                | 4.217                  | 2.666             | 0.312             |
|             | c.v      | 9.701               | 2.390                 | 2.721                  | 2.721             | 11.203            |
| MFMSM       | X        | 3.32761             | 0.815                 | 0.271                  | 0.770             | 2.124             |
|             | $\sigma$ | 26.484              | 3.160                 | 1.165                  | 1.563             | 0.100             |
|             | c.v      | 11.993              | 9.226                 | 5.173                  | 4.574             | 6.282             |
| MFCCM       | x        | 2.224               | 0.321                 | 0.239                  | 0.435             | 1.625             |
|             | $\sigma$ | 6.468               | 6.328                 | 4.175                  | 0.740             | 0.050             |
|             | c.v      | 3.044               | 9.602                 | 17.964                 | 1.712             | 3.077             |
| MFCSM       | x        | 2.538               | 0.321                 | 0.216                  | 0.322             | 1.651             |
|             | $\sigma$ | 26.784              | 3.160                 | 1.165                  | 1.563             | 0.100             |
|             | c.v      | 11.993              | 9.626                 | 5.373                  | 4.874             | 6.028             |
| MFCRSM      | x        | 2.024               | 0.305                 | 0.227                  | 0.368             | 1.681             |
|             | $\sigma$ | 6.767               | 4.949                 | 4.604                  | 4.365             | 0.180             |
|             | c.v      | 3.189               | 5.989                 | 20.875                 | 2.112             | 10.700            |
| MFCRCM      | x        | 2.155               | 0.314                 | 0.325                  | 0.407             | 1.600             |
|             | $\sigma$ | 12.138              | 5.653                 | 5.586                  | 3.177             | 0.000             |
|             | c.v      | 5.635               | 7.756                 | 7.443                  | 7.823             | 0.000             |

Tabla 20. Propiedades texturales de masa de harina bajo la prueba de Adhesividad. Promedio, desviación estándar y coeficiente de variación.

| MASA HARINA |          | Fuerza adhesiva (N) | Trabajo adhesivo (Ns) | Trabajo cohesivo (N s) | Adhesividad (N s) | Estiramiento (mm) |
|-------------|----------|---------------------|-----------------------|------------------------|-------------------|-------------------|
| MHCM        | x        | 2.289               | 0.202                 | 0.233                  | 0.244             | 1.182             |
|             | $\sigma$ | 30.821              | 2.279                 | 3.559                  | 3.011             | 0.268             |
|             | c.v      | 17.983              | 10.933                | 14.874                 | 12.436            | 14.021            |

Continuación de la Tabla 20.

|        |          |        |         |        |        |        |
|--------|----------|--------|---------|--------|--------|--------|
| MHSM   | x        | 2.213  | 0.201   | 0.185  | 0.233  | 0.856  |
|        | $\sigma$ | 17.167 | 2.369   | 1.914  | 2.341  | 0.11   |
|        | c.v      | 10.052 | 11.721  | 10.224 | 10.03  | 12.797 |
| MHCCM  | x        | 1.572  | 0.068   | 1.614  | 1.324  | 0.834  |
|        | $\sigma$ | 10.546 | 0.889   | 0.747  | 3.141  | 0.15   |
|        | c.v      | 7.132  | 12.873  | 4.577  | 22.722 | 17.998 |
| MHCSM  | x        | 2.862  | 0.054   | 1.315  | 1.689  | 1      |
|        | $\sigma$ | 19.882 | 1.322   | 2.246  | 2.259  | 0.231  |
|        | c.v      | 14.064 | 22.061  | 16.373 | 13.297 | 23.094 |
| MHCRSM | x        | 1.428  | -1.479  | 1.643  | 1.526  | 1.041  |
|        | $\sigma$ | 18.655 | 2.652   | 2.288  | 3.172  | 0.22   |
|        | c.v      | 14.393 | -18.836 | 14.089 | 1.917  | 21.107 |
| MHCRCM | x        | 1.4502 | -1.688  | 1.924  | 16.838 | 0.807  |
|        | $\sigma$ | 5.036  | 2.717   | 1.326  | 1.795  | 0.091  |
|        | c.v      | 3.818  | -16.378 | 6.755  | 10.661 | 11.279 |

Tabla 21. Propiedades texturales de la mezcla de masa fresca y masa de harina bajo la prueba de Adhesividad. Promedio, desviación estándar y coeficiente de variación.

| MASA MEZCLA |          | Fuerza adhesiva (g) | Trabajo adhesivo (g s) | Trabajo cohesivo (g s) | Adhesividad (g s) | Estiramiento (mm) |
|-------------|----------|---------------------|------------------------|------------------------|-------------------|-------------------|
| MMCM        | x        | 2.914               | 0.422                  | 0.394                  | 0.653             | 1.701             |
|             | $\sigma$ | 25.786              | 5.351                  | 1.73                   | 6.498             | 0.2               |
|             | c.v      | 9.641               | 12.524                 | 4.398                  | 9.937             | 11.73             |
| MMSM        | x        | 2.674               | 0.737                  | 0.455                  | 0.906             | 2.502             |
|             | $\sigma$ | 16.597              | 16.092                 | 5.165                  | 11.415            | 0.383             |
|             | c.v      | 5.694               | 21.99                  | 11.388                 | 12.647            | 15.331            |
| MMCCM       | x        | 2.884               | 0.553                  | 0.383                  | 0.771             | 2.4               |
|             | $\sigma$ | 13.439              | 3.867                  | 5.514                  | 10.312            | 0                 |
|             | c.v      | 4.652               | 6.985                  | 14.324                 | 13.34             | 0                 |
| MMCSM       | x        | 2.873               | 0.728                  | 0.254                  | 0.587             | 1.801             |
|             | $\sigma$ | 25.857              | 12.803                 | 6.811                  | 7.299             | 0.4               |
|             | c.v      | 10.012              | 17.751                 | 26.223                 | 12.443            | 22.185            |

Continuación de la Tabla 21.

|        |          |        |        |        |        |       |
|--------|----------|--------|--------|--------|--------|-------|
| MMCRSM | x        | 1.578  | 0.165  | 0.238  | 0.248  | 1.201 |
|        | $\sigma$ | 24.017 | 0.986  | 3.904  | 1.219  | 0.282 |
|        | c.v      | 15.205 | 5.976  | 16.418 | 5.043  | 23.47 |
| MMCRCM | x        | 2.012  | 0.317  | 0.252  | 0.256  | 1.501 |
|        | $\sigma$ | 17.931 | 4.828  | 3.224  | 9.763  | 0.201 |
|        | c.v      | 9.567  | 15.209 | 12.403 | 38.097 | 13.36 |

Tabla 22. Propiedades texturales de tortillas elaboradas de masa fresca bajo la prueba de rollabilidad. Promedio, desviación estándar y coeficiente de variación.

| MASA FRESCA |           | Trabajo total (N mm) | Fuerza Máxima Promedio (N) |
|-------------|-----------|----------------------|----------------------------|
| MFCM        | $\bar{x}$ | 0.00102              | 0.15580                    |
|             | $\Sigma$  | 0.00008              | 0.01542                    |
|             | c.v       | 8.11893              | 9.90029                    |
| MFSM        | $\bar{x}$ | 0.00081              | 0.14975                    |
|             | $\sigma$  | 0.00005              | 0.01466                    |
|             | c.v       | 5.92509              | 9.78967                    |
| MFCCM       | $\bar{x}$ | 0.00187              | 0.23533                    |
|             | $\sigma$  | 0.00015              | 0.02260                    |
|             | c.v       | 7.83772              | 9.60284                    |
| MFCSM       | $\bar{x}$ | 0.00317              | 0.34380                    |
|             | $\sigma$  | 0.00032              | 0.02081                    |
|             | c.v       | 10.18571             | 4.75083                    |
| MFCRSM      | $\bar{x}$ | 0.00492              | 0.43450                    |
|             | $\sigma$  | 0.00033              | 0.04029                    |
|             | c.v       | 6.73804              | 9.27192                    |
| MFCRCM      | $\bar{x}$ | 0.00281              | 0.35250                    |
|             | $\sigma$  | 0.00011              | 0.03017                    |
|             | c.v       | 4.06506              | 8.55936                    |

Tabla 23. Propiedades texturales de tortillas elaboradas de masa de harina bajo la prueba de rollabilidad. Promedio, desviación estándar y coeficiente de variación.

| MASA HARINA |           | Trabajo total<br>(N mm) | Fuerza Máxima Promedio<br>(N). |
|-------------|-----------|-------------------------|--------------------------------|
| MHCM        | $\bar{x}$ | 0.0018                  | 0.1560                         |
|             | $\sigma$  | 0.0002                  | 0.0130                         |
|             | c.v       | 8.5512                  | 8.0770                         |
| MHSM        | $\bar{x}$ | 0.0021                  | 0.1937                         |
|             | $\sigma$  | 0.0001                  | 0.0179                         |
|             | c.v       | 4.6921                  | 9.2416                         |
| MHCCM       | $\bar{x}$ | 0.0014                  | 0.1805                         |
|             | $\sigma$  | 0.0002                  | 0.0196                         |
|             | c.v       | 17.1418                 | 10.8800                        |
| MHCSM       | $\bar{x}$ | 0.0012                  | 0.1627                         |
|             | $\sigma$  | 0.0001                  | 0.0145                         |
|             | c.v       | 9.9455                  | 8.9157                         |
| MHCRSM      | $\bar{x}$ | 0.0018                  | 0.2170                         |
|             | $\sigma$  | 0.0001                  | 0.0120                         |
|             | c.v       | 7.3217                  | 5.5300                         |
| MHCRCM      | $\bar{x}$ | 0.0016                  | 0.1770                         |
|             | $\sigma$  | 0.0001                  | 0.0132                         |
|             | c.v       | 7.5169                  | 7.4453                         |

Tabla 24. Propiedades texturales de tortillas elaboradas de mezcla de masa fresca y masa de harina bajo la prueba de rollabilidad. Promedio, desviación estándar y coeficiente de variación.

| MASA MEZCLA |          | Trabajo total<br>(N mm) | Fuerza Máxima Promedio<br>(N). |
|-------------|----------|-------------------------|--------------------------------|
| MMCM        | x        | 0.00071                 | 0.117                          |
|             | $\sigma$ | 0.00008                 | 0.005                          |
|             | c.v      | 10.73446                | 4.104                          |

Continuación de la Tabla 24.

|        |          |          |         |
|--------|----------|----------|---------|
| MMSM   | X        | 0.00085  | 0.139   |
|        | $\sigma$ | 0.00009  | 0.013   |
|        | c.v      | 10.91549 | 9.67    |
| MMCCM  | x        | 0.0025   | 0.267   |
|        | $\sigma$ | 0.00016  | 0.01852 |
|        | c.v      | 6.26081  | 6.93643 |
| MMCSM  | X        | 0.00118  | 0.179   |
|        | $\sigma$ | 0.00014  | 0.014   |
|        | c.v      | 12.07483 | 8.05    |
| MMCRSM | X        | 0.00168  | 0.287   |
|        | $\sigma$ | 0.00008  | 0.02352 |
|        | c.v      | 4.64896  | 8.19371 |
| MMCRCM | X        | 0.00234  | 0.357   |
|        | $\sigma$ | 0.00018  | 0.021   |
|        | c.v      | 7.78776  | 5.951   |

Tabla 25. Propiedades texturales de tortillas elaboradas de masa fresca bajo la prueba de extensibilidad. Promedio, desviación estándar y coeficiente de variación.

| MASAS FRESCA |          | Fuerza de ruptura (N) | Distancia de ruptura (mm) | Trabajo de ruptura (N mm) | Resistencia final (N/mm) |
|--------------|----------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| MFCM         | x        | 8.381                 | 17.558                    | 46.255                    | 1.0117                   |
|              | $\sigma$ | 0.77                  | 1.441                     | 3.683                     | 0.0774                   |
|              | c.v      | 9.189                 | 8.208                     | 7.962                     | 7.653                    |
| MFSM         | x        | 9.7997                | 17.82                     | 51.0263                   | 1.09                     |
|              | $\sigma$ | 0.9012                | 1.0261                    | 3.5425                    | 0.1125                   |
|              | c.v      | 9.1963                | 5.7581                    | 6.9424                    | 10.3181                  |
| MFCCM        | x        | 9.0103                | 14.488                    | 48.2447                   | 1.0003                   |
|              | $\sigma$ | 0.771                 | 0.917                     | 4.5525                    | 0.0666                   |
|              | c.v      | 8.5569                | 6.331                     | 9.4364                    | 6.6561                   |
| MFCSM        | x        | 11.224                | 16.185                    | 46.3843                   | 0.9565                   |
|              | $\sigma$ | 0.6698                | 1.047                     | 2.5413                    | 0.0736                   |
|              | c.v      | 8.1118                | 6.47                      | 5.4788                    | 7.6971                   |

Continuación de la Tabla 25.

|        |          |        |        |         |       |
|--------|----------|--------|--------|---------|-------|
| MFCRSM | x        | 11.83  | 18.881 | 64.3093 | 1.296 |
|        | $\sigma$ | 1.222  | 1.176  | 6.208   | 0.104 |
|        | c.v      | 10.327 | 6.229  | 9.6533  | 8.002 |
| MFCRCM | X        | 8.224  | 15.858 | 59.9643 | 1.282 |
|        | $\sigma$ | 1.164  | 1.169  | 2.7915  | 0.11  |
|        | c.v      | 10.367 | 7.369  | 4.6552  | 8.611 |

Tabla 26. Propiedades texturales de tortillas elaboradas de masa harina bajo la prueba de extensibilidad. Promedio, desviación estándar y coeficiente de variación.

| MASAS HARINA |           | Fuerza de ruptura (N) | Distancia de ruptura (mm) | Trabajo de ruptura (N mm) | Resistencia final (N/mm) |
|--------------|-----------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| MHCM         | $\bar{x}$ | 5.4780                | 10.8603                   | 24.4245                   | 0.7930                   |
|              | $\sigma$  | 0.5860                | 0.5182                    | 2.5507                    | 0.0610                   |
|              | c.v       | 10.6890               | 4.7714                    | 10.4431                   | 7.7440                   |
| MHSM         | $\bar{x}$ | 4.7880                | 15.8677                   | 18.5940                   | 0.7730                   |
|              | $\sigma$  | 0.3780                | 0.4480                    | 1.9530                    | 0.0460                   |
|              | c.v       | 7.8910                | 2.8232                    | 10.5020                   | 5.9950                   |
| MHCCM        | $\bar{x}$ | 3.9640                | 11.9330                   | 16.1298                   | 0.5560                   |
|              | $\sigma$  | 0.4170                | 0.7830                    | 1.6847                    | 0.0480                   |
|              | c.v       | 10.5130               | 6.5640                    | 10.4446                   | 8.5500                   |
| MHCSM        | $\bar{x}$ | 4.280                 | 9.8710                    | 15.4818                   | 0.5860                   |
|              | $\sigma$  | 0.3890                | 0.8161                    | 1.3418                    | 0.0330                   |
|              | c.v       | 10.5530               | 8.2672                    | 8.6672                    | 5.5600                   |
| MHCRSM       | $\bar{x}$ | 4.420                 | 9.7227                    | 14.3320                   | 0.6160                   |
|              | $\sigma$  | 0.2930                | 0.5608                    | 0.9340                    | 0.0580                   |
|              | c.v       | 7.7900                | 5.7683                    | 6.5210                    | 9.3830                   |
| MHCRCM       | $\bar{x}$ | 4.088                 | 8.7203                    | 13.2800                   | 0.6540                   |
|              | $\sigma$  | 0.2792                | 0.5453                    | 0.8426                    | 0.0570                   |
|              | c.v       | 7.0912                | 6.2537                    | 6.3450                    | 8.7660                   |

Tabla 27. Propiedades texturales de tortillas elaboradas de la mezcla de masa fresca y masa de harina bajo la prueba de extensibilidad. Promedio, desviación estándar y coeficiente de variación.

| MASAS HARINA |           | Fuerza de ruptura (N) | Distancia de ruptura (mm) | Trabajo de ruptura (N mm) | Resistencia final (N/mm) |
|--------------|-----------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| MMCM         | $\bar{x}$ | 8.938                 | 17.806                    | 68.997                    | 1.355                    |
|              | $\sigma$  | 0.676                 | 1.475                     | 4.215                     | 0.107                    |
|              | c.v       | 8.208                 | 8.282                     | 6.108                     | 7.889                    |
| MMSM         | $\bar{x}$ | 8.828                 | 16.508                    | 38.527                    | 1.122                    |
|              | $\sigma$  | 0.676                 | 1.198                     | 3.401                     | 0.085                    |
|              | c.v       | 8.208                 | 7.255                     | 8.827                     | 7.602                    |
| MMCCM        | $\bar{x}$ | 7.727                 | 13.931                    | 30.002                    | 0.831                    |
|              | $\sigma$  | 0.506                 | 1.196                     | 1.907                     | 0.070                    |
|              | c.v       | 7.747                 | 8.586                     | 6.357                     | 8.414                    |
| MMCSM        | $\bar{x}$ | 6.267                 | 13.060                    | 29.107                    | 0.827                    |
|              | $\sigma$  | 0.318                 | 0.758                     | 2.256                     | 0.062                    |
|              | c.v       | 5.070                 | 5.802                     | 7.750                     | 7.514                    |
| MMCRCM       | $\bar{x}$ | 11.467                | 17.806                    | 62.200                    | 1.355                    |
|              | $\sigma$  | 1.245                 | 1.475                     | 8.785                     | 0.107                    |
|              | c.v       | 10.858                | 8.282                     | 14.124                    | 7.889                    |
| MMCRSM       | $\bar{x}$ | 9.128                 | 16.508                    | 38.527                    | 1.122                    |
|              | $\sigma$  | 1.223                 | 1.198                     | 3.401                     | 0.085                    |
|              | c.v       | 10.306                | 7.255                     | 8.827                     | 7.602                    |

Tabla 28. Propiedades texturales de tortillas elaboradas de masa fresca bajo la prueba de tensión. Promedio, desviación estándar y coeficiente de variación.

| MASA FRESCA |           | Trabajo de ruptura<br>(N mm) | Fuerza de<br>ruptura (N) | Distancia de<br>ruptura (mm) |
|-------------|-----------|------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| MFCM        | $\bar{x}$ | 30.1463                      | 6.458                    | 6.644                        |
|             | $\sigma$  | 2.8523                       | 0.2796                   | 0.677                        |
|             | c.v       | 9.4616                       | 5.3402                   | 10.19                        |
| MFSM        | $\bar{x}$ | 34.854                       | 6.805                    | 8.598                        |
|             | $\sigma$  | 2.902                        | 0.321                    | 0.77                         |
|             | c.v       | 8.326                        | 5.957                    | 8.953                        |
| MFCCM       | $\bar{x}$ | 43.6783                      | 5.514                    | 11.6040                      |
|             | $\sigma$  | 4.5041                       | 0.5660                   | 0.9740                       |
|             | c.v       | 10.3121                      | 8.7570                   | 8.3940                       |
| MFCSM       | $\bar{x}$ | 44.9217                      | 5.407                    | 10.3760                      |
|             | $\sigma$  | 2.0122                       | 0.2951                   | 0.6160                       |
|             | c.v       | 4.4794                       | 4.3366                   | 5.9350                       |
| MFCRCM      | $\bar{x}$ | 45.4030                      | 7.7438                   | 12.1000                      |
|             | $\sigma$  | 2.4377                       | 0.6559                   | 1.3255                       |
|             | c.v       | 5.3691                       | 8.4699                   | 10.9548                      |
| MFCRSM      | $\bar{x}$ | 61.9480                      | 8.1520                   | 11.2963                      |
|             | $\sigma$  | 5.4486                       | 0.4537                   | 0.2136                       |
|             | c.v       | 8.7955                       | 5.3685                   | 1.8911                       |

Tabla 29. Propiedades texturales de tortillas elaboradas de masa de harina bajo la prueba de tensión. Promedio, desviación estándar y coeficiente de variación.

| MASA HARINA |          | Trabajo de ruptura<br>(N mm) | Fuerza<br>ruptura (N) | Distancia de<br>ruptura (mm) |
|-------------|----------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| MHCM        | x        | 14.901                       | 4.265                 | 8.413                        |
|             | $\sigma$ | 2.071                        | 0.295                 | 0.553                        |
|             | c.v      | 13.895                       | 8.693                 | 6.572                        |



Continuación de la Tabla 29.

|        |          |        |       |       |
|--------|----------|--------|-------|-------|
| MHSM   | X        | 14.032 | 4.206 | 6.27  |
|        | $\sigma$ | 0.723  | 0.143 | 0.398 |
|        | c.v      | 5.154  | 4.213 | 6.355 |
| MHCCM  | x        | 23.705 | 3.396 | 8.036 |
|        | $\sigma$ | 2.406  | 0.324 | 0.558 |
|        | c.v      | 10.15  | 7.695 | 6.943 |
| MHCSM  | x        | 22.205 | 3.406 | 7.428 |
|        | $\sigma$ | 2.435  | 0.315 | 0.47  |
|        | c.v      | 10.965 | 7.392 | 6.324 |
| MHCRCM | x        | 22.399 | 3.899 | 8.594 |
|        | $\sigma$ | 0.22   | 0.076 | 0.189 |
|        | c.v      | 0.983  | 1.962 | 2.194 |
| MHCRSM | x        | 18.789 | 4.318 | 6.936 |
|        | $\sigma$ | 1.582  | 0.257 | 0.467 |
|        | c.v      | 8.419  | 6.416 | 6.731 |

Tabla 30. Propiedades texturales de tortillas elaboradas de la mezcla de masa fresca y masa de harina de maíz nixtamalizado bajo la prueba de tensión. Promedio, desviación estándar y coeficiente de variación.

| MASA MEZCLA |          | Trabajo de ruptura (N mm) | Fuerza de ruptura (N) | Distancia de ruptura (mm) |
|-------------|----------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|
| MMCM        | x        | 27.038                    | 7.147                 | 9.311                     |
|             | $\sigma$ | 3.067                     | 0.476                 | 0.472                     |
|             | c.v      | 11.342                    | 9.24                  | 5.072                     |
| MMSM        | x        | 29.884                    | 6.782                 | 6.938                     |
|             | $\sigma$ | 8.58                      | 0.802                 | 0.982                     |
|             | c.v      | 28.712                    | 11.827                | 14.155                    |
| MMCCM       | x        | 38.763                    | 4.802                 | 11.442                    |
|             | $\sigma$ | 4.221                     | 0.437                 | 1.166                     |
|             | c.v      | 10.889                    | 9.106                 | 10.193                    |

Continuación de la Tabla 30.

|        |          |         |        |        |
|--------|----------|---------|--------|--------|
| MMCSM  | x        | 28.8563 | 4.894  | 10.193 |
|        | $\sigma$ | 0.7094  | 0.0954 | 0.3466 |
|        | c.v      | 2.4584  | 2.2222 | 3.3999 |
| MMCRCM | x        | 30.329  | 4.361  | 10.193 |
|        | $\sigma$ | 2.591   | 0.448  | 0.347  |
|        | c.v      | 8.544   | 10.266 | 3.4    |
| MMCRSM | x        | 42.634  | 3.891  | 8.995  |
|        | $\sigma$ | 4.217   | 0.212  | 0.972  |
|        | c.v      | 9.891   | 3.031  | 10.808 |