



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN.

20

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN



Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA CONGELACIÓN
POR AIRE EN LAS PROPIEDADES TEXTURALES DE
MASA Y TORTILLA ELABORADA CON HARINA DE
MAÍZ NIXTAMALIZADO (MASECA)”.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO EN ALIMENTOS
P R E S E N T A :
ALFONSO ROJAS MARTÍNEZ

ASESOR:
I.B.Q. 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.

	INDICE
	<i>Páginas</i>
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN.	1
1. MAIZ.	6
1.1 Estructura del grano y composición química.	6
1.2 Variedades de Maíz.	14
1.3 Diferencias entre variedades: composición química y propiedades físicas	16
1.4 Productos derivados del Maíz.	17
1.5 Producción de Maíz en México.	20
2. HARINA DE MAIZ NIXTAMALIZADA (HMN)	23
2.1 Definición.	23
2.2 Importancia Económica y tecnológica de la HMN	24
2.3 Estadísticas de producción de Harina de Maíz Nixtamalizada	25
2.4 Nuevas técnicas de producción de Harina de Maíz Nixtamalizada	27
2.5 Cambios físicos y químicos en el proceso de elaboración de Hanna de Maíz Nixtamalizada con relación al proceso tradicional y su efecto en la calidad de la Masa y Tortilla.	29
2.6 Fenómenos que modifican el gránulo de almidón	30
2.6.1 Gelatinización del Almidón.	30
2.6.2 Retrogradación del Almidón.	31
2.6.3 Interacciones entre Polímeros.	32
3. TORTILLA.	34
3.1. Definición	34
3.2 Importancia en México.	34
3.3 Desarrollo de la fabricación de Tortilla.	36
3.4 Nuevas tendencias: Tortillas empacadas.	37
3.5 Aditivos empleados en la elaboración de Tortillas con Harina de Maíz Nixtamalizada: objetivo, niveles de uso y cambios que ocasionan.	38
3.5.1. Conservadores.	38
3.5.2. Gomas.	39
3.5.3. Enzimas.	40
3.5.4. Otros aditivos.	41

	<i>Paginas</i>
4 TEXTURA	43
4 1 Métodos para la evaluación de ia Textura	43
4 2 Importancia de la textura en Masa y Tortillas	49
4 3 Propiedades Texturales importantes en Masa y Tortillas	50
4 4 Métodos de evaluación de Textura en Masa y Tortillas	50
4 4 1 Pruebas subjetivas.	51
4 4 2 Pruebas objetivas	52
5. MATERIALES Y MÉTODOS	54
Objetivos general y particulares	54
5.1. Materia Prima.	56
5.2. Equipo utilizado en las actividades previas	57
5.3 Descripción de actividades previas	57
5 3.1. Montaje de pruebas de Textura de Masa y Tortillas	57
5.3.2. Dispersión de la goma (Methocel)	58
5.3.3. Estandarización del proceso de elaboración de Masa y Tortillas de Harina de Maiz Nixtamalizada (HMN) Masoca	58
5.3.4. Preparación de la Masa.	59
5.3.5. Elaboración de Tortillas	59
5.3.6. Maquinabilidad en Masa y Tortillas	60
5.3.7. Congelación de la Masa y Tortillas.	60
5.3.8. Determinación del tiempo de calentamiento y descongelación de la Masa y de las Tortillas por Horno de microondas.	62
5.4. Métodos.	62
5.4.1. Determinación de la humedad.	62
5.4.2. Análisis granulométrico.	63
5.4.2.1 Determinación del tamaño de partícula por tamizado.	63
5.4.3. Evaluación de las propiedades de Textura en Masa.	64
5.4.3.1. TPA de Masa.	64
5.4.3.2. Adhesividad de Masa.	66
5.4.3.3. Extrusión positiva en Masa.	68

	<i>Páginas</i>
5.4.4 Evaluación de las propiedades de Textura en Tortillas	69
5.4.4.1 TPA de Tortillas	69
5.4.4.2 Prueba de corte en Tortilla enrollada	70
5.4.4.3 Extensibilidad de Tortillas	71
5.4.4.4 Rollabilidad subjetiva	73
5.4.5 Análisis estadístico	73
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	74
6.1 Humedad y lamaño de partícula de la MMN	74
6.2 Estandarización del proceso de elaboración de Tortillas	74
6.3 Determinación de la humedad de la Masa y Tortillas a diferentes condiciones	81
6.4 Evaluación de las propiedades de Textura en Masa	82
6.4.1 Prueba de TPA	83
6.4.2 Prueba de Adhesividad	87
6.4.3 Extrusión positiva	91
6.5 Evaluación de las propiedades de Textura en Tortillas	94
6.5.1 Prueba de TPA	94
6.5.2 Corte de Tortilla enrollada	99
6.5.3 Extensibilidad de tortilla	102
6.5.4. Rollabilidad Subjetiva	106
CONCLUSIONES	108
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	110
ANEXO 1	115
ANEXO 2.	129

Resumen

En el presente trabajo se evaluó el efecto que provoca la congelación por aire en las propiedades texturales de masa y tortillas elaboradas con harina de maíz nixtamalizado Maseca M.R, con el fin de determinar que conviene más, si congelar directamente las tortillas o congelar primero la masa y luego elaborar las tortillas. Se empleó, además, un aditivo a 0.15 % en base seca, hidroxipropil metil celulosa (methocel), con la finalidad de reducir los efectos que puede ocasionar la congelación en la textura de estos productos.

Las condiciones de elaboración tanto de la masa como de las tortillas, se preestablecieron de acuerdo al equipo y materiales dispuestos en el laboratorio de propiedades reológicas y funcionales en alimentos, tratando de asemejar lo más posible a la masa y tortillas comerciales. Las mejores condiciones de trabajo son las siguientes: preparación de una masa, a una humedad de 60% y una cocción en estufa de mesa de dos apagadores y a una flama media, con tres periodos de tiempo de 45 s cada uno, en una placa de acero inoxidable.

La temperatura de congelación estudiada fue de -18°C en ambos, masa y tortilla. Se utilizaron bolsas de polietileno con cierre hermético, el peso y forma del producto congelado se mantuvo constante, procurando no dejar aire dentro de la bolsa. De acuerdo con las condiciones determinadas se procedió a elaborar la masa y tortilla, en donde los tratamientos a manejar fueron: masa y tortilla sin congelar con y sin methocel; la tortilla congelada con y sin methocel; y congelación de la masa con y sin methocel para posteriormente elaborar las tortillas.

Los parámetros de textura más importantes fueron evaluados en las siguientes pruebas de textura: Masa; Análisis de perfil de Textura (TPA), Adhesividad, y Extrusión Positiva; en tortilla; Análisis de perfil de Textura (TPA), corte en rollo y extensibilidad. Además, en las tortillas se realizó una prueba subjetiva de rollabilidad. A todos los valores de textura obtenidos se les realizó el análisis de varianza y en donde reflejaba diferencias significativas se aplicó la prueba de Tukey.

En la discusión de los resultados de textura se tomó como punto de referencia a la masa y tortilla elaborada con harina de maíz nixtamalizada (HMN) sin congelar y sin goma. Observando que la concentración de goma o la congelación, o ambas condiciones, afectan la textura de la masa y tortilla. En la tortilla elaborada con masa fresca con y sin goma se observa un mayor efecto de la congelación reflejándose en una tortilla más dura, con menor extensibilidad y baja rollabilidad; caso contrario, en las tortillas elaboradas con masa congelada y en especial con goma, se obtienen las mejores características semejantes al testigo e inclusive una mayor extensibilidad, y por lo tanto más rollables, indicando que soportará más la manipulación a la que es sometida para su consumo en las diferentes formas (taco, uso como cuchara, doblarla a la mitad para quesadillas, etc)

Lo anterior indica que es más conveniente congelar primero la masa (con methocel) y luego elaborar la tortilla.

El cultivo y consumo de maíz en México desde la época precolombina y hasta nuestros días ha representado un papel básico en la alimentación de sus pobladores. La riqueza que presenta en cuanto a sus posibilidades de uso es muy grande en la industria de alimentos para consumo humano, en la industria de alimentos balanceados para animales y en muchas otras industrias diferentes a la alimentaria ⁽¹⁾

El maíz (*Zea mays L.*) y su principal forma de consumo, la tortilla, son los productos básicos de la alimentación en México, en algunos países de América Central y el sur de los Estados Unidos de Norteamérica. En México, este producto forma parte de la dieta diaria de todos los estratos sociales del país con un consumo diario de 325 g. Su consumo cobra mucha importancia en las zonas rurales más pobres y marginadas del país, donde provee aproximadamente el 70 % de las calorías totales y el 50 % de las proteínas ingeridas. Este alimento forma parte esencial de la denominada <<dieta indígena>> (constituida fundamentalmente por maíz y su complemento más accesible, el frijol) ^{(2),(7)}

En cuanto al mercado de la tortilla en México alcanza un volumen superior a los 10 millones de toneladas anuales ⁽²⁾, lo cual representa un promedio de 122 Kg. por persona al año. El valor real del mercado supera los 9 mil millones de pesos, que lo colocan entre las cinco industrias más importantes del país. Si todas las tortillas de maíz se produjeran con harina se requeriría de 5.8 millones de toneladas de esta materia prima, por lo que representa un mercado potencial adicional de 4.4 millones de toneladas anuales, tomando como base el mercado actual ⁽³⁾

La preferencia por la tortilla apenas fabricada y el carácter altamente perecedero de la materia prima básica, que es la masa nixtamalizada, influyen para que los establecimientos se ubiquen cerca del mercado y dentro de un radio de influencia intraurbano restringido (no más de medio kilómetro). Hoy en día la mayoría de las zonas cuentan con tortillerías donde se utiliza harina de maíz nixtamalizado. ⁽³⁾

Actualmente la harina de maíz no es empleada nada más por las amas de casa sino incluso representa una alternativa para la industria tortilladora porque reduce las mermas y el desperdicio del maíz, evita la pérdida de los nutrientes y tiene asegurado el control de calidad,

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.⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾

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 presencia de la tortillería como pequeña unidad de elaboración y venta tiende a desaparecer, lo mismo que la masa como un producto mercantil. Un fenómeno más reciente, es el de las grandes cadenas de supermercados que integran la tortillería como un servicio adicional. Ya que la diversidad de su oferta les permite conformar radios de consumo más amplios y atraen a un mayor número de clientes de todos los estratos sociales, los cuales gracias a la facilidad del automóvil, se desplazan desde distancias mayores.⁵⁾

Con relación a las características organolépticas de la tortilla, es de preferencia común que éstas sean flexibles y que se puedan recalentar. El nivel de humedad de la tortilla juega un papel importante en este aspecto. La tortilla debe tener suficiente humedad para recalentarse y mantenerse flexible. Tortillas con baja humedad se hacen rígidas. El sabor y aroma típicos a nixtamalizado son preferidos por muchos consumidores. Esto último es particularmente notable en mercados nuevos. Exceso de ácidos y conservadores son detectados por consumidores conocedores de tortilla. Se desean tortillas blancas o amarillas pero con tonalidades claras/brillantes. Los tonos de color grisáceo/verdosos son indeseables.⁽⁶⁾

El principal problema en la distribución comercial de las tortillas es su limitada vida de anaquel y el rápido envejecimiento de éstas. Mantener la frescura de las tortillas ha preocupado a productores y consumidores en México, puesto que la tortilla tiene una forma delgada (1-2 mm de espesor), es altamente susceptible a perder humedad y hacerse dura con una vida de anaquel relativa a la textura tan corta como 3 horas. Por esto, las tortillas son generalmente preparadas para consumirse calientes con muy buena calidad o de otra manera se necesita recalentarse donde una parte de sus atributos se pierden.⁽⁷⁾ Debido a esto, diversos investigadores han estudiado diferentes formas de disminuir o de eliminar dichos problemas. Esto, mediante la adición de conservadores, acidulantes, gomas, y algunos otros aditivos, aún

cuando las propiedades de las tortillas sufren ligeros cambios ¹⁶⁾

A continuación se hace referencia a algunos de los estudios que se han efectuado con respecto a la utilización de editores para la elaboración de la tortilla. El propósito de los

calidad. ¹¹²

Algunos investigadores, además, han estudiado la utilización de salvado y enzimas para el mejoramiento de la textura de tortillas de maíz. ¹⁶⁾ La masa conteniendo altos niveles de amilasas y hemicelulosas tienen significativamente mejor maquinabilidad, además de ser más blandas y menos rollable que las tortillas control. Combinaciones de CMC y amilasas mejoran la suavidad y la rollabilidad de la tortilla de maíz. ¹⁹⁾

En cuanto a estudios referente a procesos de bajas temperaturas, el almacenamiento en refrigeración prolonga también la vida de anaquel de las tortillas de maíz hasta por 8 días y podría ser una alternativa en lugar de la adición de agentes antimicrobianos y acidulantes. ¹⁷⁾ La gran desventaja de los aditivos antimicrobianos y retardadores del envejecimiento en tortillas es que proveen al producto de sabores indeseables por lo que son utilizados solo en caso necesarios (cuando las tortillas deberán ser almacenadas por largos periodos de tiempo). En México los conservadores no se usan en tortillerías por que el producto de este alimento es para consumo inmediato, pero en tortillas elaboradas industrialmente y empacadas para su venta en centros comerciales y tiendas de abarrotes si se emplean. ¹⁸⁾

Otra alternativa interesante de conservación de la masa y la tortilla, es la congelación, que permite el almacenamiento de los productos por periodos mas prolongados, inhibiendo el desarrollo de microorganismos y deteniendo reacciones químicas de deterioro. En la actualidad, algunos platillos preparados con masa de maíz nixtamalizada como tacos, quesadillas o enchiladas se expenden congelados para ser recalentados o fritos en el hogar. Lo anterior indica que la congelación también puede resultar en una alternativa para productos tan perecederos como la masa y la tortilla, tanto en el hogar como al nivel de centros comerciales o de restaurantes. Es obvio, que tanto la congelación como la descongelación pueden ocasionar cambios en las propiedades texturales de la masa y de la tortilla y éstos puedan ser evitados o minimizados con el uso de aditivos como gomas¹⁸⁾

Como es evidente, un factor fundamental en la aceptación de la tortilla por parte del consumidor es su textura. Propiedades texturales como dureza, extensibilidad rollabilidad, firmeza al corte, entre otras, son evaluadas por el consumidor durante las operaciones que el mismo efectúa con la tortilla durante su consumo. Estas mismas propiedades pueden ser evaluadas por medio de pruebas sensoriales e instrumentales. Las propiedades texturales de la

masa también son de primordial importancia pues estas determinan el desempeño de la misma durante el proceso de elaboración de la tortilla y repercuten en las propiedades de la misma. Así, masas excesivamente secas o adhesivas y pegajosas, no son aptas y producen tortillas de mala calidad.

Por lo tanto, el propósito de este trabajo es la evaluación del efecto de la congelación por aire (congelador doméstico) y la presencia de una goma (methocel) en las propiedades texturales de masa y tortilla elaboradas con harina de maíz nixtamalizada (maseca).

Lo anterior con la finalidad de determinar que es más conveniente desde el punto de vista de la textura de la tortilla, la congelación de ésta o de la masa. Se utilizaron los texturómetros TAXT2 y Lloyd TA 500 para efectuar pruebas de TPA, adhesividad extrusión positiva en masa y TPA, corte, extensibilidad en tortilla. Las pruebas se efectuarán en masa y tortilla frescas, masa congelada y descongelada por microondas, tortillas elaboradas con masa fresca, congeladas y descongeladas con microondas y tortillas elaboradas con masa congelada y descongelada por microondas.

1.1 ESTRUCTURA DEL GRANO Y COMPOSICIÓN QUÍMICA.

El grano de maíz se clasifica botánicamente como una cariósida, seco, indehisciente, con semillas individuales en el fruto. En esta clase de fruto, el ovario maduro no se separa fácilmente de la semilla, que es una característica de todos los granos de cereales. El grano de maíz se adhiere a la mazorca a través del pedicelo (Fig. 1.1) Además, durante el desarrollo del grano, los elementos se conducen por el pedicelo transportando los productos de la fotosíntesis. Una vez que el grano ha madurado el pedicelo sirve de sellador, sus partes anatómicas son: el germen, endospermo, aleurona, punta y pericarpio.⁽¹³⁾ Al desprenderse el grano del carozo queda una estructura cónica adherida al diente de maíz conocido como "cabeza" o punta.⁽³³⁾

Germen : El germen está compuesto por el embrión y el escutelo. El escutelo (fig. 1.1), funciona como órgano nutritivo del embrión y se conoce como la primera hoja; constituye del 10-12 % del peso seco del grano (tabla 1.2), y su función es la alimentación, pues ayuda a la digestión del endospermo durante el crecimiento inicial de la semilla, las paredes de las células del escutelo son gruesas y contienen numerosos hoyos y espacios intracelulares que facilitan el movimiento del material entre células. En el margen extremo del escutelo es una sola capa de células secretorias, que forman el contacto primario entre el germen y el endospermo.⁽³⁴⁾ El germen almacena nutrientes y hormonas que son movilizadas por elaboradas enzimas durante la etapa inicial de germinación.^{(33);(34)}

El germen es el mejor depósito de lípidos, el cual contiene un 83% del total de lípidos del grano. El germen, es potencialmente metabolizado en el tejido activo, contiene 70% del azúcar del grano y el 26% de la proteína del mismo (tabla 1.1)⁽¹³⁾

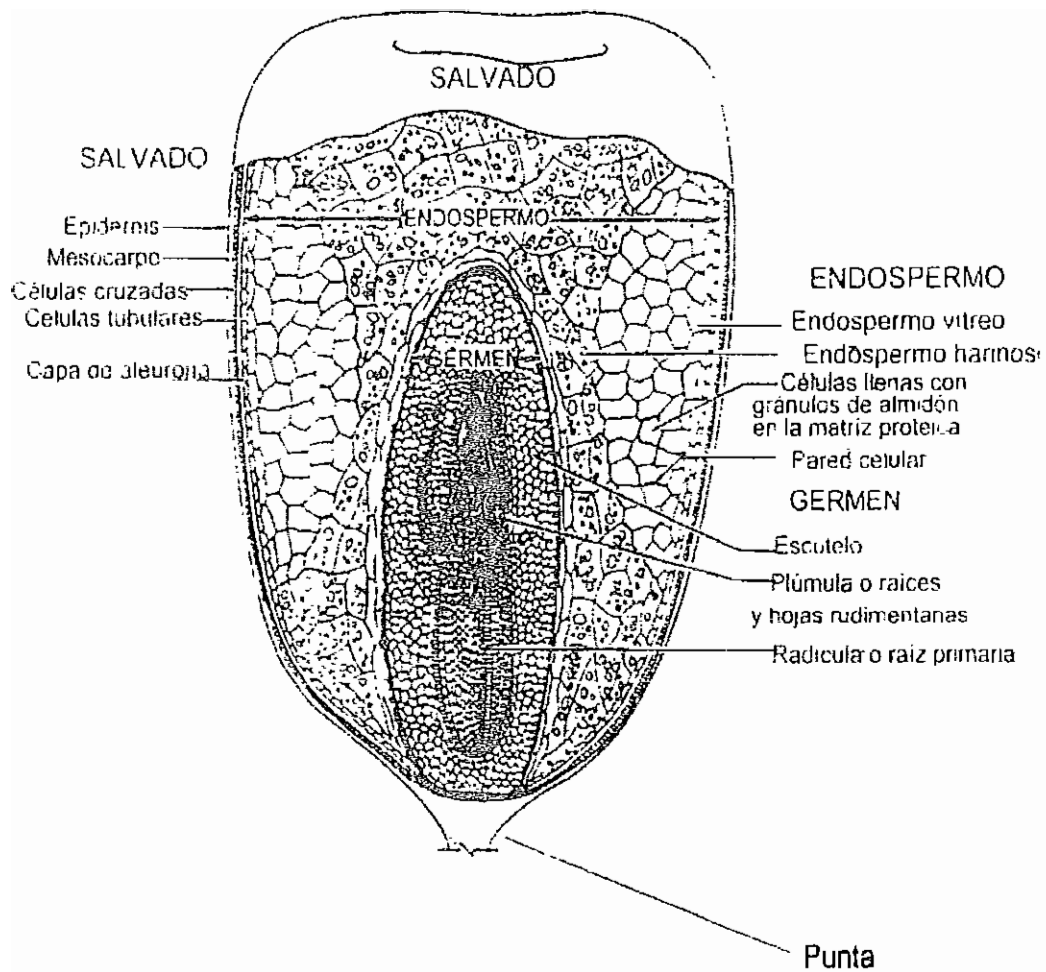


FIGURA 1.1. PARTES ANATOMICAS DEL GRANO DE MAÍZ ⁽³⁵⁾⁽³⁷⁾

TABLA 1.1 DISTRIBUCION PORCENTUAL DE LOS PRINCIPALES CONSTITUYENTES DEL GRANO DE MAIZ EN LAS DIFERENTES PARTES ANATOMICAS DEL MISMO

PARTE	ALMIDÓN	GRASA	PROTEÍNAS	CENIZAS	AZÚCAR
Endospermo	98.1	15.4	73.8	17.9	28.9
Rango	97.8-98.7	13.3-17.4	69.5-78.9	12.6-23.3	23-37.3
Germen	1.5	82.6	26.2	78.4	69.3
Rango	0.7-1.7	80.9-85.0	18.4-27.8	72.4-83.3	60.8-75.1
Percarpio	0.6	1.3	2.6	2.9	1.2
Rango	0.4-0.7	0.8-1.7	1.4-2.6	1.3-3.6	0.7-1.7
Cabeza	0.1	0.8	0.9	1.0	0.8
rango		0.4-1.0	0.5-1.2	0.7-1.6	0.6-1.1

FUENTE: Stanley A. Watson. 1991. Corn: Chemistry and Technology ⁽³⁴⁾

Las proteínas que contiene el germen del grano del maíz (gluteína y globulina) son de buena calidad y su contribución a la proteína del grano entero es en promedio de 15%. ⁽¹³⁾

Endospermo: El endospermo constituye del 82-84% del peso seco del grano y es 86- 89% almidón (tabla 1.2). Está compuesto de paquetes de células elongadas con gránulos de almidón de 5-30 micras embebidas en una matriz continua matriz de proteínas (Fig. 1.1). ⁽¹³⁾⁽³⁴⁾

El almidón del endospermo es de dos tipos: harinoso y córneo, distinguiéndose por la composición de la matriz proteica que los cubre y por el tipo de células, además, está formado por una capa celular llamada aleurona, lugar donde residen enzimas hidrolíticas. El endospermo harinoso o farináceo (Fig.1.1), rodea la hendidura central y es ligeramente opaco. La opacidad del endospermo harinoso puede ser debido a la refracción de la luz de la capa de aire alrededor de los gránulos de almidón, lo cual resulta del desgarre de la unión de la proteína durante el secado ⁽¹³⁾⁽³³⁾⁽³⁴⁾

Durante el secado, los gránulos de almidón son gelatinizados en el endospermo vítreo (córneo), y son comprimidos, permaneciendo intactos (Fig. 1.1). ⁽¹³⁾ Dentro del mismo grano de maíz, se encuentra endospermo traslúcido y opaco. En el traslúcido, es muy compacto, sin espacios de aire, los granos de almidón, de forma poliédrica, se mantienen unidos unos a los otros con una matriz proteica (estos se han identificados como cuerpos de zeína). También son notorias las depresiones producidas por los cuerpos proteicos en el almidón. En el endospermo

opaco, los granos de almidón son esféricos y la matriz proteica que los recubre ésta exenta de cuerpos proteicos. La gran cantidad de espacios de aire se supone que es la causa de la opacidad. El análisis químico por separado, de los endospermos opaco y traslúcido, demostró que ambos contenían igual cantidad de proteína, pero que los tipos de ésta, no era igual.⁽³⁶⁾ El tamaño y forma de los granos de almidón de las células del endospermo varía de un cereal a otro, en el maíz, los granos son sencillos.⁽³⁵⁾

La textura del endospermo del maíz varía con el tipo de maíz y con la región del grano que se considera. La parte de endospermo correspondiente al casquete (extremo opuesto al germen), que es de color claro, contiene granos de almidón sueltos con poca proteína, mientras que la parte córnea (hacia la base), que ésta más coloreada en las variedades amarillas, tiene granos de almidón más pequeños embebidos en material proteico. La riqueza del endospermo en aceite y proteína es superior al doble en la región córnea en relación con la del casquete.⁽³⁴⁾

Aleurona - La aleurona es una capa de células simples localizadas entre el endospermo y el pericarpio (Fig. 1 1), ocupa alrededor del 2% base seca del grano de maíz. Esta capa cubre completamente al endospermo y al germen, interrumpiéndose en la "capa de hilar" localizada en la punta del maíz.⁽³³⁾

Pericarpio - El pericarpio es la pared del ovario maduro y comprende todas las capas exteriores de la célula hasta el recubrimiento de la semilla. A lo largo de su superficie interior se adhiere a la cubierta de la semilla o testa (fig. 1.1). El pericarpio representa del 5 al 6% de peso seco del grano (tabla 1 2), y todas las capas del pericarpio están compuestas de células muertas, epidermis, células cruzadas y tubulares.^{(13) (34)} La capa celular más interna, está formada por una fila de tubos longitudinales unidos fuertemente a la capa de aleurona.⁽³³⁾

La siguiente capa es la de células cruzadas de estructura muy suave debido a sus espacios intercelulares, dicha capa está cubierta por otra capa pegajosa y compacta, conocida como mesocarpio (Fig 1 1) ⁽³³⁾

TABLA 1.2. Composición del grano de maíz por partes importantes y componentes químicos.

Parte Anatómica	Peso seco del grano de maíz (%)	Almidón (%)	Grasa (%)	Proteínas (%)	Cenizas (%)	Azúcares (%)
Endospermo	82.9	87.6	0.80	8.0	0.30	0.62
Media	81.8-83.5	86.4-88.9	0.7-1.0	6.9-10.4	0.2-0.5	0.5-0.8
Germen	11.1	8.3	33.2	18.4	10.5	10.8
Media	10.2-11.9	5.1-10	31.1-35.1	17.3-19.0	9.9-11.3	10.0-12.5
Pericarpio	5.3	7.3	1.0	3.7	0.8	0.34
Media	5.1-5.7	3.5-10.4	0.7-1.2	2.9-3.9	0.4-1.0	0.2-0.4
Punta	0.8	5.3	3.8	9.1	1.6	1.6
Media	0.8-1.1		3.7-3.9	9.1-10.7	1.4-2.0	
Grano Entero	100	73.4	4.4	9.1	1.4	1.9
Media		67.8-74	3.9-5.8	8.1-11.5	1.3-1.5	1.6-2.22

FUENTE: Stanley A. Watson, 1991, Corn: Chemistry and Technology. ⁽³⁴⁾

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MAÍZ.

Los principales componentes químicos del maíz son: los carbohidratos (almidón), proteínas, lípidos. además, también contiene cantidades menores de fibra cruda, azúcares, minerales y otras sustancias orgánicas como vitaminas.

Carbohidratos. El almidón es el mayor componente del maíz, del cual el 98% (tabla 1.1) 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 (tabla 1.2) ⁽¹³⁾⁽³⁴⁾⁽³⁵⁾

El almidón está constituido por dos tipos de moléculas; un polímero lineal que es la amilosa y un polímero ramificado, que es la amilopectina, estas difieren en cuanto a peso molecular y estructura química entre otras cosas. La proporción de amilosa y amilopectina en

almidones normales es de 27% y 73% respectivamente. ⁽¹³⁾⁽²⁵⁾ El almidón que se encuentra dentro del maíz está formado por gránulos redondos del endospermo harinoso y gránulos poliédricos del endospermo corneo ⁽³³⁾:

La amilosa que se encuentra entre un 25-30% del almidón y esta constituida por cadenas largas no ramificadas, en las que todas las unidades de α -D-glucosa se hallan unidas mediante enlaces glucosídicos α (1-4). La amilosa no es verdaderamente soluble en agua, pero forma micelas hidratadas. La amilopectina constituye un 70-57% del almidón, los enlaces glucosídicos del esqueleto son α (1-4), pero los de los puntos de ramificación son enlaces α (1-6). La estructura de la amilopectina es de dos longitudes 12-20 y de 40-60 uniones de glucosa. Es posible el desarrollo de variedades con contenido del 55% al 80% de la fracción lineal que corresponda al total del almidón. ⁽¹³⁾⁽³³⁾ En las variedades llamadas <<céreas>> de maíz, el almidón está formado casi exclusivamente por amilopectina, y se conocen otros genotipos que contienen almidón con altos niveles de amilosa (por ejemplo, el maíz de alta amilosa con 50-80%) Las propiedades del almidón y sus componentes dependen notablemente del genotipo. El grano de almidón es insoluble en agua fría. Cuando se calienta con agua, la absorbe, se hincha y revienta: este fenómeno se llama gelificación. ⁽³⁵⁾

Proteínas. Las proteínas del maíz se componen de dos fracciones:

- Las proteínas localizadas en el germen (Fig. 1.1), 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. ⁽⁴²⁾
- Las proteínas que se encuentran en el endospermo (74% del total, tabla 1.1) 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. ⁽³⁶⁾⁽⁴²⁾

Las proteínas son polímeros de aminoácidos unidos por enlaces peptídicos, y el contenido proteico está influido por la disponibilidad de sólidos nitrogenados. El maíz contiene cuatro tipos de proteína que son clasificadas de acuerdo a su solubilidad, así se tiene que las albúminas son solubles en agua, globulinas en sales, prolaminas en etanol al 70-80% y 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, siguiéndole en importancia las globulinas (tabla 1.3).⁽³⁵⁾⁽⁴²⁾

TABLA 1.3. Diferentes proteínas del grano de maíz (% de la proteína total)

CEREAL	PROTEÍNA (% PESO SECO)	ALBUMINAS	GLOBULINAS	PROLAMINAS	RESIDUO Y GLUTELINAS
MAIZ	7-13	2-10	10-20	50-55	30-45

FUENTE: Kent N. L. 1987, Tecnología de los Cereales.⁽³⁵⁾

Las proteínas insolubles (prolaminas y glutelinas) se consideran como proteína de reserva.⁽³⁵⁾ La calidad o valor biológico de las proteínas se determina por el contenido de aminoácidos, el maíz es un cereal de calidad proteica pobre, debido a que generalmente es deficiente en los aminoácidos esenciales lisina y metionina (tabla 1.4).⁽³³⁾⁽³³⁾ En el maíz se caracteriza por su bajo valor en triptófano; aunque tiene relativamente alto el contenido de leucina.⁽³⁵⁾⁽³⁶⁾

Las proteínas de maíz tienen alto el nivel de ácido glutámico, pero solamente llegan a la mitad del hallado en el trigo (tabla 1.4). El bajo nivel de nitrógeno amoniacal, demuestra que el ácido glutámico está presente como tal ácido y no como amida.⁽³⁶⁾

Tabla 1.4 Composición de aminoácidos (g/100 g de proteína) de las proteínas del endospermo de maíz.

AMINOÁCIDO	ENDOSPERMO DE MAIZ
LISINA	2.0
HISTIDINA	2.8
AMONIO	3.3
ARGININA	3.8
ACIDO ASPÁRTICO	6.2
ACIDO GLUTAMICO	21.3
TREONINA	3.5
SERINA	5.2
PROLINA	9.7
GLICOCOLA	3.2
ALANINA	8.1
VALINA	4.7
CISTINA	1.8
METIONINA	2.8
ISOLEUCINA	3.8
LEUCINA	14.3
TIROSINA	5.3
FENILALANINA	5.3

FUENTE: Carl Hoseney R. 1991, Principios de Ciencia y Tecnología de los Cereales.⁽³⁶⁾

Lípidos. En el grano de maíz estos representan en promedio el 5% del grano entero (tabla 1.2), el cual el 83% proviene del germen (tabla 1.1), aunque en distintas variedades de maíz puede variar de 1.2 a 5.7%. Los lípidos del maíz se encuentran principalmente como triglicéridos de ácidos grasos y los principales son el ácido linoleico 59% y palmitico 12%.⁽¹³⁾⁽²⁵⁾

Los lípidos comprenden un grupo de sustancias, que en general son solubles en éter, cloroformo o algún otro disolvente para grasas. Las sustancias lipídicas mayores son: grasas, ceras, fosfátidos, cerebrosidos, esteroides y carotenoides (precursores de la vitamina A).⁽⁸⁾

La composición de ácidos grasos puede variar sobre un amplio intervalo; entre los ácidos grasos el que representa mayor porcentaje es el linoleico con 59%, seguido por oleico 27%, palmitico 12%, esteárico 2%, linolenico 0.8% y araquidónico 0.2%.⁽¹³⁾⁽²⁵⁾⁽³³⁾

Fibra cruda. Otro carbohidrato, la celulosa, forma las paredes de las células.⁽⁸⁾ El pericarpio se compone de 40% de celulosa y 40% de hemicelulosa. La fibra cruda se encuentra entre 2.1- 2.3%, encontrándose en el pericarpio del 41 al 46% del total.⁽³³⁾

Azúcares. Son principalmente sacarosa, glucosa y fructuosa, en cantidades de 1-3%. Los azúcares se han encontrado en todas las partes del grano, sin embargo, se ha encontrado que el germen y el embrión contienen 70% del azúcar total.⁽⁸⁾⁽³³⁾ También se reporta la existencia de rafinosa, 0.9-1.9% de sacarosa (es el mayor disacárido presente en el grano de maíz).⁽³³⁾

Minerales. Un 95% de las sustancias minerales de los cereales con cariopsides desnudas (maíz) está formado por fosfatos y sulfatos de potasio, magnesio y calcio.⁽³⁵⁾ 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 los más importantes.⁽³³⁾ El germen del maíz contiene aproximadamente el 78% de los minerales del grano, de los cuales el principal componente es el Fósforo. El Azufre se encuentra presente en los aminoácidos Metionina y Cistina. El calcio está en pequeñas cantidades en el grano de maíz como en cualquier otro cereal.⁽⁸⁾

Vitaminas. El maíz contiene dos vitaminas liposolubles, la vitamina A (β - caroteno) es generalmente variable entre las diferentes variedades de maíz y se destruye gradualmente por oxidación, junto con otros pigmentos carotenoides durante un almacenamiento prolongado, y la

vitamina E. además, vitaminas hidrosolubles como tiamina (4.0 µg/g), riboflavina (1.1 µg/g), biotina (0.1 µg/g), niacina (19 µg/g), ácido pantoténico (5.3 µg/g), ácido fólico (0.4 µg/g), piridoxina (5.3 µg/g) y Colina (445 µg/g) ^{(33), (35)}.

La tiamina (B1) se encuentra en el escutelo y la niacina en la capa de aleurona. La riboflavina y el ácido pantoténico están distribuidos con más uniformidad. Un 80% de la niacina del salvado de maíz es inasequible biológicamente, ya que se encuentra como niacitina, un complejo mitad polisacárido mitad polipeptido, que en el intestino se convierte en trigonelina. ⁽³⁵⁾

TABLA 1.5 Análisis proximal del grano del maíz.

Componente	Intervalo	Promedio	Harina de Maíz ⁽³³⁾
Humedad (% en base húmeda)	7 - 23	16.0	10.19*
Almidón (% base seca)	61 - 78	71.7	
Proteína (% base seca)	6 - 12	9.5	8.86
Grasa (% base seca)	3.1 - 5.7	4.3	4.58
Cenizas (% en base seca)	1.1 - 3.9	1.4	1.23
Pentosanas (como Xilosa) (% en base seca)	5.8 - 6.6	6.2	
Fibra (residuo en detergente neutro) (% en base seca)	8.3 - 11.9	9.5	
Celulosa + lignina (residuo en detergente ácido) (% en base seca)	3.3 - 4.3	3.3	
Azúcares totales (como glucosa) (% en base seca)	1.0 - 3.0	2.6	
Calcoténoides totales (mg/ Kg) * Base seca	5 - 40	30.0	

FUENTE: Stanley A. Watson, 1991. Corn: Chemistry and Technology ⁽³⁴⁾

1.2 VARIEDADES DE MAÍZ.

El maíz puede dividirse en varios grupos que difieren en el carácter de las semillas, características típicas de la planta y la mazorca, diferencias fisiológicas, genéticas y citológicas. Estos tipos son el dentado, cristalino, dulce, harinoso, reventador (palomero), ceroso y tunicado.

I. **El Maíz dentado (*Zea mays indentada*)** es el tipo de maíz cuya siembra está más generalizada en Estados Unidos. Se caracteriza por una depresión o "diente" en la corona de la semilla. A los lados tiene almidón corneo en tanto que el almidón suave se extiende hacia el

ápice (corona) de la semilla, se utiliza para alimentación animal y para consumo humano. Al secarse y contraerse rápidamente el almidón suave, se tiene como resultado el carácter dentado. Los maíces dentados de la faja maicera de los Estados Unidos se originaron de la mezcla de maíces cristalinos del Norte y dentados del Sur.⁽¹³⁾

II. El maíz cristalino se siembra ampliamente en Europa, Asia, Centroamérica y Sudamérica. En general, estos granos son duros, lisos y contienen poco almidón harinoso. Sin embargo, las cantidades relativas de almidón harinoso y córneo varían de acuerdo con la variedad.⁽¹³⁾

III. El maíz dulce (*Zea mays saccharata*): está caracterizado por una apariencia translúcida y córnea cuando está inmaduro y por una condición vitrea cuando está seco. Se siembra principalmente en Estados Unidos.⁽¹³⁾ El desplazamiento de azúcares solubles al endospermo, que restringe la cantidad de almidón en el mismo, es la característica más importante de esta variedad. La apariencia de los gránulos es translúcida, el pericarpio muy delgado, los granos arrugados y peculiarmente quebradizos. Su período vegetativo es muy corto por lo tanto se utiliza para la obtención de elote cuyo uso es para consumo en fresco o bien para enlatar.⁽³³⁾

IV. El maíz harinoso (*Zea mays amylacea*): Los granos de maíz harinoso están compuestos en gran parte por almidón suave, además de que este grano tiene una cima redonda o aplanada con un endospermo suave, es sumamente largo, comparado con los otros tipos.^(13,33)

El endospermo es muy delgado y el pericarpio es menos resistente que la variedad dentada. Esta característica facilita su molienda para la producción de harina. Esta variedad de maíz se cultiva solamente en ciertas poblaciones campesinas en América Latina para autoconsumo y es ampliamente cultivado en las partes más áridas de Estados Unidos.^(13,33)

V. El maíz palomero (*Zea mays everta*): El maíz reventador (palomero) es una forma extrema del cristalino con endospermo que tiene sólo una pequeña proporción de almidón harinoso en el centro del endospermo. El maíz palomero es de granos pequeños, duros y redondos. El grano se usa principalmente para consumo humano como palomitas o rosetas de maíz y es la base para la elaboración de confituras de maíz. La capacidad de reventar está condicionada por la proporción relativa de endospermo córneo, donde los granos de almidón están embebidos en un material coloidal tenaz y elástico de proteína que restringe y resiste la presión del vapor generada dentro del gránulo bajo calentamiento hasta que alcanza una fuerza

explosiva ⁽¹³⁾

VI. El maíz ceroso: Debe su nombre a la apariencia un tanto cerosa de sus granos. El almidón ceroso está compuesto por alto contenido de amilopectina, mientras que el almidón común es aproximadamente 75% amilopectina y 25% amilosa. China fue la fuente original del gene ceroso, pero las mutaciones cerosas han ocurrido desde entonces en variedades dentadas americanas ⁽¹³⁾

VII. El maíz tunicado (*Zea tunicata*): El grano de esta variedad tiene una corona redondeada y los granos son duros debido a un gran volumen de endospermo córneo. Se distingue del maíz dentado porque el grano es de forma redonda y no presenta la hendidura en la cresta. Esta clase de maíz ha tenido importancia como material genético para el mejoramiento del maíz, aunque es utilizado como alimento en Argentina, algunas partes de Italia y África. ⁽³³⁾

A escala mundial se han identificado hasta 1 974 305 razas de maíz, llamadas maíces criollos, de los cuales 32 son mexicanas. Entre los principales maíces criollos están: el pepitilla, el olotón, el palomero, toluqueño, el blando de Sonora, el cónico norteño, el reventador, el cacahuacintle o pozolero, el zapalote grande y chico, el chalqueño, el mushito, el conejo, el celeya, el tuxpeño, el vandeño. Estas tres últimas razas pertenecen al grupo del maíz dentado y se utilizan para la fabricación de tortillas y sus derivados. ⁽³³⁾

1.3 DIFERENCIAS ENTRE VARIEDADES: COMPOSICIÓN QUÍMICA Y PROPIEDADES FÍSICAS.

Las anteriores variedades se clasifican de acuerdo a las características físicas del grano, el maíz de vaina toma su nombre porque el grano está cubierto por una vaina fibrosa. La variedad de grano duro tiene un endospermo muy duro, mientras que el tipo harinero se caracteriza por lo blando de su endospermo y gran tamaño del grano. El maíz ceroso contiene grandes cantidades de la fracción de amilopectina del almidón. El tipo dulce retiene su textura blanda y sabor dulce por un período más largo durante su desarrollo. ⁽⁸⁾

Tabla 1.6 Composición química (%) de algunas variedades del maíz.

VARIEDAD	PROTEÍNA	GRASA	FIBRA CRUDA	MINERAL	CARBOHIDRATOS
DURO	11.1	4.9	2.1	1.7	80.2
DENTADO	10.0	4.5	3.5	2.0	80.0
DULCE	12.1	9.1	2.2	2.0	74.5
PALOMERO	11.6	4.0	2.4	1.6	78.2

FUENTE: KENT L. N. 1987, Tecnología de los Cereales⁽³⁵⁾

1.4 PRODUCTOS DERIVADOS DEL MAÍZ.

El grano de maíz está constituido principalmente por tres partes: pericarpio que recubre el grano y es rico en fibra, el germen que es rico en grasa y finalmente el endospermo que representa más del 90% del grano. Cada uno de los constituyentes tienen diversos usos:

- Pericarpio: piensos y forrajes.
- Germen: Aceites que se emplean en alimentos y medicinas, como excipientes para vitaminas y cápsulas, aceites de cocina, margarinas, mayonesa, entre otros. El aceite de maíz comercial se obtiene del germen de maíz, es un aceite con un ligero olor a vino característico. La producción del aceite de maíz está directamente relacionada a la demanda del mercado del almidón de maíz y productos derivados del mismo, como en el caso del aceite de algodón, la producción del aceite de maíz será siempre limitada. Se utiliza principalmente de manera no hidrogenada. Contiene ceras que se deben eliminar por enfriamiento si el aceite debe mantenerse cristalino en refrigeración. Por muchos años, la mayoría del aceite de maíz se vendía para uso doméstico. Pequeñas cantidades eran utilizadas para freír y elaborar aderezos para ensaladas. El aceite de maíz hidrogenado es similar al aceite de soya hidrogenado y no ofrece ventajas sobre él. Ocasionalmente algún producto contendrá aceite de maíz hidrogenado con el fin de poder promocionarlo como 100% aceite de maíz.⁽¹¹⁾⁽²⁴⁾
- Endospermo: Al representar la mayor cantidad del grano tenemos:
 - a) Almidón: Para usos industriales, como abrasivos para papel y textiles, adhesivos, baterías, pilas secas, colorantes para alimentos, medicinas y cosméticos, como aspirinas, antibióticos, gomas de mascar, bebidas, salsas y aderezos.⁽²⁴⁾
 - b) Dextrinas: Para usos industriales, como unir distintos materiales, para recubrir y para glasear.⁽²⁴⁾
 - c) Miel de Maíz: Da cuerpo a los alimentos industrializados, controla la absorción de la

- humedad y provee de sólidos nutritivos ⁽²⁴⁾
- d) Dextrosa: Es el elemento básico de todos los almidones para la elaboración de azúcar.
 - e) Harina de maíz, tortillas y frituras, además de la utilización de la masa para elaborar otros productos de consumo generalizado como: tamales, quesadillas, sopes, gorditas, tlacoyos, atoles, chilaquiles, papadzules, pinole, sopas, etc. ⁽¹⁾⁽¹¹⁾⁽²⁴⁾⁽⁴¹⁾⁽⁴²⁾
 - f) Etanol: bebidas alcohólicas y combustible. ⁽²⁴⁾
 - g) Jarabes de maíz; de glucosa y fructuosa. ⁽²⁴⁾

En México se consume el maíz de manera distinta a la de otros países, pero también se consume aquí cierto tipo de alimentos, pero en menor cantidad como: Cereal de maíz con azúcar, cereal de maíz con coco, maíz palomero y maíz azucarado. ⁽²⁴⁾

Industria botanera: Las botanas producidas a partir de maíz tienen gran aceptación dentro del mercado mexicano pudiéndose desarrollar una diversidad de productos en cuanto a textura, forma y sabor. En Estados Unidos se consume cuatro veces más frituras de maíz que en México, debido principalmente a un mayor poder adquisitivo en su población, lo que hace pensar que en nuestro país es muy factible el aumento de su consumo.

En ocasiones llegan a ser sustitutos de alguna de las tres comidas que normalmente se llevan a cabo en México

Gráfica 1.1 Participación del mercado nacional de botanas (frituras)



Fuente: Encuesta realizada en industria, 1994. ⁽¹¹⁾

Las industrias botaneras muy grandes de nuestro país son Sabritas y Barcel las cuales pertenecen a Pepsico y al grupo industrial Bimbo respectivamente contando la primera con el apoyo tecnológico de Frito-Lay de Estados Unidos, aunque no todo se refiere al maíz ⁽¹¹⁾

Industria almidonera: El almidón de maíz común contiene un 25% de amilosa, siendo el resto amilopectina. Sin embargo, se han obtenido nuevas variedades de maíz que contienen en su almidón hasta un 65% de amilopectina. En alimentos y en la industria farmacéutica el almidón se utiliza para dar y controlar determinadas características de los productos como textura, apariencia, humedad, consistencia y estabilidad en almacenamiento. Se puede utilizar para propiciar el aglutinamiento o la desintegración, para expandir o hacer más denso, para clarificar u opacar; para humectar o evitar la hidratación, etc. se puede utilizar para estabilizar emulsiones o para formar películas resistentes al aceite, para ayudar en los procesos, en los empaques, en la lubricación o para equilibrar la humedad. El almidón y sus derivados sirven como un ingrediente multifuncional en las industrias de alimentos, textil, papel, fundición, minera, electrónica y adhesivos entre otras.⁽¹¹⁾

Edulcorantes derivados del maíz: El uso de los edulcorantes de maíz ha aumentado de manera considerablemente debido a que la industria de los alimentos los utiliza en sus formulaciones de productos. Los confiteros, junto con los fabricantes de gomas de mascar y las refresqueras son las industrias que más consumen los jarabes de maíz. Este jarabe es rico en fructosa (55%) no presenta turbidez, es totalmente cristalino e incoloro. Su sabor es muy suave y extremadamente dulce. No cubre ni oculta el sabor o aroma de otros ingredientes. Su contenido en cenizas es muy bajo, no presenta flóculos ni sedimentos. Adecuadamente almacenado es resistente al crecimiento microbiano, a la coloración y a la cristalización. Su almacenamiento debe de ser a 24-30°C. Dentro de este rango, puede ser manejado en la mayoría de los sistemas para glucosas.⁽¹¹⁾

La dextrosa es el derivado de almidón de maíz más utilizado para la elaboración de los productos horneados, consumiendo también cantidades significativas de jarabes. Los edulcorantes de maíz son ingredientes importantes para los helados, postre congelados, frutas enlatadas o congeladas, jaleas, gelatinas y otros productos más.⁽¹¹⁾

Furfural: Es un aldehído derivado de los carbohidratos complejos (hemicelulosa) conocidos con el nombre de pentosanas que se encuentran presentes con la celulosa en muchos tejidos de plantas. Como no se ha descubierto un proceso de síntesis química rentable, toda la producción de furfural se basa en la hidrólisis de los residuos agrícolas y forestales, tales como olote de maíz, cáscara de arroz, bagazo de caña de azúcar y aserrín entre otros.⁽¹¹⁾

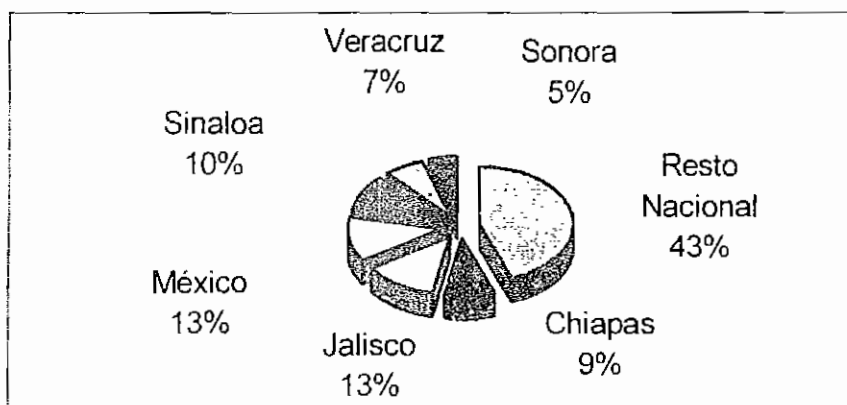
1.5 PRODUCCIÓN DE MAIZ EN MEXICO

En México, las treinta y dos entidades federativas cultivan el maíz; de ellas, doce han producido en promedio durante el periodo de 1990 a 1996 el 60%; estas son Chiapas, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Oaxaca, Puebla, Sinaloa, Tamaulipas y Veracruz, donde predominan el temporal, excluyendo Sinaloa. ⁽³⁹⁾

Entre los años de 1993-96, los estados antes mencionados produjeron alrededor de 14.6 millones de toneladas por año agrícola, el resto 3.6 millones, para alcanzar una producción nacional promedio de 18.2 millones de toneladas. ⁽³⁸⁾

Las cinco más importantes son: Chiapas, Jalisco, México, Sinaloa y Veracruz con precipitaciones entre 435.3 y 2 104.6 mm, ellas producen en conjunto el 50.2% del maíz nacional, más de nueve millones de toneladas por año; los estados restantes el 49.8% (gráfica 2). ⁽³⁸⁾

Gráfica 1.2: Principales Estados Productores de Maíz en 1996



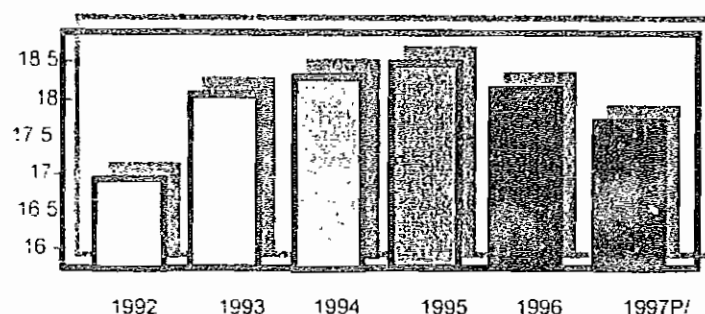
FUENTE. SAGAR, Situación actual y perspectiva de la producción de maíz en México, 1990-1997 ⁽³⁸⁾

Los estados de Sinaloa y Sonora de la Región Noroeste, donde está cerca del 50 % de la capacidad útil de almacenamiento de agua para riego, son productores de maíz en el ciclo otoño-invierno caracterizados por esa modalidad, en 1996 aportaron 2.5 millones de toneladas, el 14 % de la producción nacional. ⁽³⁸⁾

TABLA 1.7 PRODUCCIÓN Y VALOR DE MAÍZ 1992-1997			
AÑO	PRODUCCIÓN (millones de Ton)	VALOR (millones de pesos)	SUPERFICIE COSECHADA (millones de Ha)
1992	16.9	12 887.3	7.2
1993	18.1	13 915.2	7.4
1994	18.2	11 966.7	8.2
1995	18.3	20 033.4	8.0
1996	18.1	25 858.8	8.1
1997	17.7	23 902.2	7.4

FUENTE INEGI, EL SECTOR ALIMENTARIO EN MÉXICO 1998 ⁽²⁶⁾

GRÁFICA 1.3: EVOLUCIÓN DEL VOLUMEN DE LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ 1992-97
(MILLONES DE TONELADAS)

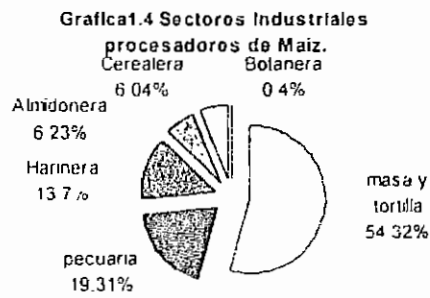


FUENTE INEGI, EL SECTOR ALIMENTARIO EN MÉXICO, 1998 ⁽²⁶⁾

Aunque el maíz es el principal cultivo nacional, la insuficiencia de las cosechas ha determinado la necesidad de importar volúmenes complementarios que permitan hacer frente a los consumos previsibles y mantener una reserva suficiente. Por otro lado se han substituido áreas de cultivo dedicadas tradicionalmente al maíz por otros cultivos más redituables como, por ejemplo, el sorgo (este se ha adaptado mejor a las condiciones climatológicas de los valles altos mexicanos, dando rendimientos por hectárea mayores que el maíz). Consecuentemente, dado que las importaciones de maíz son similares a las producciones anuales de sorgo, se ha planteado su uso para consumo pecuario. Esto obedece al hecho de que, en general, los granos nacionales son de mejor calidad que los de importación y, por consecuencia, mejores para su consumo directo por la población. ⁽²⁷⁾

Los volúmenes de importación en los últimos años han llegado a ser de casi seis millones de toneladas. El mayor volumen importado es el maíz amarillo No.1 de la variedad dentado, que está destinado a la industria tortillera. ⁽¹⁾⁽²⁷⁾

De acuerdo con información de la subsecretaría de comercio interior de la SECOFI, el consumo per cápita de maíz vía tortilla de la población mexicana es de 300 gramos diarios, situación que supera el consumo per cápita de cualquier otro producto alimenticio en el país



FUENTE: FIRA Boletín informativo 1995 Industria del Maíz ⁽¹⁾

Dentro del sector industrial, la industria de la masa y la tortilla presenta el mayor consumo, aunque la industria harinera ha venido creciendo y ganando mercado. ⁽¹⁾

2. HARINA DE MAÍZ NIXTAMALIZADA (HMN).

2.1 DEFINICIÓN

La Norma Oficial mexicana define la harina de maíz nixtamalizada como el producto que se obtiene de la molienda de los granos de maíz (*Zea-Mays*) sanos, limpios y previamente nixtamalizados y deshidratados y que cumpla con las especificaciones señaladas en la tabla siguiente:

Especificaciones

Sensoriales

Color-----Debe ser blanco amarillento o característico de la variedad de grano empleado.

Olor-----Debe ser característico y no presentar signos de rancidez u otro olor extraño.

Sabor-----Debe ser característico del producto y no tener ningún sabor extraño.

Aspecto----- Debe ser granuloso con una finura tal que el 75 % como mínimo pase a través de un tamiz de 0.250 mm de abertura de malla, tamiz NOM No. 24 M -60 U.S. ⁽²⁰⁾

Físicas y químicas

La harina de maíz nixtamalizado debe cumplir con las especificaciones físicas y químicas anotadas en la tabla 2.1

T A B L A 2.1

ESPECIFICACIONES	MINIMO	MAXIMO
Humedad %		11.0
Proteínas % (Nitrógeno X 6.25)	8.0	
Cenizas %		1.5
Extracto etéreo %	4.0	
Fibra cruda %		2.0

En este producto no se permite el empleo de aditivos (conservadores, colorantes). ⁽²⁰⁾

Microbiológicas – No debe contener microorganismos patógenos, ni más de 1000 col /g de hongos

Plaguicidas. – Los límites máximos para estos contaminantes quedan sujetos a lo que establezca la secretaria de Salubridad y Asistencia.

Contaminantes metálicos. – No debe exceder el límite de 0.3 mg/ Kg. (ppm) máximo

Biotoxinas - Aflatoxinas 0.02 mg /Kg. (0.02 ppm)

Materia extraña – Debe estar libre de fragmentos de insectos, pelos y excretas de roedores, así como de cualquier materia extraña

Ingredientes básicos – maíz, agua y cal. ⁽²⁰⁾

2.2 IMPORTANCIA ECONÓMICA Y TECNOLÓGICA DE LA HMN.

La industrialización del maíz nació 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 harina de maíz que tiene más ventajas sobre la masa de nixtamal ⁽⁴⁾, 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 permite que pueda ser almacenado durante cierto periodo de tiempo. ^{(2)(18) (19)}

El proceso de producción de la tortilla a partir de harina tiene un rendimiento mayor al 15% aproximadamente; lo que quiere 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. ⁽⁴⁾ Aunque la tortilla se sigue elaborando a escala doméstica y de autoconsumo, se produce a nivel industrial 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 nutrientes en el proceso de limpiado del grano (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, evita la pérdida de los nutrientes y tiene asegurado el control de calidad. ⁽²⁾⁽⁴⁾⁽¹⁸⁾

En 1980, el 20% de la producción de la tortilla era llevada a cabo con harina de maíz, pero en 1990, el 27% de la producción se realizaba tomando como materia prima a este insumo. En la actualidad se calcula que un 34% de la tortilla producida en México tiene como insumo básico la harina nixtamalizada de maíz, aunque algunas cifras de maseca hablan de una participación cercana al 50% la cual tiene aproximadamente el 70% del mercado con una producción de 2 075 millones de toneladas. Las proyecciones indican que a una tasa promedio de 1.9% de crecimiento de la población, en el año 2004 se consumirán 14 28 millones de toneladas de tortillas, de las cuales 8 millones serán producidas con harina de maíz. Es decir, para entonces, de seguir las tendencias de los últimos años la industria de la harina de maíz participará con el 56% de la tortilla producida. ⁽⁴⁾

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. ⁽⁴⁾

Las tortillas preparadas con harina instantánea son frágiles y pálidas y se deshidratan rápidamente, además, la carencia de olor y textura inapropiada son las principales desventajas de productos preparados de masas deshidratadas. En años recientes, la competencia entre proveedores de masa seca ha mejorado la calidad total y la uniformidad significativamente. ⁽¹⁹⁾⁽²²⁾

Con la llegada de los supermercados, la tendencia en el futuro en las áreas urbanas será la compra de tortillas refrigeradas y otros 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 equipo pequeño. ⁽¹⁹⁾

2.3 ESTADÍSTICAS DE PRODUCCIÓN DE HARINA DE MAÍZ NIXTAMALIZADO

La industria de la harina está constituida por dos grupos MICONSA y MASECA, aunque existen otras industrias que participan en pequeñas proporciones de este mercado, como son AGROINSA y HAMASA, cabe destacar también la incorporación del grupo industrial BIMBO en el mercado de la tortilla empacada. ⁽⁴⁾

MICONSA controla el 47% del mercado con 7 plantas productoras (una más en

construcción) y MASECA, el 53% con 11 plantas. El crecimiento actual de la industria de la harina es del 6.05% anual. ⁽⁴⁾

TABLA 2 2 INFORMACIÓN SOBRE PLANTAS DE HARINA DE MAÍZ MICONSA					
PLANTA	UNIDADES	CAP. NORMAL (Ton/ día)	PRODUCCIO N ANUAL Tons.	CAP. ALMACENAJE DE MAÍZ TONS.	TECNOLOGÍA
Los Mochis. Sin.	1 (Multiple) 2- 87 c/ u	240 160	124,400	600 propia 40,000 ANDSA	Buhler 1978 1986
Guadalajara, jal.	1 (Multiple)	240	124,400	3,200 Tons. 60,000 (Bob Figueroa)	Buhler 1978 « 1986
Tlalnepanita. Edo. de México	12	40	188,400	6,000 Tons. 120,000 Silos M. Alemán	Bco. de 1950 México
Arriaga. Chis	2- 80 c/ u	160	49,920	4,000 Tons. Bodega ANDSA 40,000 Tons.	Buhler 1975 Modif Minsa 1985
Jáltipan. Ver.	3- 80 c/ u	240	79,632	4,000 Tons. Modif.	Buhler 1975 Minsa 1985
Atzacomulco, Edo. de México	2- 80 c/ u	160	57,600	Bodega de plástico 500 Tons.	Minsa 1986
Acapulco, Gro	2- 80 c/ u	160	57,600	4 Silos 5,000 Tons	Minsa 1986
Monterrey N. L.	4 c/ u	400	120,000	25,000 Tons. Silos	Maseca, Chih 1975
Total de Plantas (8)			801,952	308,300	
Estimado real 90% 720,000 tons./ año					
INFORMACIÓN SOBRE PLANTAS DE HARINA DE MAÍZ DE MASECA					
PLANTA	UNIDAD	CAP. NOMINAL Tons./ día	ANUAL Tons.	CAP. ALMACENAJE DE MAÍZ /Tons.	TECNOLOGÍA
Monterrey N. L.	5	800	280,000	25,000	GRUMA
Río Bravo, Tamps	2	180	60,000	45,000	-
Tampico. Tamps	2	200	70,000	40,000	-
Chinameca. Ver.	4	400	144,000	30,000	-
Teotihuacan, Edo. Mex	4	550	200,000	25,000	-
Zamora Mich.	2	200	70,000	10,000	-
Guadalajara jal	1	120	40,000	-	-
Acaponeta. Nay	3	320	110,000	25,000	-
Culiacan. Sin.	1	120	40,000	5,000	-
Obregon, son	2	200	70,000	16,000	-
Chihuahua. Chih	4	400	144,000	15,000	-
Total de plantas(11)			1'228,000	236,000	

Fuente: Rubio Manuel. 1993, La industria de la harina y la tortilla de Maiz. ⁽⁴⁾

2.4 NUEVAS TÉCNICAS DE PRODUCCIÓN DE HARINA DE MAÍZ NIXTAMALIZADO.

El proceso de producción de MINSA y MASECA es una versión mecanizada del proceso tradicional de nixtamalización que básicamente implica un cocimiento del maíz en hidróxido de calcio ⁽⁴⁾⁽¹⁷⁾. La harina de maíz nixtamalizado obtenida, es normalmente reconstituida con agua para producir masa la cual se elaboran las tortillas ⁽¹⁷⁾; se inicia con la recepción del maíz 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 continuos con cal y agua con lo que se inicia el proceso de nixtamalización. Se elimina el nejayote y el nixtamal se reposa en tanques o bandas para igualar las humedades. Vienen entonces la molienda primaria, el secado y el cernido. Los fragmentos gruesos son remolidos e incorporados al proceso. De allí se embarca en camiones o furgones para hacerla llegar al mercado. ⁽⁴⁾ La harina de maíz nixtamalizado es normalmente reconstituida con agua para producir masa y después suministrar en la elaboración de tortillas, frituras u otro bocado o alimento mexicano. ⁽¹⁷⁾

La distribución de la harina que producen MICONSA y MASECA tiene dos presentaciones: una en bolsa de 1 Kg. cuyo destino es directamente el consumidor de la tortilla, y otra en sacos de 20 y 40 Kg. que se destinan a la industria de la tortilla. ⁽⁴⁾

El mercado de la harina se ha desarrollado en los últimos años, debido a los esfuerzos realizados por ambas empresas para lograr el convencimiento de los integrantes de la industria, en el sentido de emplear harina de maíz en la producción de la tortilla por las grandes ventajas que representa sobre la masa nixtamalizada. ⁽⁴⁾

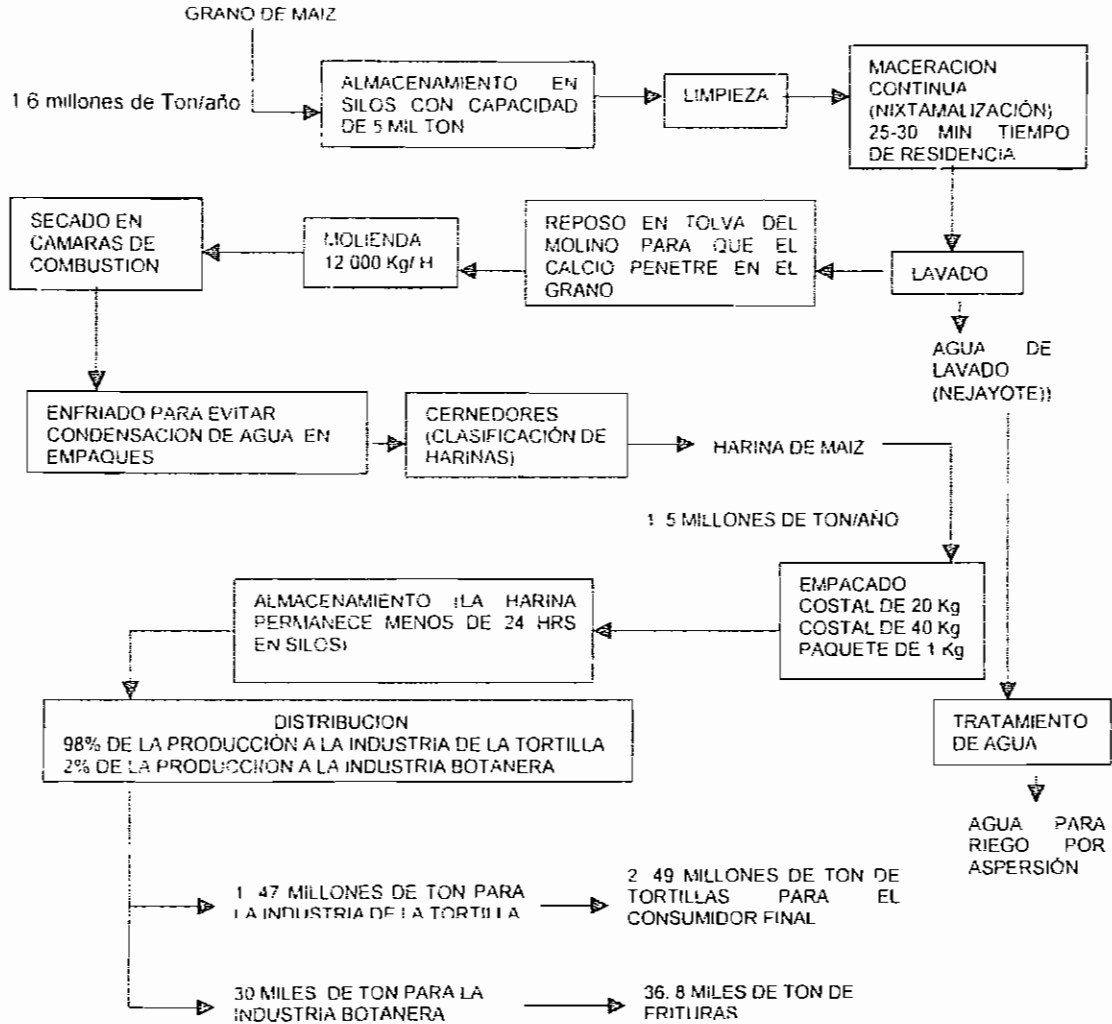
Después de seis lustros se ha logrado una tecnología que puede ofrecer módulos de producción de 120 y 260 ton/ día, o plantas portátiles montadas en plataformas de 4x14 metros que producen 30 ton/ día, que producen harina de la mejor calidad. ⁽⁴⁾

La distribución del equipo permite que toda la planta sea operada desde el cuarto de control. Es evidente la economía de combustible en un 25% y de electricidad en un 50% con respecto a sistemas convencionales. Los tratamientos de aguas residuales son apropiados a las regulaciones ecológicas de la ciudad o del país donde se instala la planta, como puede apreciarse en el diagrama 2.1. ⁽⁴⁾

Diagrama 2.1: Diagrama de Flujo para la Obtención de Harina de Maíz Nixtamalizado (MASECA)

Capacidad Instalada: 2.0 Millones de Ton/ año

Capacidad Utilizada 80%



FUENTE: Dirección Técnica de MASECA 1994 ⁽¹⁾

Buscando mejorar las operaciones tradicionales que sigue la industria de harinas, se han desarrollado diferentes procesos a nivel experimental. Dentro de éstos cabe mencionar los procesos de nixtamalización por extrusión y de cocción por tambores.⁽³³⁾⁽⁴²⁾

La fricción generada en el interior del extrusor produce la energía necesaria para que se efectúe la cocción. De la cantidad de agua añadida se puede obtener una masa lista para hacer tortillas, o una harina gruesa o "sémola" que después de ser molida, puede ser almacenada como la harina de maíz nixtamalizada y tiene una vida de anaquel de seis meses o más. El otro proceso alternativo es la cocción de maíz en tambores, para obtener una harina de maíz instantánea para la elaboración de tortillas. El proceso consta principalmente de dos operaciones: cocción de la masa y deshidratación de la misma. Los granos de maíz son primero molidos en crudo en un molino de martillos, posteriormente a la harina obtenida se le agrega una mezcla de agua con cal, esta pasta o atole se pasa a través de un tambor de secado, del que la pasta sale ya cocida y seca. Posteriormente, el producto que sale del tambor, es nuevamente molido obteniéndose la harina de maíz instantánea para la elaboración de tortillas. En la cocción sobre tambores la fuente calorífica es el vapor de alta presión que fluye por el interior de los tambores calentando la superficie de éstos, que se aprovechan para que ocurran simultáneamente las reacciones químicas y el secado.⁽⁴²⁾

2.5 CAMBIOS FÍSICOS Y QUÍMICOS EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE HARINA DE MAÍZ NIXTAMALIZADO CON RELACIÓN AL PROCESO TRADICIONAL Y SU EFECTO EN LA CALIDAD DE LA MASA Y TORTILLA.

La temperatura y el tiempo de cocción son menores para preparar harina de maíz nixtamalizado que en la nixtamalización tradicional, debido a que el secado causa una gelatinización adicional del almidón sobre la masa seca en las partículas húmedas de maíz.⁽³³⁾

Dicho subcocimiento causa una insuficiente absorción de agua y debilita la estructura del endospermo, restringe el hinchamiento de los gránulos de almidón y limita la lixiviación de la amilosa durante el paso inicial de calentamiento. 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 en forma irregular a causa de la destrucción de su integridad esférica. El nixtamal obtenido en esta forma contiene gránulos de almidón en el interior de las células del

endospermo que se hinchan más que los gránulos de almidón del proceso tradicional para masa.⁽¹³³⁾

Las partículas muy pequeñas son responsables de que al preparar la masa haya una mayor absorción de agua, cohesividad, viscosidad y plasticidad en la tortilla; se retenga el vapor con el fin de que pueda hincharse durante el cocimiento, proporcione textura lisa además de desarrollar flexibilidad y cohesividad dentro de las tortillas. La harina de maíz nixtamalizado 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 mantiene cohesividad debido a una mezcla que contiene almidón gelatinizado, proteínas hidratadas y sales de calcio. La harina de maíz nixtamalizado contiene algunos gránulos de almidón gelatinizados 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 se dice que se endurecen más rápido debido a las condiciones en que el almidón se encuentra en la harina.⁽¹³³⁾ Algunas de las ventajas de la producción tecnificada con respecto a la producción artesanal se muestran en la tabla 2.3.

2.6 FENÓMENOS QUE MODIFICAN EL GRANULO DE ALMIDÓN.

La amilosa y amilopectina le confieren diferentes propiedades en su conjunto al gránulo de almidón y que generalmente se consideran para determinar la aplicación de los productos obtenidos a partir de este.⁽¹⁵⁾ Los dos fenómenos más importantes que le ocurren a los gránulos de almidón son: la gelatinización y la retrogradación.⁽⁴⁹⁾

2.6.1 GELATINIZACIÓN DEL ALMIDÓN.

La gelatinización ocurre debido al incremento de la temperatura en el interior de los gránulos de almidón. Como resultado los gránulos comienzan a manifestar cambios en propiedades tales como: un hinchamiento granular debido a la hidratación, disminución de la cristalinidad con la consecuente pérdida de birrefringencia (el fenómeno de birrefringencia es indicativo de una alta organización molecular interna, el almidón refleja doblemente la luz debido a la orientación molecular que presenta dentro del gránulo), la solubilidad del almidón y el incremento del volumen del gránulo.⁽¹³⁾⁽¹⁵⁾⁽⁴⁸⁾

TABLA 2.3 Ventajas de los diferentes tipos de producción.

TECNIFICADA	ARTESANAL
<ul style="list-style-type: none"> - Estricto control de calidad y control sanitario. - Almacenamiento adecuado del producto evitando así el crecimiento de hongos que producen las aflatoxinas. - La mano del hombre no toca el producto durante todo su proceso. - Tratamiento de aguas de proceso. - Consumo de energía de 20 HP/ ton. - Se cuenta con la tecnología para instalar macrotortilladoras en un futuro próximo con una capacidad de producción de 600 tortillas/ min. (en EE.UU. se tienen ya instaladas). - 1 Kg de harina de maíz nixtamalizado produce 1.7 Kg de tortillas, es decir 20% más de rendimiento que el obtenido a partir de maíz nixtamalizado procesado de manera tradicional. - Costo de producción menor que el artesanal. 	<ul style="list-style-type: none"> - Calidad de maíz variable. - Almacenamiento inadecuado. - Escaso o nulo control sanitario. - No hay mediciones exactas de los materiales usados. - Molienda irregular dependiendo del estado del molino. - Reparto de la masa a las tortillerías después de 4 horas o más de producción, lo que ocasiona que se fermente (debido a esto, antes de la molienda el molinero le adiciona un exceso de cal para evitar la fermentación. Este exceso ocasiona que la tortilla adquiera un color amarillo). - Aguas de desecho se vierten al drenaje ocasionando altos índices de contaminación. - Consumo de energía de 40 Hp/ ton. - Troquelado de 30 tortillas por minuto. - 1 kg de maíz produce 1.4kg de tortillas.

FUENTE: FIRA, Industrialización del maíz 1, 1995 ⁽¹⁾

El endospermo del maíz se modifica con la cocción alcalina debido a que algunos gránulos de almidón se hinchan y gelatinizan, y una porción de la matriz de la proteína se hidrata. Los gránulos de maíz nixtamalizados desarrollan buena consistencia cuando se tiene bastante almidón gelatinizado. Los almidones sin gelatinizar contenidos en los sistemas continuos de amilosa, amilopectina y proteínas forman masas cohesivas. ⁽⁸⁾

La gelatinización se requiere para producir la funcionalidad deseada del almidón en un sistema alimenticio. Las propiedades de gelatinización dependen de la solubilización de la amilosa y del hinchamiento de los gránulos de almidón. Además de que el potencial de hinchamiento de los gránulos tiene relación con diferencias en la rigidez de los gránulos de almidón gelatinizado, y con las diferencias en el grado de cristalinidad dentro de la fracción amilopectina. ⁽¹³⁾

2.6.2 RETROGRADACIÓN DEL ALMIDÓN.

Durante la gelatinización, al hincharse el gránulo de almidón, las moléculas de amilosa y residuos de amilopectina se lixivian hacia la solución. Posteriormente, al enfriarse la suspensión, dichas moléculas se reasocian entre sí y los gránulos o residuos de gránulos

presentes forman una malla induciendo la formación de agregados que cristalizan, provocando un aumento en la viscosidad o endurecimiento del 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. Dicho fenómeno ocurre debido a la formación de puentes de hidrógeno de la amilosa con puentes hidroxilo de moléculas adyacentes por lo que la misma amilosa va perdiendo la capacidad de hidratación con respecto a su estado inicial. La unión por puentes de hidrógeno se incrementa hasta alcanzar un tamaño determinado que provoca una precipitación como cristales de almidón.⁽¹⁵⁾⁽³⁹⁾⁽⁴⁵⁾

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 hidrógeno entre moléculas paralelas.⁽¹⁵⁾⁽⁴⁵⁾ 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.⁽⁴⁵⁾

2.6.3 INTERACCIONES ENTRE POLIMEROS:

El almidón influye definitivamente en las propiedades organolépticas de muchos alimentos y esto está supeditado a las interacciones que tenga con los otros componentes que se encuentran presentes. La forma precisa y el mecanismo de dichas interacciones no son totalmente conocidos; sin embargo, sus efectos se pueden observar fácilmente en distintos alimentos.⁽³⁹⁾

En muchos sistemas de polisacáridos, el mecanismo de gelación es relacionado a la asociación intercadena por regiones de una ordena estructura terciaria. Si se minimizan las interacciones polímero-polímero, los resultados pueden ser una extensión máxima de la macromolécula con el consecuente aumento de la viscosidad intrínseca. Si se trata de moléculas del mismo tipo o con soluciones de diferentes biopolímeros, el intercambio entre ellos puede ser de dos tipos opuestos: (i) atracción entre las moléculas o (ii) repulsión por exclusión estérica. En el primer caso, los polímeros se pueden atraer cada uno y unirse específicamente o no específicamente, cuando la asociación es energéticamente favorable; esta situación es frecuentemente encontrada en la formación del gel por varios sistemas

polisacáridos. En el otro caso, los polímeros se rechazan mutuamente excluyendo al otro del espacio que ellos ocupan. Una especial consecuencia del fenómeno de exclusión puede ser el cambio de conformación macromolecular, con el equilibrio entre dos conformaciones diferentes, con la existencia de uno más compacto ⁽⁴⁹⁾.

Varios sistemas que desarrollan interacciones sinérgicas intermoleculares tienen ya amplias aplicaciones tecnológicas y alimenticias. Algunas de estas interacciones son bastante fuertes para conducir a la gelación a un nivel de concentraciones bajas de polímeros, en algunos casos, un marcado aumento de la viscosidad de la solución es solamente observado. Diversas interacciones sinérgicas polisacárido-polisacárido son comercialmente atractivas porque significa ahorros en costos que pueden ser obtenidos reemplazando más el costo de biopolímeros con unos baratos. Además, por diferente mezclado de biopolímeros se pueden obtener formulaciones con nuevas y deseables propiedades de textura y reológicas. ⁽⁴⁹⁾

Las asociaciones entre proteína y polisacáridos aniónicos han sido ampliamente estudiados. La interacción implica principalmente interacciones electrostáticas. Para estas macromoléculas iónicas, el pH bajo el punto isoelectrico de la proteína ($\text{pH} < \text{pK}_a$), las interacciones tienen lugar entre los grupos sulfatados de los polisacáridos y el grupo protonado amino de la proteína. En esta región de pH, si el peso aniónico es bastante bajo, la formación de complejos insolubles es posible a un nivel de concentración muy baja del polímero. A pH encima del punto isoelectrico ($\text{pH} > \text{pK}_a$), los iones metal polivalente en solución son necesarios para estabilizar los puentes isoelectroestáticos entre los grupos sulfato cargados negativamente de los polisacáridos y los grupos carboxilo de la proteína.

Las interacciones de proteínas en sistemas de polisacáridos neutros, aunque menos estudiado, son relacionados con el volumen de exclusión y la separación de fases. La mezcla de éstos puede producir un sistema termodinámicamente incompatible, que podría producir la separación de las fases. La presencia de un polisacárido incompatible no tiene efecto en la desnaturalización de la proteína pero ligeramente baja la concentración crítica para la gelatinización. ⁽⁵⁰⁾ Laurent ha estudiado la solubilidad de albumina en presencia de moléculas sin carga, en la que apoya la hipótesis de exclusión estérica; mostrando la existencia del esfuerzo de cedencia, y desarrollo de características viscoelásticas para estos sistemas que están en contraste con la conducta de biopolímeros solos. lo que hace pensar en la separación de las fases. ⁽⁴⁹⁾

3. TORTILLA

3.1 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. ⁽¹⁹⁾

Para la tortilla existen normas de elaboración y control de calidad, las cuales se encuentran establecidas en el capítulo IV del Diario Oficial de la Federación (1988), las cuales se transcriben a continuación.

ARTICULO 873. - Se entiende por tortilla de maíz, el producto elaborado con la masa o harina de maíz nixtamalizado y agua, sometida a cocción.

ARTICULO 875. - Para la elaboración de la tortilla se observarían las siguientes disposiciones:

1. La masa debe ser limpia, fresca y haber sido elaborada con el nixtamal del día.
2. La harina de maíz nixtamalizado deberá quedar libre de olor, sabor y color extraños al producto.
3. La masa deberá protegerse contra el polvo y la fauna nociva.
4. Las tortillas se guardarán en condiciones higiénicas, y
5. El producto estará libre de signos de infestación o de otras materias extrañas.

ARTICULO 876. - En la elaboración de la tortilla de maíz queda prohibido:

- I.- Mezclar olote de maíz o cualquier otra materia extraña;
- II.- Utilizar maíz en mal estado y desprovisto de su aceite.

La historia de la tortilla se remonta al origen de nuestras raíces indígenas; las etapas básicas para la preparación de tortillas han permanecido inalteradas desde esas épocas. ⁽¹⁹⁾

3.2 IMPORTANCIA 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.⁽¹⁾

Tabla 3.1. Comparación nutricional de tortilla de maíz con otros productos

Base seca				
DESCRIPCIÓN	TORTILLA DE MAÍZ (MASECA)	CORN FLAKES	TORTILLAS DE TRIGO	PAN
CALORÍAS (Kcal/g)	5.2	4	5.6	5
PROTEÍNAS (%)	10.4	7	10.4	13
CARBOHIDRATOS (%)	78	92.5	74	78
GRASAS (%)	4.6	0.01	10.5	5
FIBRA CRUDA (%)	4	0	1.3	0
CALCIO (g/kg)	0.198	--	0.06	--
FÓSFORO (g/kg)	0.057	--	0.077	--

FUENTE. Dirección Técnica. MASECA. 1994.⁽¹⁾

La tortilla de maíz hecha a partir de harina de maíz nixtamalizada no pierde su valor nutritivo, prácticamente retiene más nutrientes que las elaboradas con el nixtamal hecho en casa, porque pierde menos sólidos.⁽¹⁾

TABLA 3.2. COMPARACIÓN DE NUTRIENTE DE HARINA DE MAÍZ VS MAÍZ EN GRANO Y TORTILLA DE MAÍZ.

(BASE SECA)				
DESCRIPCIÓN	MAÍZ EN GRANO	HARINA DE MAÍZ NIXTAMALIZADA	TORTILLA DE MAÍZ	NIXTAMAL CASERO
CALORÍAS (Kcal/g)	5.4	5.2	5.2	5.1
PROTEÍNAS (%)	10.7	10.4	10.4	10.3
CARBOHIDRATOS (%)	78.5	78	78	77.6
GRASAS (%)	4.8	4.6	4.6	4.4
FIBRA CRUDA (%)	5	4	4	3.6
MINERALES (%)	1	0.9	0.9	0.8
VITAMINAS (g/Kg)	0.7	0.6	0.6	0.5

FUENTE. Dirección Técnica. MASECA. 1994

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.⁽¹⁾

La producción de tortillas en México ha ido evolucionando a grado tal que ya no solamente se contempla a este sector como un productor artesanal sino que presenta ya características eminentemente industriales. Por consiguiente, también el concepto mismo de la tortilla ha ido evolucionando con el fin de brindar una mayor comodidad a los consumidores. La tecnología mexicana ha creado tortilladoras que son capaces de producir desde 50 tortillas por minuto hasta 600 tortillas en el mismo lapso de tiempo ⁽¹⁾⁽⁵⁾

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 es de varios días, tal como lo requiere este sistema de comercialización, es decir, la tortilla lleva incorporados conservadores que prolongan notablemente la frescura del producto. ⁽⁵⁾

3.3 DESARROLLO DE LA FABRICACIÓN DE TORTILLA.

México es el principal consumidor de tortilla en el mundo con un mercado en constante aumento que alcanzó en 1994 la cifra de 11 millones de toneladas anuales. Toda la tortilla producida en el mundo se elabora mediante la tecnología mexicana de nixtamalización y cuyas etapas básicas no han sufrido modificaciones desde hace 3500 años. Esta tecnología tradicional fue modernizada hace 100 años con la invención del molino de piedra que sustituyó al metate ⁽¹⁸⁾, sin embargo, la industria de la tortilla, propiamente dicha, nace en 1910 con las investigaciones tecnológicas para el desarrollo de la máquina tortilladora con cabeza de rodillos laminados y cortadores de alambre. Después de varias décadas de investigaciones tecnológicas, en 1915 aparecieron las máquinas tortilladoras de cocimiento automático. En 1963 surgió la máquina Celorio, una máquina de tortillas completamente automática que amasa, hace la tortilla, la cuece y enfría. ⁽⁷⁾⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾ La máquina Celorio sencilla cuenta con una tolva en forma de embudo donde se deposita la masa. En el interior de la tolva se encuentra un impulsor helicoidal que empuja la masa hacia una cámara que envuelve a 6 tornillos sin fin. Las cuales la inyectan para hacerlas salir por una rendija, donde se forma la tortilla por medio de una placa móvil que obtura la salida de la masa. La tortilla cruda se conduce a través de una banda de malla de alambre, hasta el cocedor mecánico de quemadores de gas. ⁽³³⁾

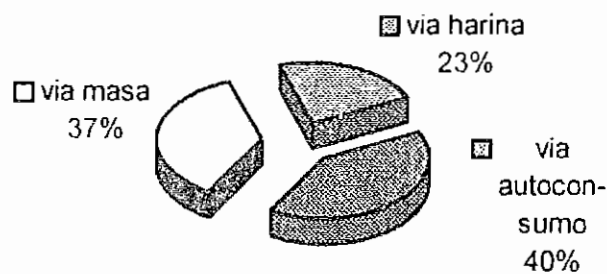
En 1960 se inventó la tortilladora Verástegui y recientemente han aparecido otras tres máquinas: las Tortec (utiliza el principio de extrusión de la máquina anterior (celorio)) y el horno

es en tres etapas, en esta máquina se trata de aprovechar más la energía, empleando como aislante una doble pared de asbesto ⁽³³⁾

Actualmente existen aproximadamente 51,000 molinos de nixtamal en el país, que conjuntamente con la harina instantánea nixtamalizada producen unos 11 millones de oneladas anuales de tortillas que consume el mercado mexicano. De no haberse desarrollado esa tecnología de la tortilla la producción manual para la preparación de la tortilla por parte de la mujer tendría que ser enorme. ⁽⁷⁾⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾

La industria de la tortilla maneja un quinto del mercado global mexicano con ventas anuales de aproximadamente 4,000 millones de toneladas anuales de los cuales 22.8% es vía harina y el restó vía masa o autoconsumo en zonas rurales como lo muestra la gráfica 3.1.

Gráfica 3.1 CONSUMO DE TORTILLA



Consumo de tortilla. ⁽¹⁹⁾

3.4 NUEVA TENDENCIAS: TORTILLAS EMPACADAS.

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 ésta perfilando como una alternativa de comercialización de la tortilla. En algunas ciudades como Monterrey, por ejemplo, existen desde hace más de una década fábricas de tortillas que distribuyen el producto empacado en misceláneas que tienen convenios de abasto sobre bases diarias. En el año de 1993, se han introducido marcas de tortilla empacada que se venden en tiendas de autoservicio y misceláneas; la vida de anaquel del producto es de varios días, tal como lo requiere este

sistema de comercialización, es decir, la tortilla lleva incorporados conservadores que prolongan notablemente la frescura del producto. Esta tendencia tendrá grandes impactos en el mercado de la masa y la harina de maíz nixtamalizada. Una fábrica de tortillas puede recibir maíz, masa o harina como insumo, dependiendo su acceso a estas materias primas. ⁽⁶⁾

3.5 ADITIVOS EMPLEADOS EN LA ELABORACIÓN DE TORTILLAS CON HMN: OBJETIVO, NIVELES DE USO Y CAMBIOS QUE OCASIONAN.

Las características de los productos de maíz nixtamalizado que generalmente son mejoradas mediante el uso de aditivos son la textura misma y la estabilidad de la textura de las tortillas durante el almacenamiento en anaquel, el color de las tortillas y su vida de anaquel. En menor grado, pero técnicamente posible, pueden adicionarse agentes nutricionalmente enriquecedores y agentes que proporcionan/ modifican el sabor a tortilla nixtamalizada, haciéndose únicamente a nivel de venta de tortilla empacada. ⁽⁶⁾

3.5.1 CONSERVADORES

La limitada vida de anaquel y el rápido endurecimiento son los mayores problemas, afectando la distribución comercial de 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 ($a_w = 0.96$) ⁽⁴¹⁾

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 calcio y propionato de sodio entre otros, los cuales son más efectivos bajo condiciones ácidas ($pH = 5.5$). El control del pH del producto mediante la adición de ácidos como el cítrico, fumarico, sórbico y otros (en niveles de aproximadamente 0.45 % por peso de la harina), son importantes para optimizar la eficiencia de éstas sales como conservadores. ⁽⁶⁾⁽⁸⁾⁽¹⁷⁾⁽³⁰⁾⁽⁴¹⁾⁽⁴²⁾⁽⁴⁴⁾

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 pastelerías. Los niveles sugeridos

de sorbatos varían 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. ⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽¹⁷⁾⁽⁴¹⁾

Los Propionatos se usan en forma de sales de Sodio y Calcio, son efectivos contra una gran variedad de mohos y resultan económicos comercialmente. El nivel máximo recomendado de éstos conservadores es de 0.32 % del peso de la harina. Los agentes antimicrobianos propil parabeno y propionato de sodio mostraron buen control en la inhibición de hongos y levaduras. ⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽¹⁷⁾⁽³⁰⁾⁽⁴¹⁾⁽⁴²⁾

La combinación de propionato de calcio y ácido sórbico es efectiva a pHs hasta de 6.2. Sin embargo, la efectividad puede ser incrementada al disminuir el pH de la tortilla. Mientras menos sea el pH, más efectivos serán los conservadores. Ya que disminuyendo el pH de la tortilla también degrada su textura y sabor, cada cliente tiene que conducir sus pruebas con su propia fórmula para determinar que tan bajo pH puede usarse sin afectar el sabor o la textura. ⁽⁴⁴⁾

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. ⁽⁸⁾

3.5.2 GOMAS

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. ⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁴²⁾

Los cambios estructurales empiezan tan pronto como la tortilla sale del horno 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. ⁽⁶⁾ Las gomas actúan generalmente en la tortilla como retenedores de humedad ⁽¹⁷⁾⁽⁴¹⁾, formadoras de capas, 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.^{(7),(8) (11) (29)(30)(42)}

La adición de gomas Xantana, Guar, Arábica, Carboximetilcelulosa y Algarrobo hace a la masa más firme y cohesiva.^{(6)(8)(10)(29)(41) (42)} La masa requiere un ligero aumento en el contenido de humedad para hacerla 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 ligeranamente gomosa⁽⁶⁾, los aditivos hidrocoloides y almidón no incrementan el número de manchas oscuras en la superficie de la tortilla. Algunas de estas propiedades las proporciona el hidrocoloide seleccionado que es el hidroxipropilmetilcelulosa (Methocel)⁽¹¹⁾.

3.5.3 ENZIMAS

Se han adicionado enzimas (0.0005- 0.05 %) a la masa con el propósito de debilitar la estructura de la tortilla y hacerla menos rígida. Las masas con amilasas, hemicelulosas o xilanasas son más suaves, menos cohesivas y más difíciles de laminar/ cortar que las masas sin enzimas.⁽⁶⁾⁽⁹⁾⁽⁴²⁾

Las masas son muy sensibles al sobremezclado y tienden a ser pegajosas.⁽⁶⁾ Aparentemente, las enzimas desdoblan parcialmente los enlaces del almidón y hemicelulosas interrumpiendo/ rompiendo, 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 utilización de enzimas que se inactiven durante el horneado es deseable para evitar la continuación sin control del efecto durante el almacenamiento. La utilización de malta diatásica de cebada (0.01- 0.3%) también aumentó la suavidad y pegajosidad de la masa produciendo tortillas más suaves pero quebradiza. La malta es una mezcla de enzimas de varios tipos que actúan sobre varios componentes químicos de la masa. La concentración de enzimas debe ser mínima ya que los componentes de la masa son muy susceptibles al ataque enzimático que cambian rápidamente las propiedades de la masa tan pronto como entran en contacto durante la rehidratación. Dicha concentración está en función de la actividad enzimática.⁽⁶⁾ En general, las enzimas son eficientes para modificar parcialmente la estructura de la masa para producir tortillas más suaves pero con menor capacidad de enrollarse sin quebrarse.⁽⁶⁾⁽⁹⁾

3.5.4 OTROS ADITIVOS

Otra forma de prevenir el desarrollo microbiano en tortillas es mediante el desarrollo y estabilidad de la humedad intermedia utilizando humectantes 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. ⁽⁸⁾

El efecto de la adición de monoglicéridos (0.2- 0.4 %) a tortillas almacenadas a 4° C y a -20° C fue evaluado con un panel entrenado y con la Máquina Universal Instron. La adición de monoglicéridos produjo tortillas que fueron blandas, más rollable, y menos seca que la tortilla control. ⁽⁴¹⁾

La acción de las proteínas de Soya sobre la funcionalidad de ingredientes en diversos sistemas alimentarios, tales como la emulsificación y capacidad de retención de agua, ha sido ampliamente confirmada. Sin embargo, estudios, sobre la adición de productos de proteína de soya en las tortillas de maíz, tales como harina de soya integral, harina desengrasada de soya, han sido dirigidos fundamentalmente a mejorar el valor nutrimental de las tortillas de maíz. Para lograr un máximo beneficio de la adición de productos de soya a la harina de maíz nixtamalizada (HMN), se debe ajustar la absorción de agua de la misma. ⁽⁴²⁾⁽⁴³⁾

Las proteínas de leche (suero de la leche y caseinato) no mejoran la estabilidad de almacenamiento de tortillas de maíz, sin embargo, las proteínas de la leche son adicionadas para mejorar el valor nutricional de la tortilla de maíz. ⁽¹¹⁾

Igual aditivos como el gluten de trigo extiende significativamente la estabilidad de almacenamiento a 25° C (basados en pruebas de rollabilidad), en tortillas de harina de maíz por 4 días a 1% y 7 días a un nivel de 2%. El uso de 2% de sorbitol le da a las tortillas de maíz una estabilidad de almacenamiento (25° C) de 4.5 días comparada con la del control que es de 3 días. Sin embargo, las tortillas con la mejor estabilidad de almacenamiento a 25° C (12 días) fueron producidas adicionando una combinación de gluten (2%), CMC (0.5%) y sorbitol (3%). ⁽¹¹⁾

El Proceso de congelación: El rápido incremento en los últimos tiempos en el consumo de alimentos congelados se halla íntimamente asociado a la difusión de los congeladores

domésticos y los microondas; para la congelación, primero es preciso eliminar el calor sensible del alimento para bajar la temperatura hasta alcanzar la temperatura de congelación. La cantidad de calor a extraer, denominada <<carga calórica>>, es importante ya que con ello determinará la potencia de la instalación. Posteriormente se elimina el calor latente de congelación, lo que provoca la formación de cristales de hielo. El punto de congelación de un alimento es aquella temperatura en la que coexisten, en equilibrio, el agua y pequeños cristales de hielo. Para la cristalización de un cristal de hielo debe primero existir un núcleo de moléculas de agua (nucleación), siendo la nucleación heterogénea la más comúnmente empleada (la formación del núcleo sobre partículas en suspensión o sobre la pared celular). Cuando el alimento es enfriado por debajo de 0°C, el hielo empieza a formarse a la temperatura denominada <<críoscópica>> (o comienzo de la congelación). Ésta temperatura depende en gran medida de la concentración molar de las sustancias disueltas y no de su contenido del agua. Si la congelación es muy rápida, el movimiento del agua y de solutos, es reducido. Una vez que el agua ha comenzado a congelar, la cristalización es función de la velocidad de enfriamiento, pero si la velocidad de congelación es débil, se forman pocos núcleos de cristalización y los hielos crecen ampliamente. ⁽³¹⁾⁽³²⁾

En los alimentos horneados se requiere una concentración elevada de amilopectina en el almidón para evitar la retrogradación y endurecimiento que se produce como consecuencia de la congelación lenta y del almacenamiento en congelación. ⁽³¹⁾ En la congelación lenta, los cristales de hielo crecen en los espacios intracelulares deformando y rompiendo las paredes de las células con las que contactan. La presión de vapor de los cristales de hielo es inferior a la de distintos puntos en el interior de la célula, por lo que el agua pasa de las células a los cristales, engrosándolos. ⁽³¹⁾

En cuanto a estudios reportados del efecto de la congelación relacionados con masa y tortilla, solo se cuenta con la retrogradación de la amilosa y de la insolubilización de la amilopectina que ocurre cuando las soluciones de ésta se congelan y descongelan continuamente. ⁽⁴⁵⁾

4. TEXTURA.

Como consumidores, todos nos damos cuenta con precisión de la textura cuando comemos o bebemos sólidos o líquidos, y no puede dudarse que la textura es un factor importante en la calidad del alimento. ⁽¹⁶⁾ Consumimos los alimentos básicamente por la necesidad del organismo de sus nutrimentos, pero el comer es también entendido por el hombre como un placer, de hecho, la masticación proporciona sensaciones placenteras que satisfacen una necesidad humana básica. En este sentido, el hombre juzga sensorialmente la calidad de los alimentos que consume en base a atributos que percibe por medio de los sentidos individualmente, los cuales son procesados en el cerebro como una impresión global de calidad. ⁽²¹⁾

La textura de los alimentos está relacionada con propiedades físicas y químicas, percibidas por vía ocular (con la vista su color, tamaño y forma), por el sentido del tacto al manejar el alimento (manos, lengua, paladar, etc.), por distintos receptores sensoriales de la boca durante el consumo (sentido del gusto), y el olfato percibe el olor y sabor de los alimentos. De este modo el consumidor se da cuenta de todo un conjunto de características texturales que se derivan de distintas propiedades fisicoquímicas del alimento tales como tamaño y forma generales, tamaño de partícula, contenido en grasa, estructura y propiedades mecánicas. Debido a la importancia de la textura en la calidad de los alimentos, se han hecho importantes esfuerzos por sistematizar su evaluación ya sea desde el punto de vista sensorial como por métodos instrumentales. ⁽²¹⁾⁽¹⁶⁾

Es difícil definir el término textura ya que tiene un significado diferente para otras personas. La palabra textura proviene del latín *textura-téxtere* que significa tejer. El diccionario define textura como: *Disposición o conexión de los hilos de una tela. Disposición que tienen entre si las partículas de un cuerpo* (Grolier, Diccionario enciclopédico). ⁽²¹⁾

Una definición generalmente aceptada es que la textura describe el atributo de un producto alimenticio que resulta de una combinación de propiedades físicas y químicas, percibidas en gran medida mediante los sentidos del tacto, vista y oído. ⁽¹⁶⁾

4.1 MÉTODOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA TEXTURA

La evaluación de las propiedades mecánicas de los alimentos es determinante en todo el proceso desde su cosecha, captura, manejo, transporte, procesamiento, almacenamiento y consumo.

ya que tanto el productor directo, el tecnólogo, ingeniero, analista de control de calidad, investigador y consumidor, aplican de alguna manera, pruebas reológicas y de textura. ⁽²¹⁾

Evaluación de la textura por métodos sensoriales. La textura puede solamente ser medida mediante técnicas sensoriales que implican el uso de jurados de catadores, tanto entrenados (deben de cubrir ciertas características como: dentadura completa y sin caries, tener alineación de los dientes y posición de las mandíbulas "normal"), como sin entrenar. El entrenamiento es indispensable para garantiza la precisión de los resultados. No obstante, los métodos sensoriales consumen mucho tiempo y la fiabilidad de sus resultados depende en gran medida del diseño correcto y de la aplicación inteligente de los experimentos, así como de la aptitud y cooperación de los asesores sensoriales. El perfil de textura sensorial implica el uso de un jurado de asesores sensoriales entrenados para elaborar una lista de <<palabras de textura>> que describan las características texturales percibidas en una serie de muestras típicas de un alimento o producto en particular. ⁽¹⁶⁾⁽²¹⁾

Las propiedades o características de textura han sido clasificadas en función de las propiedades físicas del material en atributos *mecánicos* como lo son la dureza, cohesividad, viscosidad, elasticidad, adhesividad (atributos primarios), y la fragilidad, masticabilidad, cremosidad, etc. (atributos secundarios); los atributos *Geométricos* como lo son la porosidad, granulosidad, esponjosidad, etc (tamaño y forma de la partícula), fibrosidad, cristalinidad, etc (forma y orientación de la partícula); y los de *Composición* como si está húmedo, seco, harinoso, etc (contenido de humedad) y grasoso o aceitoso (contenido de grasa). ⁽²¹⁾

Aunque también se pueden clasificar por el orden en que se perciben durante su consumo en atributos de percepción inicial como son la apariencia visual: características de la muestra (tamaño y forma), como la porosidad, cremosidad, fluidez, etc; percepción inicial en el paladar como el tamaño, forma y distribución de partículas, contenido de aire, elasticidad, viscosidad, adhesión (al paladar); de masticación (alto esfuerzo de cizalla), como si está duro, suave, fresco, quebradizo, esponjoso, tostado, rugoso, fluido, pegajoso, viscoso, etc; y la impresión residual de la masticación como la gomosidad, grasosidad, fibrosidad, etc ⁽²¹⁾

Los atributos mencionados se utilizan para reportar los resultados de las evaluaciones de textura tanto instrumentales como sensoriales. La definición física tiene que ver con el tipo de prueba que se implemente a nivel instrumental mientras que la definición sensorial está descrita tal como debe entenderla un juez al momento de evaluar el atributo durante el consumo. ⁽²¹⁾

Evaluación de la textura mediante técnicas instrumentales. La medición instrumental fue propuesta como una alternativa a la evaluación sensorial con el fin de superar los principales inconvenientes y limitaciones de ésta última. La gran variabilidad que puede existir con los resultados, la dificultad en la ejecución de las pruebas debido a los naturales problemas que se presentan al trabajar con humanos y a lo laborioso de algunas pruebas. ⁽³⁷⁾

Un atributo de la textura es la manifestación de una combinación de propiedades físicas y químicas, que incluyen la forma, tamaño, número, naturaleza y disposición de los elementos estructurales constituyentes. Son a menudo un reflejo de la estructura del producto, y de este modo, la estructura de un producto puede a menudo conducir a una mejor comprensión de sus propiedades físicas y, en último término, de sus características texturales. Este concepto es la base de la mayoría de los métodos instrumentales para la evaluación de la textura. ⁽¹⁶⁾

Los métodos instrumentales pueden medir una única propiedad física, pero más frecuentemente miden la mezcla de una serie de propiedades físicas del producto bajo estudio; son métodos indirectos de medición de la textura, y sus resultados tienen sentido únicamente si se puede demostrar que están relacionados conceptual y estadísticamente con los obtenidos por métodos sensoriales. ⁽¹⁶⁾

Existe gran variedad de métodos instrumentales de medición de textura, pero todos ellos se basan en los siguientes elementos: a) Una punta prueba, o sea, un elemento de aplicación del esfuerzo; b) Una fuente de movimiento y c) Un elemento registrador. ⁽³⁷⁾

Se clasifican normalmente en tres categorías, a saber, métodos fundamentales, imitativos y empíricos. ⁽¹⁶⁾

Métodos Fundamentales. Son aquellos en los que se trata de definir lo más exactamente posible el comportamiento reológico del alimento, que pueda ser descrito matemáticamente, establecer las ecuaciones que rigen dicho comportamiento y medir los parámetros y coeficientes involucrados en dichas ecuaciones. ⁽¹⁶⁾⁽²¹⁾⁽³⁷⁾

Los resultados se expresan en términos de potencias de masa, longitud y tiempo y todas las variables son conocidas y controladas. En materiales complejos, una prueba fundamental puede

arrojar 10 parámetros o más. Son usados principalmente en investigación básica y requieren por lo general de instrumentos sofisticados y costosos. Se utilizan viscosímetros y reómetros. Se recurren a estas pruebas como apoyo o complemento para determinar la estructura de los materiales, cuando se quiere caracterizar rigurosamente el comportamiento del mismo, para estudios básicos relacionados con características del material (punto de gelificación), para diseño, selección y control de equipo de proceso y en algunos casos para cuestiones de desarrollo de productos, procesos, proveedores, control de calidad. ⁽²¹⁾

Una limitante de la aplicación de las pruebas fundamentales en alimentos es el hecho de que la heterogeneidad de la muestra complica la aplicación de las pruebas debido a la dificultad de asegurar que los perfiles de velocidad o deformación son iguales, lo complejo de tomar muestras con dimensiones específicas y homogéneas requeridas por el instrumento. Otro factor a considerar es el hecho de que las pruebas fundamentales manejan esfuerzos, deformaciones y tiempos diferentes a los que se utilizan en los procesos de manufactura y durante el consumo de los alimentos. ⁽²¹⁾

Métodos imitativos. Este grupo de técnicas intenta simular en cierto grado las fuerzas y deformación a las que está sometido el alimento mientras está siendo consumido. La textura viene evaluada principalmente a partir de las sensaciones originadas cuando el alimento entra en contacto con las partes duras y blandas de la boca. Además de simular la acción de dedos, manos, los dientes, la lengua, el paladar y las demás estructuras orales que tienen algún papel en el proceso de masticación y en la medición de la textura. ⁽¹⁶⁾⁽²¹⁾⁽³⁷⁾

Dentro de estos instrumentos podemos mencionar: los untómetros para mantequilla, el farinografo y arnilógrafo para masas, el tenderómetro de mandíbula de Volodkevich, el tenderómetro de dentadura del M.I.T (el cual ofrece la ventaja de que mide un espectro de parámetros mas que una característica aislada). Este último se utilizó como prototipo para la construcción de una unidad modificada para la medición de textura llamada texturómetro (General Foods Texturómetro), el cual sustituyó la mandíbula por un embolo (superior) y una placa (inferior) y se le acondicionó con varias velocidades de masticación. Este finalmente fue adaptado a la Maquina Universal de Deformación INSTRON. ⁽¹⁶⁾⁽²¹⁾⁽³⁷⁾

Métodos empíricos. Son los más utilizados. Por lo general, las pruebas empíricas son destructivas, aunque también pueden ser de tipo no destructivas. ⁽³⁷⁾ Estos métodos miden propiedades de los productos a menudo no bien definidas, se efectúan con instrumentos (sencillos y económicos) que

con frecuencia son diseñados o construidos para un material específico. Estas pruebas arrojan como resultado generalmente un solo dato (distancia, fuerza, área, tiempo, velocidad). Las variables que intervienen no siempre son conocidas, por lo que los resultados que originan son en ocasiones específicos para un tipo de material, bajo las condiciones experimentales utilizadas, del instrumento, el método, la carga aplicada, la velocidad de aplicación de la carga, la geometría, dimensiones y orientación de la muestra, y es difícil predecir el efecto de la alteración del tamaño de la sonda o su velocidad sin continuar la experimentación lo que ocasiona que no sean reproducibles ni puedan expresarse en términos de cantidades reológicas fundamentales (potencias de masa, longitud y tiempo).⁽¹⁶⁾⁽²¹⁾ Son válidos y comparables solo bajo el mismo aparato, método, condiciones y geometría de la muestra. Son ampliamente utilizados en la industria (alimentos, recubrimientos, materiales de construcción, petroquímica y farmacia).⁽¹⁶⁾⁽²¹⁾

Los materiales son sujetos a una deformación bajo compresión, penetración, cizalla, extrusión, corte, flujo o combinaciones de éstas (Figura 4.1)⁽¹⁶⁾⁽²¹⁾ Algunos ejemplos de éstos instrumentos son: Los penetrómetros (como el Penetrómetro Universal inicialmente diseñado para ceras y otros derivados del petróleo y cuyo uso se ha extendido a otras áreas como alimentos y productos farmacéuticos). El gelómetro de Bloom para grenetinas, el ridgelímetro para pectinas, el consistómetro de Bostwick para salsas, purés, jarabes, el aparato Warner-Bratzler (carnes), el tenderómetro (chicharos), la Prensa Kramer (varios alimentos), los fibrómetros, etc.⁽²¹⁾

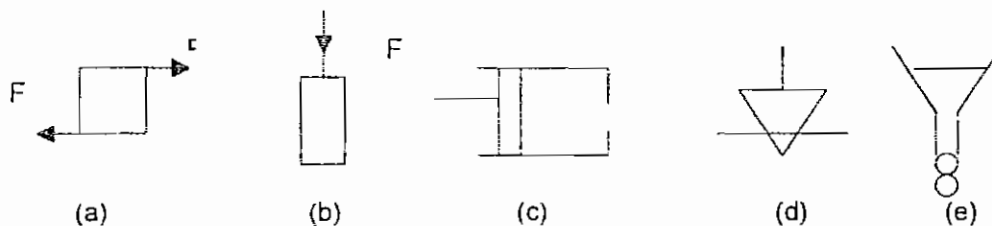


Figura 4.1. Esquema de algunos de los diferentes métodos disponibles para someter alimentos a una fuerza: (a) cizalla; (b) compresión; (c) extrusión; (d) penetración; (e) flujo.⁽¹⁶⁾

Texturómetros: El acelerado avance de la electrónica y la computación ha permitido el desarrollo de los modernos texturómetros para alimentos que son más compactos que la INSTRON y operan bajo el mismo principio que ésta y sus antecesoras. En todas éstas, a velocidad controlada, se establece una deformación del material y se mide como respuesta del mismo la fuerza en función del tiempo o viceversa. Los texturómetros cuentan con una amplia variedad de dispositivos de prueba (conos,

placas, agujas, cilindros, esferas, cuchillas, celdas de corte y extrusión, etc.) y efectúan las pruebas ya sea bajo tensión y compresión. ⁽²¹⁾

El texturómetro de General Foods fue diseñado para simular el proceso de masticación, y generó el llamado Análisis de Perfil de Textura (iniciales en inglés: TPA), que consistió en comprimir un cubo del alimento de 12 cm por lado a 25% de su altura original. El alimento se comprime dos veces, simulando los dos primeros masticados, empujando un émbolo a una distancia estándar, normalmente 35 mm en el alimento, y midiendo la fuerza ejercida. Hay dos velocidades de masticación, y se emplean objetos del tamaño de un bocado. ⁽¹²⁾⁽¹⁶⁾⁽²¹⁾

Del análisis del TPA se extraen 7 parámetros texturales, que a continuación se definirán física y sensorialmente: ⁽¹²⁾⁽²¹⁾

DUREZA : Física: Fuerza necesaria para una deformación dada.

Sensorial: fuerza requerida para comprimir una sustancia entre las muelas (sólido) o entre la lengua y el paladar (semisólido) ⁽²¹⁾

COHESIVIDAD : Física: Qué tanto puede deformarse un material antes de romperse.

Sensorial: Grado hasta que se comprime una sustancia entre los dientes antes de romperse. ⁽²¹⁾

ELASTICIDAD : Física: Tasa a la cual un material deformado regresa a su condición inicial después de retirar la fuerza deformante.

Sensorial: Grado hasta el cual regresa un producto a su forma original una vez que ha sido comprimido entre los dientes. ⁽²¹⁾

ADHESIVIDAD : Física: Trabajo necesario para vencer las fuerzas de atracción entre la superficie del alimento y la superficie de los otros materiales con los que el alimento entra en contacto.

Sensorial: Fuerza requerida para retirar el material que se adhiere a la boca (generalmente el paladar) durante su consumo. ⁽²¹⁾

FRAGILIDAD: Física: Fuerza con la cual se fractura un material (alto grado de dureza y bajo de cohesividad).

Sensorial: Fuerza con la que un material se desmorona, cruje o se estrella. ⁽²¹⁾

MASTICABILIDAD: Física: Energía requerida para masticar un alimento hasta que esté listo para ser deglutido (una combinación de baja dureza, cohesividad y alta elasticidad).

Sensorial: Tiempo requerido para masticar la muestra, a una tasa constante de aplicación, para reducirla a una consistencia adecuada para tragarla. ⁽²¹⁾

GOMOSIDAD: Física: Energía requerida para desintegrar un alimento semisólido a un estado listo para deglutirlo (combinación de baja dureza y alta cohesividad).

Sensorial: Densidad que persiste a lo largo de la masticación, energía requerida para desintegrar un alimento semisólido a un estado adecuado para tragarlo. ⁽²¹⁾

Algunas pruebas realizadas subjetivamente en ciertos alimentos en donde se aplica una fuerza de compresión, de extrusión, deformación o de corte, se pueden realizar objetivamente empleando para ello un texturometro. ⁽²¹⁾

Métodos químicos y microscópicos. Particularmente en frutas y hortalizas, aparecen cambios bioquímicos mientras crecen y durante el subsiguiente almacenamiento, muchos de los cuales tienen un efecto directo sobre la textura. Se realizan análisis para determinar factores como la pectina soluble, sólidos totales insolubles en alcohol, acidez, azúcar, relaciones ácido/ azúcar y almidón/ azúcar. El examen de productos bajo el microscopio puede suministrar información útil acerca de su estructura recibiendo mucha mayor atención en los últimos años en los estudios texturales para productos tales como emulsiones, productos lácteos, productos de panadería, carne y pescado. ⁽¹⁶⁾

4.2 IMPORTANCIA DE LA TEXTURA EN MASA Y TORTILLA.

El crecimiento continuo 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 máquinas, funcionalidad de aditivos, estudios 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. ⁽⁶⁾

4.3 PROPIEDADES TEXTURALES IMPORTANTES EN MASA Y TORTILLA.

La compresión de nixtamal en condiciones de presión y tiempo controladas en una Prensa puede emplearse para medir el grado de cocimiento durante la nixtamalización. Nixtamales más cocidos se comprimen más que los menos cocidos. La firmeza de la masa puede medirse con un Penetrómetro como la distancia que un cono o aguja penetra al aplicarse un peso por un tiempo determinado. Las masas con capacidad de absorción de agua alta y mucha cohesividad son más difíciles de penetrar obteniendo distancias de penetración cortas durante la prueba. ⁽⁵⁾

Analizadores de textura que miden las características de deformación y flujo de los materiales pueden emplearse para medir con precisión las características de textura del nixtamal, masa y tortillas. La consistencia del nixtamal puede medirse como la fuerza y trabajo necesarios para extruirlo en condiciones controladas. La cohesividad, firmeza, gomosidad y otras propiedades de la masa pueden medirse en una muestra preparada apropiadamente durante su deformación en condiciones controladas. La flexibilidad, la rotabilidad y la capacidad de doblarse sin romperse de las tortillas puede medirse con un analizador de textura o subjetivamente. ⁽⁶⁾

4.4 MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE TEXTURA EN MASA Y TORTILLA

Los métodos de análisis/ evaluación empleados en la industria de la tortilla son en su mayoría sencillos y subjetivos, en gran medida dependientes de la experiencia del operador. Estos métodos son prácticos y adecuados para plantas pequeñas que distribuyen productos de consumo diario en un mercado local limitado donde la demanda es mayor que la oferta. En plantas medianas y grandes que compiten con calidad en el mercado se requieren métodos más objetivos. ⁽⁶⁾

4.4.1 PRUEBAS SUBJETIVAS.

Se han realizado diversas investigaciones para medir firmeza y rollabilidad en tortillas. Se ha encontrado que ésta propiedad se ve afectada por las condiciones en las que se lleve el proceso (tiempo de cocción, y contenido de humedad). Dos horas después de ser elaboradas las tortillas, la firmeza decrece, tanto como el tiempo de cocción y el contenido de humedad se incrementa. Lo anterior es independientemente del grado de molienda. Después de 48 horas de almacenaje, la firmeza aumenta para todas las condiciones de proceso ⁽⁸⁾

Técnica de enrollado:

La rollabilidad de la tortilla es otra prueba en control de calidad en tortillas, donde se mide el grado de flexibilidad de la misma. La evaluación consiste en cortar tiras de tortillas de 2 cm de ancho (o inclusive la tortilla entera), para después enrollarlas, por separado, en un rodillo de madera de 1 o 2 cm de diámetro. Una vez enrollada las tiras se observa el grado de agrietamiento de las tortillas. Se utiliza una escala de 1 a 5 para calificar la rollabilidad; donde 1 significa que la tortilla se rompe totalmente y es de pobre calidad en cuanto a textura se refiere. Una calificación de 3 nos dice que existió una ruptura parcial y 5, la tortilla es muy flexible o rollable, no se rompe. ⁽⁸⁾⁽¹¹⁾⁽¹⁴⁾⁽⁴³⁾

Técnica de flexibilidad:

Dos evaluadores capacitados apretaron con la mano una tortilla y analizaron subjetivamente su flexibilidad total (por ejemplo, firmeza y fragilidad). La calificación de flexibilidad fue clasificada de 1= extremadamente firme y frágil a 5 = extremadamente flexible y no se rompe en pedazos. ⁽⁴³⁾ Aunque se ha utilizado una escala de 1 a 3 en donde 1 = rígida, 2= moderadamente flexible, y 3= flexible. ⁽¹¹⁾

Técnica de doblado:

Se colocó una tortilla en el extremo superior de un rodillo de madera de 1 cm y se permitió que se doblara por si misma. El grado de doblado fue analizado y calificado por dos evaluadores capacitados que utilizaron una escala de 1= extremadamente recta, no se dobló (plana), a 5= extremadamente doblada (a un ángulo de 90 grados). ⁽⁴³⁾

Maquinabilidad

Se puede medir como pegajosidad de la masa en la mezcladora y en el laminado, hinchado de la tortilla durante el cocido, En donde se empleo una escala de 1 a 3: En la pegajosidad fue 1= no pegajoso, 2= escasamente pegajoso, y 3 = pegajoso. En el hinchado fue 1= bajo o no hinchado, 2= 10 – 40 % del área hinchada, y 3= más del 50% del área hinchada. ⁽¹¹⁾

Cabe mencionar que en la evaluación organoléptica se aplica una prueba subjetiva por medio de un panel de jueces entrenados (35 personas) para medir color, sabor y aceptabilidad del alimento. Se empleó en éste caso una escala de 9 en donde 1= no gustarle a uno y 9 = gustarle mucho). ⁽¹¹⁾

4.4.2 PRUEBAS OBJETIVAS.

Los dos tipos principales de instrumentos son los que miden fuerzas y los que miden distancias. El equipo medidor de fuerzas mide la fuerza requerida para penetrar, comprimir, deformar o extruir un alimento. La sonda es empujada en el alimento, causando compresión irreversible o flujo; la profundidad de la penetración se mantiene constante y la fuerza ejercida por el alimento es medida. En el equipo medidor de distancia, el material se somete a una fuerza constante y se mide la deformación. ⁽¹⁶⁾

MASA

Uno de los instrumentos más ampliamente utilizados dentro de esta categoría es el penetrómetro de cono. Muchos de los instrumentos más sofisticados son capaces de utilizar ambos sistemas. ⁽¹⁶⁾ El Penetrómetro Universal es el más común y está basado en el ASTM (American Society of Testing Materials). El Dinamómetro Digital GAUGE: Es un penetrómetro que opera bajo el principio de área de penetración constante (velocidad variable). ⁽²¹⁾ Los Extrusión y Extrusores se determina la fuerza necesaria para extruir un material a través de un orificio pequeño o un anillo. ⁽¹⁶⁾

TORTILLA

Un método para evaluar la firmeza en tortillas es la celda de Kramer acoplada a un texturometro. Dicho método consiste en medir el esfuerzo máximo necesario (expresado en Pa) ó como el trabajo necesario (N-m) para romper un pedazo de tortilla de área conocida. El diseño de la

celda de Kramer simula la acción de masticación humana. El procedimiento que se sigue es el siguiente: se corta una pieza de área conocida del centro de una tortilla y se coloca dentro de la celda Kramer. Después se hace bajar el cabezal del texturometro, aplicándose una compresión uniaxial. Se registra la fuerza requerida para romper la tortilla, obteniéndose una curva de deformación y ruptura en el graficador del texturometro. Se registra la fuerza requerida para romper la tortilla. Para esta evaluación se utiliza una celda de carga, una velocidad de cabezal y una velocidad de corte previamente establecidas. De las curvas obtenidas se calculan la fuerza máxima como a la altura del pico máximo y el trabajo requerido para romper la muestra como el área bajo la curva. ⁽⁸⁾

Técnica de extensibilidad: Se corta una tira de tortilla entre las líneas de horneado, cerca del centro de la misma, utilizando una plantilla de acrílico de 70x35 mm. Después se asegura esta tira con dos abrazaderas unidas a un analizador de textura TA.XT2 (Stable-Micro systems, Hasiemere, UK/ Texture Technologies Corp., Scarsdale, NY). La tira fue estirada separada hasta que se rompió durante la prueba de extensibilidad. Se graficaron y compararon las curvas fuerza- deformación. Se evaluaron los módulos de deformación (pendiente inicial lineal, N/m) y de fuerza (N) para romper la tira de tortilla 1 mm. ⁽⁴³⁾

Técnica de corte en rollo: la textura de la tortilla fue comparada por una prueba de compresión- cizalla. La guillotina adherida a la máquina Instron es guiada hacia la tortilla enrollada en forma de un cilindro hueco de 6 cm en longitud y 2-5 cm de diámetro a una velocidad de 20 mm /min, el área bajo la curva, fue tomada como una medida de la dureza del producto. ⁽⁴⁵⁾

Técnica de rollabilidad objetiva: Se realizó utilizando un analizador de textura (TAXT2), en donde se utilizó un accesorio diseñado para esta técnica y que consiste en un cilindro de acrílico de 1.9 cm de diámetro y una cadena muy fina de metal que es conectada en el cilindro de acrílico al brazo sensor del texturometro. La punta o sonda es calibrada a una distancia de 160 mm del brazo sensor a la plataforma. Una tortilla fue sujeta en el rodillo de tal forma que el borde de la tortilla fue firmemente apretada por un hilo de metal, la fuerza requerida para tirar de un eje que da vueltas al rodillo, para la creación del rollo de tortilla es registrada. La prueba es conducida usando el modo "fuerza en tensión" y retornando al inicio. La fuerza para detectar la superficie de la muestra fue de 0.05 N. La distancia de extensión fue de 50.0 mm a velocidad de 3.0 mm/ s. ⁽¹⁴⁾

5. MATERIALES Y METODOS

OBJETIVO GENERAL:

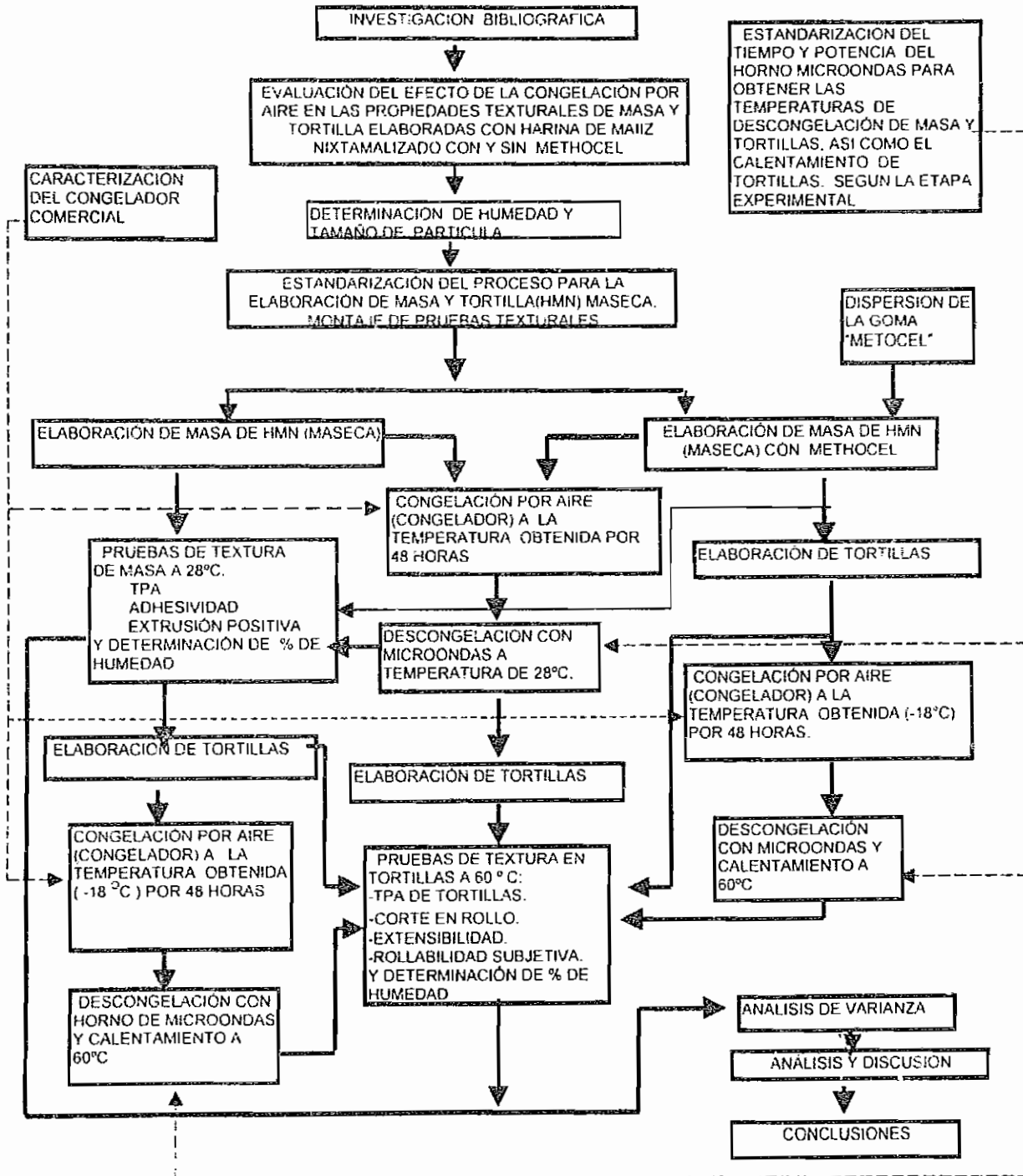
Evaluar el efecto de la congelación por aire en masa y tortillas elaboradas con harina de maíz nixtamalizado (maseca) en las propiedades texturales de las mismas, con y sin goma (methocel).

OBJETIVOS PARTICULARES:

- 1) Evaluar el efecto de la congelación por aire en las propiedades texturales de masa elaborada con harina de maíz nixtamalizada con y sin goma (methocel).
- 2) Evaluar el efecto de la congelación por aire en las propiedades texturales de tortillas elaboradas con harina de maíz nixtamalizada con y sin goma (methocel).
- 3) Comparar las propiedades texturales de tortillas elaboradas con masa congelada de harina de maíz nixtamalizada y tortillas congeladas elaboradas con harina de maíz nixtamalizada con y sin goma (methocel).

En el diagrama 5.1 se muestra la secuencia llevada a cabo en esta investigación, en donde las flechas que no están punteadas nos indica, de acuerdo a la dirección de la flecha, el paso siguiente; Mientras que en las flechas punteadas nos indica la etapa en donde se aplica los resultados obtenidos en dicha actividad previa.

DIAGRAMA 5.1 SECUENCIA EXPERIMENTAL



5.1 MATERIA PRIMA:

1) HARINA DE MAIZ: La Harina de Maíz Nixtamalizado utilizada fue de la marca MASECA adquirida en establecimiento comercial (Bodega Aurrera sucursal Ferrocarril Hidalgo), en presentación de bolsas de 1 Kg. Se adquirió un lote y se realizó una mezcla utilizando 6 kilos de esta presentación, con el fin de tener una mezcla suficiente y homogénea para las diferentes etapas de la experimentación. En todas estas muestras se tomó una cantidad suficiente para su control tanto de humedad como de tamaño de partícula. En cuanto a su almacenamiento se realizó de la siguiente manera; se utilizaron nuevamente los empaques de la presentación de un kilogramo empleados en la comercialización de la misma, y se almacenaron en el laboratorio en una gaveta a temperatura ambiente (aproximadamente a 27° C).

2) GOMA METHOCEL (Methocel K 4M premium)

DESCRIPCIÓN: Es una mezcla de hidrocoloides, metilcelulosa e hidroxipropilmetilcelulosa, prácticamente sin sabor ni olor, ideal para la formación de geles, formador de películas, retenedor de humedad, espesante, emulsificante y lubricante.

PROPIEDADES: Con la gran gama de productos se puede escoger el más adecuado para cada caso en particular. Se tienen varios tipos de viscosidades nominales (15- 100.000 Cps en dispersiones acuosas al 2%). Es la única goma en que la viscosidad aumenta conforme la temperatura aumenta a γ constante. Muestra una gran estabilidad en un amplio rango de pH (3-11).

APLICACIONES: Se tiene una gran variedad de productos en la cual se puede usar como son los siguientes: salsas y aderezos, productos de panificación, comidas fritas, comidas reconstruidas, cremas batidas, postres congelados, sopas, comida dietética, comida para animales y por último en tortillas de maíz.

El fabricante recomienda que en el caso de las tortillas, emplear una concentración entre 0.15 a 1% en base seca, por lo que en este caso se utilizara la concentración baja (0.15%) para evitar darle un sabor desagradable a la tortilla (en la literatura nos recomienda la utilización de bajas concentraciones en especial del 2% de cualquier goma).⁽⁶⁾⁽¹¹⁾

5.2 EQUIPO UTILIZADO EN LAS ACTIVIDADES PREVIAS:

-Balanza granataria.

Balanza de humedad (OHAUS, modelo No.6018, con capacidad de 10 gramos de muestra, tanto para la harina de Maiz Nixtamalizado (maseca) como para la masa y a las tortillas de ésta misma, ⁽⁴⁶⁾

-Batidora mezcladora doméstica Hobart con paleta mezcladora, tipo araña (Kitchen Aid, modelo K5SS, máximo watts 325, volts 115, 60 Hz)

-Tortilladora domestica "Monarca".

-Estufa de mesa de dos quemadores marca Delher.

-Comal de acero inoxidable de 2 mm de espesor.

-Congelador comercial tipo paletero marca "Nieto"

-Horno de microondas Mabe HOTPOINT Modelo MH 1400. Capacidad de 1.4 pies cúbicos, Voltaje de 120 volts +/-10%, ciclaje de 60 Hz y consumo de 1.350 watts a 12.6 amps.

-Agitador de propela (Labo-stirrer, modelo LR-41D, 10 velocidades).

-Baño maría para mantener la temperatura de dispersión de la goma constante (35° C).

-Vasos de precipitado de 500 ml o 1 litro.

-Texturometro TA XT2

-Juego de tamices de la serie Taylor: Equipo de mallas (100, 80, 60, 40, 20 y 10), charola, brocha, balanza granataria, 2 tapones de goma del No.5 por cada malla que se utilice y el vibrador (Ro-Tap).

-Termómetros.

-Tortilleros o recipientes de preferencia de unicel para mantener la temperatura de la muestra durante las pruebas.

5.3 DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES PREVIAS

5.3.1 MONTAJE DE PRUEBAS DE TEXTURA DE MASA Y TORTILLA:

El objetivo es establecer las condiciones para cada prueba en lo referente a velocidad, distancia, tiempo, tamaño y forma de la muestra, así como determinar la cantidad de muestra necesaria en cada prueba tiempo que consume su realización, el número de réplicas adecuado y programar las instrucciones (macro) para que se realice los cálculos, con el fin de obtener los parámetros texturales en cada prueba. así como desarrollar la destreza necesaria en las pruebas.

5.3.2 DISPERSIÓN DE LA GOMA (METHOCEL):

Se dispersó en el agua necesaria para la elaboración de la masa a 35 °C antes del amasado con el fin de evitar formación de posibles grumos. Se agregó poco a poco la goma con agitación constante utilizando un agitador de propela. se continúa la agitación hasta que la goma se dispersó completamente.

La decisión de utilizar este tipo de goma fue debido a tres causas principales: a) la disponibilidad del producto en una cantidad suficiente (proporcionada por el fabricante), b) la facilidad de dispersión de esta goma, presentando una mayor estabilidad en el producto (formadora de geles, espesante y viscosidades relativamente altas) y c) la poca existencia de estudios basados con este tipo de goma en productos congelados.

5.3.3 ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE MASA Y TORTILLAS DE HMN MASECA:

Se estudiaron diferentes porcentajes de humedad de masa teórica (58%, 60% y 63%), (empleando el procedimiento descrito en "preparación de la masa" en el método de TPA de masa), para obtener una tortilla de calidad aceptable y de buena apariencia. Así mismo se determinó el tiempo adecuado de cocción en tres etapas (empleando la mejor humedad determinada con anterioridad). De acuerdo con el tiempo reportado en bibliografía, el tiempo promedio empleado en tortillerías y tomando en cuenta nuestras condiciones de trabajo se planteó manejar los siguientes procedimientos de cocción: tres tiempos de 15 s, 25 s, 30 s y 1 min por cada etapa: además de los tiempos de 30-45-15 s, 30 - 45 - 40 s, y 30 s-1 min- 30 s. De éstos, se eligieron los tres mejores tiempos (en tres etapas), seleccionando solo uno de ellos que se mantendrá constante durante todo el trabajo experimental. La mejor condición, tanto de humedad de masa como de tiempo de cocción, fue aquella que más se asemejó a las características tanto de maquinabilidad como de los parámetros de textura de masa y tortilla comercial (Tortillería).

5.3.4 PREPARACIÓN DE LA MASA

Se prosiguió de la siguiente forma: En las muestras de HMN masa, se determinó primeramente el contenido de humedad, almacenándolas a temperatura ambiente. Se calculó la cantidad de harina requerida según la cantidad de masa a obtener (500 g de harina aproximadamente), usando la fórmula 1.

-Se calculó la cantidad de agua requerida para producir la masa con la humedad deseada (58, 60 o 63%) utilizando la fórmula 2. En ambos el tamaño del lote de masa y nivel de humedad pueden ser modificados según el propósito específico. Las fórmulas 1 y 2 se obtienen por medio de un balance de materia. ⁽⁴⁷⁾

$$Wf = NCFw / (1 - M / 100) \text{-----} (1)$$

$$Vw = ((MASAm * Wf) - (Wf * M)) / (100 - MASAm) \text{-----} (2)$$

donde : Wf = peso de muestra de harina de maíz nixtamalizada, en g.

Vw = Volumen de agua a adicionar, ml.

M = contenido de humedad de la harina de maíz nixtamalizada, %

NCFw = Peso base seca de harina de maíz nixtamalizada, 500 g.

MASA m = Contenido de humedad final de la masa, en %.

En la obtención de la masa se procedió de la siguiente manera. Se mezcla la cantidad de agua (en el caso de utilización de goma, esta será dispersada siguiendo las condiciones ya establecidas en actividades previas), a 35 °C y la harina calculadas de acuerdo a la humedad deseada, a baja velocidad (velocidad 2) en la batidora por 5 minutos y un minuto manualmente e inmediatamente se coloca en las bolsas de polietileno por 15 minutos con el fin de terminar con la hidratación del almidón e iniciar la pruebas ya sea de textura, congelación de la masa o la preparación de las tortillas.

5.3.5 ELABORACIÓN DE LAS TORTILLAS:

Partiendo de la masa elaborada, se colocó en la tolva de la tortilladora una cantidad de masa entre medio a un kilogramo y se procedió a laminar la tortilla con un espesor de 2 mm (ajustando la separación de los rodillos de la máquina tortilladora) y de un diámetro de 15.8 cm (dimensión del moldeador incluido en la máquina). En el cocimiento de las tortillas se utilizó la estufa de mesa a su flama media de los dos quemadores. El comal se precalentó por 15

minutos. El tiempo de cocción a ocupar en esta etapa será el encontrado en actividades previas y que fue de tres tiempos de 45 segundos.

5.3.6 MAQUINABILIDAD EN MASA Y TORTILLA.

Se determinó subjetivamente al manipular la masa con las manos como en la máquina de tortillas, asignándole una calificación de 1 a 3. 1= masa no chiclosa y muy dura, 2= masa firme pero suave y menos chiclosa y 3 = masa muy chiclosa y muy suave. En la tortilla, el inflado y la formación de manchas oscuras, comparando ambos valores con el respectivo valor obtenido en la masa y tortilla comercial (Tortillería). En cuanto a la formación de ampolla (inflado) y producción de manchas oscuras se le asignará la misma calificación de 1 a 3: 1=ausencia de ampolla y no manchas oscuras, 2= poca ampolla y pocas manchas oscuras y 3= ampolla total (toda la superficie de la tortilla) y muchas manchas oscuras. ⁽¹¹⁾

Además, se corroboraron las condiciones obtenidas en la actividad anterior, por medio de las pruebas de textura. En la humedad de la masa, se hicieron comparaciones de los parámetros de textura de las diferentes humedades de masa (58, 60 y 63 %) y las tortillas elaboradas con éstas, con las que presentó una comercial (masa y tortilla). Dichos parámetros se obtuvieron de las pruebas de corte en rollo, TPA de tortillas, extensibilidad de tortilla y adhesividad de masa obteniéndose los parámetros de textura siguientes: fuerza de corte en rollo, fuerza máxima de extensión, distancia máxima de extensión, elasticidad de tortilla y adhesividad. Para la preparación de la masa se siguió el procedimiento descrito en el método de TPA de masa, y en la elaboración de tortillas el procedimiento descrito en las pruebas de textura de tortillas. Las pruebas a aplicar en las tortillas para determinar el mejor tiempo de cocción son extensibilidad y corte en rollo. Los parámetros obtenidos en masa y tortillas elaboradas con HMN maseca, se determinaron también a la masa y tortilla comercial, para efectos de comparación entre ambas (masas y tortillas).

5.3.7 CONGELACIÓN DE LA MASA Y LA TORTILLA.

Se utilizaron paquetes de 25 tortillas y de 1 kg de masa (calculado basándose en la cantidad de muestra requerida para la realización de las pruebas texturales), empacados en bolsas de polietileno de alta densidad con sello hermético (Ziploc)

El equipo y tipo de congelación empleado en esta experimentación fue el de una congelación lenta a través de un congelador semi-industrial tipo palettero. Cabe mencionar que este equipo fue el que se eligió especialmente por tres razones: a) este tipo de congelación es el que comúnmente se utiliza a nivel semi-industrial, b) Por la disposición del equipo en el laboratorio donde se llevó a cabo la investigación, y c) además de los efectos surgidos por este tipo de congelación, se minimizarán en cierto grado por la utilización del methocel, en especial en la tortilla, de ahí el objetivo de la investigación. Aclarando que hubiera sido más factible enfocar la investigación a una congelación rápida, ya que en teoría, los efectos en la estructura del producto son menos drásticos (formación de cristales más pequeños). En cuanto al tiempo de congelación, se fijó basándose en aquel tiempo en el cual aseguráramos que el alimento ha alcanzado la temperatura máxima de congelación obtenida por este equipo, haciendo pruebas en él con muestras tanto de masa como de tortillas, obteniéndose que en dos días (48 horas) fué suficiente tiempo para asegurar que el producto alcanzó -18°C (ya que solo se estudia el efecto de la congelación y no su tiempo de almacenamiento congelado).

La distribución de la masa y de las tortillas en el congelador para garantizar una congelación uniforme, fue como sigue: los paquetes se separaron entre ellos por todos sus lados y de las paredes del congelador una distancia de 3 - 5 cm. El empaque empleado fue bolsas de la marca "Ziploc" para congelación y para microondas de 27cm X 28 cm, con cierre hermético. En el caso de la masa, la muestra se extiende en todo el borde de la bolsa formando una placa circular de diámetro de 25.5 cm y un espesor de 1.5 cm. En tortillas será la forma de un cilindro de 5 cm de altura, y de diámetro de 15.8 cm no dejando en ambos casos aire dentro de la bolsa.

Para obtener la temperatura real de congelación de las muestras se procedió de la siguiente forma: en cada paquete tanto de masa como de tortillas, se colocó en el centro geométrico en ambos casos un termómetro con escala negativa amplia (de -100°C a 50°C), procurando sellar muy bien el lugar por donde se introdujo el termómetro. Se dejó dentro del congelador por 48 horas, y se tomó al cabo de este tiempo la temperatura alcanzada.

5.3.8 DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE CALENTAMIENTO Y DESCONGELACION DE LA MASA Y TORTILLA POR HORNO DE MICROONDAS.

Se empleó el horno de microondas. Debido a que las muestras van a estar congeladas (sólidas), y su descongelación directa en éste no será en ambos casos homogénea. por lo que la descongelación se hizo de la siguiente forma: en la masa se aplicaron periodos de tiempos iguales, utilizando la función "Time defrost" (descongelación por tiempo), procurando amasar la masa con las manos sin sacarla del empaque, esto con la finalidad de que el calor aplicado a la muestra sea lo más homogénea posible, hasta obtener la temperatura deseada. En el caso de las tortillas, se aplicaron también periodos de tiempos iguales con la misma función del horno de microondas, en este caso, además de voltear el paquete, al poder ya despegar las tortillas, éstas se voltearon en cuatro partes iguales. para que el calor sea lo mas homogéneo posible (descongelación a aproximadamente a 25° C). Para su calentamiento se utilizó otra función que es Temp. Cook & Hold (cocción por temperatura) en que se emplea un sensor de temperatura que viene incluido en el horno, este último se colocó en la mitad del paquete de tortillas y se calentó hasta la temperatura que deseamos obtener (60 °C). Se sacaron del empaque y se colocaron inmediatamente en tortilleros con una servilleta de tela, e inmediatamente se realizaron las pruebas de textura o de humedad.

5.4 METODOS

5.4.1 DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD:

El objetivo de esta determinación fue el de tener un control más preciso de la humedad de nuestro lote de harina, de la masa y tortillas elaboradas con ésta en las diferentes condiciones usadas y confirmando así, que esta variable no influye en los valores de los parámetros de textura obtenidos.⁽⁴⁶⁾

En el caso de la HMN maseca su determinación se realizó durante el desarrollo de las actividades previas, ya que éste es un parámetro importante y necesario para la preparación de masa a las diferentes humedades.

Procedimiento. Se determinó colocando los 10 gramos de muestra en la balanza de humedad y posteriormente se fijó un tiempo determinado, así como la potencia de la fuente luminosa en Watts dependiendo de la muestra y contenido de humedad aproximada reportada en la literatura. Al final de este tiempo y cuando ya no hay cambio en la escala se toma el % de

humedad, y que es reportado directamente en la balanza, teniendo cuidado en no sobrecalentar la muestra.

5.4.2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO:

El objetivo de ésta determinación fue conocer el perfil granulométrico de la harina (maseca) para verificar que el producto cumpla con las especificaciones adecuadas.

El procedimiento es el siguiente: se pesaron 100 gramos de harina, se colocaron las mallas en el siguiente orden: fondo (charola), mallas 100, 80, 60, 40 y 20. Se colocaron los 100g de muestra en la malla 20, se tapó y se colocó en el vibrador (Ro-Tap). Se encendió y se dejó funcionar durante 20 minutos. Se tomó cada tamiz y se pesó la cantidad retenida (inclusive el fondo), sacudiendo con la brocha a fin de recuperar toda la porción de muestra que queda en la malla. El peso representa el % de retención, reportado referido al No. de malla. ⁽⁴⁷⁾

5.4.2.1 DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTICULA POR TAMIZADO ⁽²⁶⁾

Fundamento: Al hacer pasar una cantidad de una muestra (polvo) a través de una serie de tamices cuya apertura disminuye gradualmente, la muestra se distribuye en éstos, reteniéndose en cada uno de ellos aquellas partículas de diámetro mayor que la apertura del tamiz, pero menor que la apertura del anterior.

Procedimiento:

Conociendo la cantidad de muestra retenida en cada tamiz (actividad anterior), se prosigue a calcular el diámetro promedio de apertura entre cada uno de los tamices empleados, que representará el diámetro promedio de las partículas retenidas en cada tamiz:

$$D_p = \frac{D_1 + D_2}{2}$$

D_p = diámetro promedio
 D_1 = diámetro de apertura del tamiz a través del cual pasó la muestra.
 D_2 = diámetro de apertura del tamiz que retuvo la muestra.

Enseguida, se calcula la fracción peso retenida para cada D_p :

$$X = \frac{\text{Peso retenido}}{\text{Peso total de muestra}}$$

X = fracción peso

Construir una grafica de: log X Vs. Log Dp.

Si al menor Dp empleado pasa más del 5% de muestra al fondo, y los puntos experimentales correspondientes a los Dp más pequeños dan una recta, ésta se prolonga hacia abajo. Sobre tal prolongación, se localizan sucesivamente hacia abajo, Dp más pequeños que el último experimental y se extrapola para encontrar su correspondiente X.

Este procedimiento se continuó hasta que la suma de las X extrapoladas sea igual a la X retenida en el fondo.

Con todos los datos anteriores, se obtuvo el diámetro Sauter medio (Ds):

Diámetro Sauter medio es el diámetro de la partícula con la misma superficie específica media que el polvo, y es una de las diferentes formas de expresar el diámetro de un polvo.

$$D_s = \frac{1}{\sum (X_i / D_{p_i})} \quad D_s = \text{Diámetro Sauter medio}$$

Si al graficar los últimos puntos no dan una línea recta, se necesitará continuar el análisis con mallas de apertura muy pequeña, sobretodo si la fracción peso que pasó la malla menor es considerable (dicha determinación se muestra en el anexo 2) ²⁶.

5.4.3 EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE TEXTURA EN MASA

5.4.3.1 TPA DE MASA:

Material: - Bolsas de polietileno Ziploc para almacenar la muestra

-Capa de polietileno (para poner debajo del molde de acrílico durante la preparación de la muestra antes de su prueba).

-Molde de Acrílico, 2.54 cm de diámetro, 2.54 cm de espesor, para moldear la masa y obtener un cilindro de 2.54 cm de diámetro y 2.54 cm de altura.

-Espátula grande (para retirar exceso de masa)

- Peso de 1.81 Kg.

-Aceite para engrasar el molde.

-Dispositivo empleado: Placa de compresión de aluminio de 2 in, área superficial 2,026.8 mm².

-Instrumentos: Analizador de textura TA XT2.

-Condiciones de prueba:

-Modo: Medición fuerza en compresión.

-Opción: TPA

-Fuerza para detectar contacto con la muestra 0.048 N (5 gramos)

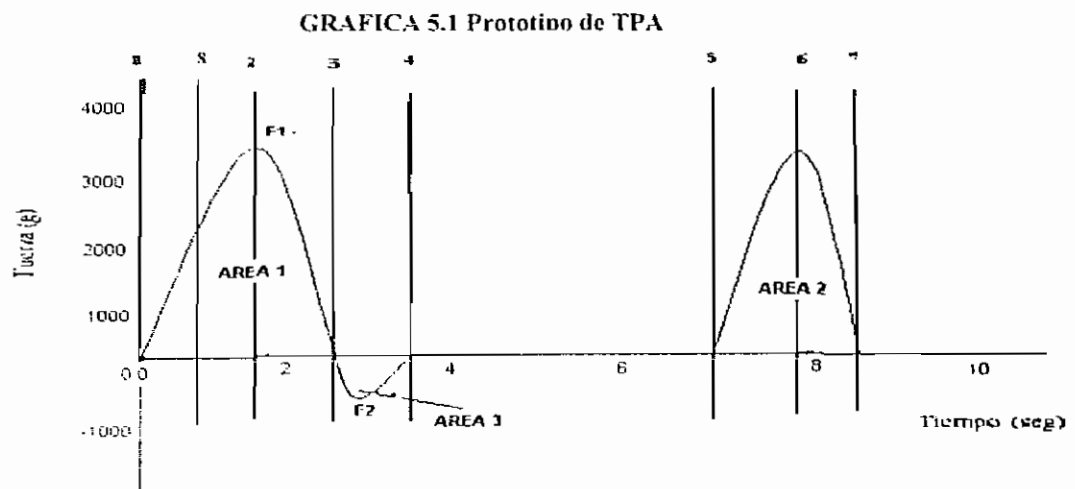
-Velocidad pre prueba, de prueba y post- prueba es de 5.0 mm/ s.

-Distancia: 10.5 mm

-Tipo de gráfica Fuerza Vs. Tiempo.

-Procedimiento de la prueba y parámetros obtenidos en ésta: Se engrasa ligeramente el interior del molde con el aceite, se toman 80 g de muestra de masa y manualmente se hace rollo y se introduce en el molde, se aplicó la suficiente presión con el dedo pulgar para rellenar los huecos de aire. Se coloca la capa de polietileno debajo del molde de acrílico para evitar la adhesión de la superficie de la base en el cual es formado el cilindro de masa.

-Se colocan las 4 libras de peso en la parte superior del molde y la masa por 1 minuto a fin de compactar el paquete de masa. Por medio de la espátula o hilo de metal delgado se raspa el exceso de masa, y se saca el cilindro procurando no deformarlo, e inmediatamente se realizó la prueba de textura. Colocando este cilindro en la base del texturometro TA XT2 y se corre la prueba. Limpiando el dispositivo en cada repetición. Por medio de la gráfica 5.1 se obtendrán los parámetros de textura que a continuación se indican.



PARAMETROS QUE SE OBTIENEN A PARTIR DE LA GRÁFICA:

Modulo 1 (firmeza) g/ mm: Pendiente entre los límites 1-8 y se divide entre la velocidad de prueba (5 mm/s)

Modulo 2 (g/ mm): Pendiente entre los límites 8-2 y se divide entre la velocidad de prueba (5 mm/ s)

Dureza (g): Pico máximo del primer ciclo de compresión F1

Fuerza Adhesiva (g): Pico máximo de la curva negativa después del primer ciclo de compresión F2

Adhesividad (g. s): Área bajo la curva negativa. área de 3 a 4 (ÁREA 3)

Índice de Elasticidad: Relación de distancias; distancia 5- 6/ distancia 1-2

Cohesividad: Relación de áreas positivas entre el segundo ciclo de compresión entre el primer ciclo: Área 2/ Área 1.

Gomosidad (g): Es el producto de Dureza (F1) X Cohesividad.

Masticosidad (g): Es el producto de: Gomosidad X Índice de elasticidad.

- 5.4.3.2 ADHESIVIDAD DE MASA:

Material:

-Un molde de Acrílico de 130 mm de ancho y 130 mm de espesor y 10 mm de altura, con hueco de diámetro de 76.2 mm del centro del molde. Una base o plato de aluminio, espaciadores con 5 mm de altura en cada esquina del molde para mantener constante la separación de la base con el molde de acrílico.

-Espátula o alambre de metal fino.

-Dispositivo empleado: Placa de compresión de 50.8 mm de diámetro, área superficial 2,026.8 mm².

-Instrumentos: -Analizador de textura TA XT2.

-Condiciones de prueba

-Modo: Medición fuerza en compresión.

-Opción: Prueba de Adhesividad

-Fuerza para detectar contacto con la muestra 0.048 N (5 gramos)

-Velocidad pre prueba, prueba y post- prueba es de 5.0 mm/ seg.

-Distancia a la que se separa el dispositivo después de la compresión es de 5 mm

-Fuerza aplicada: 700 g.

-Tiempo de aplicación de la fuerza: 5 s.

-Tipo de gráfica: Fuerza Vs. Tiempo.

-Procedimiento de prueba y parámetros obtenidos: Se pesan de 150 g de masa en una lámina de aluminio. se coloca la muestra en la base de acrílico y se moldea haciendo presión en el

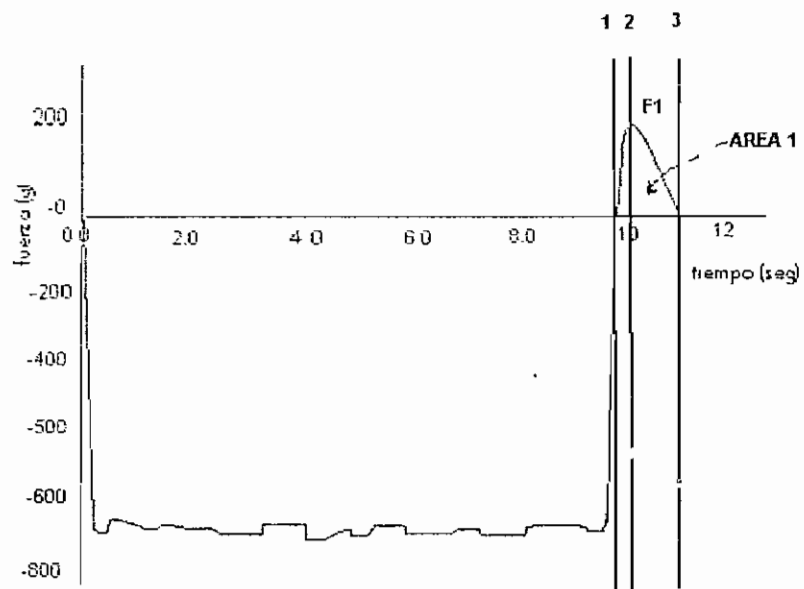
centro y en la parte superior de la masa hasta que el exceso de ésta fluya completamente en la parte hueca.

-El exceso de masa en la superficie del molde es removida por medio de la espátula o por el alambre fino de metal.

-El molde con la muestra, son colocados en la base del texturometro para así iniciar con la prueba. El dispositivo empleado fue la placa de compresión de aluminio de 50.8 mm.

-De la grafica 5.2 en esta prueba se obtendrán los parámetros de textura que a continuación se indican.

GRAFICA 5.2 Prototipo de Prueba de Adhesividad de masa



PARAMETROS QUE SE OBTIENEN A PARTIR DE LA GRÁFICA:

Fuerza adhesiva (g) Pico máximo (fuerza) de la curva positiva F1

Adhesividad (g/s) Área bajo la curva positiva Área de los límites 1-3

Estiramiento (mm) distancia entre los límites 1-3

Pegajosidad (g/mm) Pendiente entre los límites 1-2 y se divide entre la velocidad de la prueba ($\frac{g}{mm \cdot s}$)

Área adhesiva (g/s) Área bajo la curva positiva antes del pico máximo límites 1-2

Área cohesiva (g/s) Área bajo la curva positiva después del pico máximo límites 2-3.

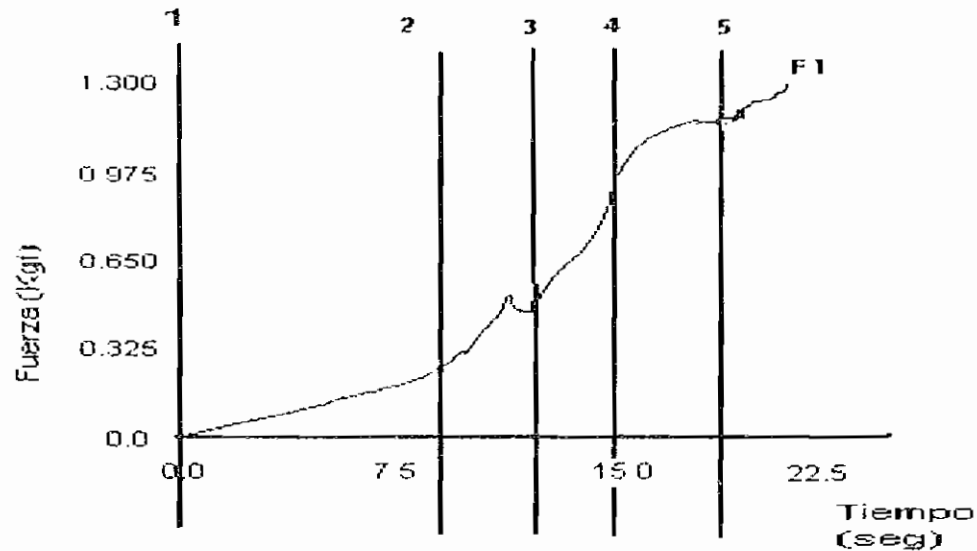
Relación de áreas Área adhesiva / área cohesiva

5.4.3 3 EXTRUSIÓN POSITIVA EN MASA

Material

- Molde utilizado en TPA de masa para la obtención del cilindro de la masa.
 - Espátula o alambre fino de metal.
 - Dispositivo de extrusión positiva: consta de:
 - Un vaso de acrílico de 10 cm de altura y 5 cm de diámetro interno.
 - Placa de extrusión con orificio de 10 mm.
 - Placa de compresión de aluminio de 2 pulgadas de diámetro (50.8 mm)
 - Instrumentos: Texturometro Lloyd TA 500.
 - Condiciones de la prueba:
 - Tipo de prueba: medición fuerza en compresión.
 - Etapa 1: Velocidad pre prueba 2mm/ s
 - Etapa 2: Velocidad prueba 2 mm/ s.
 - Distancia de extrusión de la muestra 17 mm, tiempo de espera de 5 s.
 - Etapa 3: Velocidad post- prueba 10 mm/ s.
 - Tipo de gráfica: fuerza Vs. Distancia.
 - Procedimiento de prueba y parámetros obtenidos: Se coloca el cilindro de masa en el vaso de acrílico y se pone en la base del texturometro, se ajusta de manera que la placa de aluminio corra libremente sin rozamientos en el vaso. Antes del inicio de la corrida de la prueba, el dispositivo debe estar lo más pegado a la muestra y ahí marcar la distancia cero.
 - Iniciar la prueba.
 - Limpiar el dispositivo en cada repetición.
- De la gráfica obtenida (gráfica 5.3) en esta prueba se obtendrán los parámetros de textura que a continuación se indican.

GRAFICA 5.3 Prototipo de la prueba de extrusión positiva



PARAMETROS QUE SE OBTIENEN A PARTIR DE LA GRAFICA

Fuerza de extrusión (kgf) Es el pico máximo alcanzado en la curva F1 (fuerza necesaria para extruir la masa hasta la distancia indicada (17 mm))

Trabajo de compresión (kgf. Mm) Es el área bajo la curva entre los límites 1-2 (trabajo necesario para comprimir el cilindro de masa hasta su expansión en todo el espacio vacío entre la placa y las paredes laterales del vaso de acrílico)

Resistencia a la compresión (kgf/ mm) Pendiente entre los límites 1-2

Trabajo de extrusión (kgf. Mm) es el área bajo la curva entre los límites 3-5

Resistencia a la extrusión (kgf/ mm) Pendiente de la curva línea entre los límites 3-4

5.4.4 EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE TEXTURA EN TORTILLAS

5.4.4.1 TPA DE TORTILLAS:

Material:

- Tortilleros de unícel (capacidad de 1 kg de tortillas).
- Servilletas de tela.
- Termómetro de -10° a 100° C.
- Dispositivo empleado: Cilindro de acrílico de 2.54 cm de diámetro.

-Instrumentos: Texturometro TA XT2

-Condiciones de prueba

- Modo: Medición fuerza en compresión.
- Fuerza para detectar contacto con la muestra 0.048 N (5 gramos)
- Velocidad pre prueba: 2.0 mm /s
- Velocidad de prueba: 1.7 mm /s
- Velocidad post- prueba: 5.0 mm/ s
- Distancia: 10 mm
- Tiempo de espera entre ciclos de 5 s
- Tipo de gráfica Fuerza Vs. Tiempo.

-Procedimiento de la prueba: Las tortillas a 60° C (ya sea recién elaboradas o descongeladas y calentadas en el horno de microondas), son colocadas en servilletas y en los tortilleros e inmediatamente se procede a realizar la prueba. Se toman 13 tortillas completas, se colocan en la base de aluminio del texturometro, por medio del cilindro de acrílico, se procede a comprimir el paquete a una distancia de 10 mm, por cada pila de tortillas se realizaran dos repeticiones en diferentes zonas. Los parámetros obtenidos son los mismos obtenidos en el TPA de masa (gráfica 5.1)

5.4.4.2 PRUEBA DE CORTE EN TORTILLA ENROLLADA

-Material:

- Tortilleros de unicel (capacidad de 1 kg de tortillas).
- Servilletas de tela.
- Termómetro de -10° a 100° C.

-Dispositivo a emplear: Cuchilla plana de un filo de 3 mm de espesor, 6.93 cm de ancho y 9.5 cm de largo y base para cuchilla con una ranura a través de la cual pasa la cuchilla después de efectuar el corte.

-Instrumentos: Texturometro TAXT2.

-Condiciones de prueba

- Modo: Medición fuerza en compresión.
- Fuerza para detectar la muestra 5 g
- Velocidad pre prueba: 3.0 mm /s

- Velocidad de prueba: 2.0 mm /s
- Velocidad post- prueba: 10.0 mm / s
- Distancia: 17 mm
- Tipo de gráfica Fuerza Vs. Tiempo.

-Procedimiento de la prueba: Las tortillas a 60° C (ya sea recién elaborada o descongelada y calentada en el microondas), son colocadas en servilletas y en los tortilleros e inmediatamente se procede a la realización de la prueba. Se enrolla con las manos en forma de taco procurando no dejar vacío en el centro de la misma, se coloca la mitad del taco en la mitad de la ranura de la placa de aluminio y perpendicular a la misma. El corte se efectúa por medio de la cuchilla plana de un filo que al desplazarse hacia abajo pasa a través de la tortilla y la ranura ocasionando que el material expuesto se corte. Los parámetros de textura obtenidos son los indicados en la gráfica 5.4

5.4.4.3 EXTENSIBILIDAD DE TORTILLAS.

-Material:

- Tortilleros de unicel (capacidad de 1 kg de tortillas).
- Servilletas de tela
- Termómetro de -10° a 100° C.
- Aparato para Extensibilidad que consta de una placa plana de aluminio de 1 cm de espesor en la cual tiene un hueco en el centro de diámetro de 83 mm que es montada en otra placa con orificio en el centro de 6 cm de diámetro. Ambas cuentan con tornillos en las cuatro esquinas para apretar la tortilla.

-Dispositivo empleado: Cilindro de acrílico de 2.54 cm de diámetro.

-Instrumentos: Texturometro TA XT2

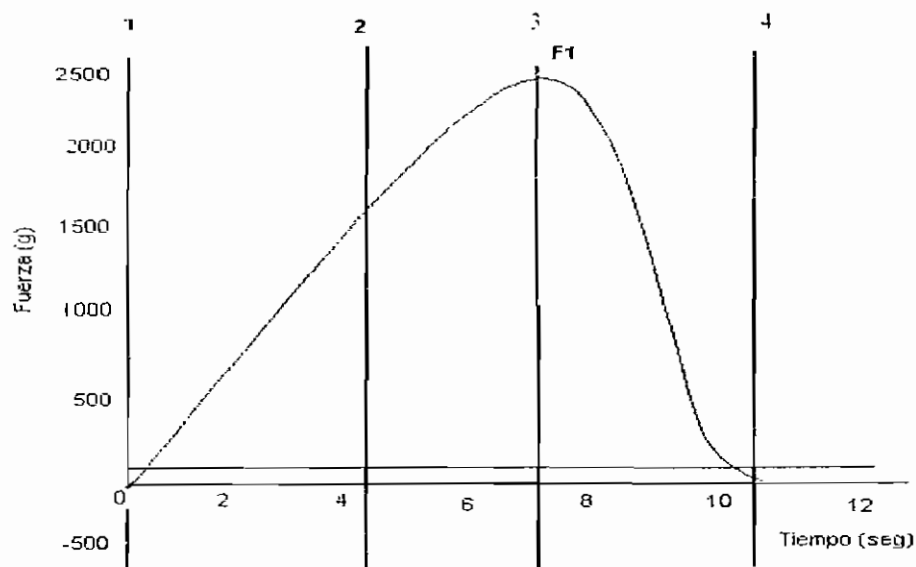
-Condiciones de prueba

- Modo: Medición fuerza en compresión.
- Fuerza para detectar la muestra es de 5 g
- Velocidad pre prueba: 6.0 mm /s
- Velocidad de prueba: 2.0 mm /s

- Velocidad post- prueba: 10.0 mm/ s
- Distancia: 16 mm
- Tipo de gráfica Fuerza Vs. Tiempo.

-Procedimiento de la prueba: -Se toma una tortilla completa a 60 °C, se aprieta entre ambas placas por medio de los tornillos del aparato de extensibilidad. Se hace que se estire levemente y por medio del cilindro de acrílico conectado al sensor del texturometro se somete a una fuerza de tensión en la que estirara la tortilla colocada en el aparato hasta su ruptura total a las velocidades y distancia arriba mencionadas. Los parámetros obtenidos son los indicados en la gráfica 5.4 para esta prueba.

GRAFICA 5.4 Prototipo de las pruebas de corte de tortilla enrollada y extensibilidad de tortillas



PARAMETROS QUE SE OBTIENEN A PARTIR DE LA GRAFICA

Corte de tortilla enrollada:

Módulo 1 (g/ mm) Es la pendiente entre los límites 1-2 y se divide entre la velocidad de prueba 2 mm/ s.

Módulo 2 (g/ mm) Es la pendiente entre los límites 2-3 y se divide entre la velocidad de prueba 2 mm/ s.

Fuerza máxima de corte (g): Es el pico máximo de la curva (fuerza) y nos indica la fuerza necesaria para cortar el rollo de tortilla F1.

Trabajo de corte total (g.s) Es el área bajo la curva entre los límites 1-4 y es el trabajo que se aplica para cortar completamente el rollo de tortilla.

Extensibilidad de tortilla

Módulo 1 (g/ mm) Es la pendiente entre los límites 1-2 y se divide entre la velocidad de prueba 2 mm/ s.

Módulo 2 (g/ mm) Es la pendiente entre los límites 2-3 y se divide entre la velocidad de prueba 2 mm/ s.

Fuerza de extensión total (g) Es el pico máximo de la curva (fuerza) y nos indica la fuerza necesaria para extender a su máxima distancia la tortilla F1

Trabajo de extensión total (g.s) Es el área bajo la curva, límites 1-4 y es el trabajo que se aplica para extender a su máxima distancia la tortilla hasta la ruptura de la misma.

Distancia de extensión máxima (mm) Nos indica la distancia en que la tortilla alcanza antes de romperse. Es la distancia entre los límites 1-3

Extensibilidad de tortilla(mm/g) Es la relación obtenida de distancia entre fuerza de extensión máxima.

5.4.4.4 ROLLABILIDAD SUBJETIVA:

En el método de rollabilidad subjetiva, la tortilla a 25° C se sujetó en un extremo a una varilla de vidrio de 1 cm de diámetro, por medio de un hilo flexible sujetado en ambos extremos de la varilla. En la evaluación se observaron las fracturas ocasionadas al enrollar la tortilla en la varilla, dándole valores a estas observaciones de 1 al 5 (5= inrollable (peor), 1 = no quebrado (mejor)).

5.4.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico utilizado fue el análisis de varianza, ya que este método nos indica si existen diferencias significativas en las medias de cada una de nuestras etapas (tratamientos) en las que nos interese saber si hay o no diferencia. En todas las etapas se propone emplear tres repeticiones (número mínimo de datos para aplicar cualquier método estadístico), en que se procuró obtener en primera instancia un coeficiente de variación menor a 10 %, para que nuestros valores obtenidos sean confiables.

El método de análisis de varianza se aplicó a los datos de humedad de masa y tortilla, rollabilidad subjetiva, y todos los parámetros de textura obtenidos en cada prueba para cada condición de la misma. Este tipo de análisis se basa en la formulación de hipótesis (nula y alternativa).

Ho.= hipótesis nula y significa que todas las medias de cada condición de trabajo son iguales, es decir, $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \dots$

Ha= Hipótesis alterna y significa que todas las medias de cada condición de trabajo son diferentes. En los casos donde existan diferencias significativas, se propone la prueba de Tukey para conocer la magnitud de dicha diferencia.

6.1 HUMEDAD Y TAMAÑO DE PARTICULA DE LA HMN

Para el tamaño de partícula se procedió a determinar la granulometría de la Harina de Maíz Nixtamalizado Maseca para lo cual se formaron lotes de 6 kilos tomando la presentación de 1 kg. En la tabla 6.1(a) se muestran los resultados obtenidos donde se puede apreciar que se obtiene una mayor retención en la malla #65 y que por lo menos el 75 % de la harina pasa una abertura de 0.250 mm (malla #60), lo cual coincide con lo especificado en la norma de calidad para este producto²⁰, y correspondiente a un Sauter medio de 0.0096 in (tabla 6.1 b: y anexo 2).

La humedad de la HMN maseca se obtuvo de un promedio de 18 repeticiones, tomando tres réplicas de 5 lotes de 1 kg. encontrándose una humedad promedio de 9.2 % con una desviación estándar de 0.8875 y C. V. de 0.8875 %. lo cual coincide con lo especificado en la norma de calidad para este producto.²⁰

6.2 ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE TORTILLAS.

La temperatura de la masa se manejó en estas actividades previas a 28° C. Se observó que la masa de 58% de humedad, es mas dura (maquinabilidad 1) al compararla con una masa de una tortilladora comercial (con maquinabilidad 2), al moldearla con las manos e inclusive en la maquina, se observa una ruptura en los bordes de la misma, lo contrario sucede con la de 63 % de humedad que al tratar de moldearla para hacer la tortilla, se percibió que era muy pegajosa, es decir, se pega en las manos y en la maquina tortilladora (con maquinabilidad 3). La de 60% de humedad presenta las mejores características, es menos pegajosa pero es una masa firme que si se puede manipular tanto en la maquina tortilladora como con las manos al tratar de formar una tortilla (maquinabilidad 2).

Para encontrar el tiempo de cocción adecuado para la elaboración de las tortillas, se empleó la humedad de masa de 60% (teórica). Para lo cual se realizaron pruebas variando los tiempos de cocción en tres etapas; tomando en cuenta tanto la formación de ampolla y producción de manchas oscuras, se obtendrá el mejor tiempo de cocción a emplear. Tres etapas de 45 s (tiempo total 135s), 30- 45- 40 s. (Tiempo total 115 s.) y 30 s -1 min.-30 s

TABLA 6.1 (a): ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA HMN MASECA (% de muestra que pasa a través del tamiz)

TAMIZ	ABERTURA	MUESTRA 1a			MUESTRA 2a			MUESTRA 3a			MUESTRA 4a			MUESTRA 5a			MUESTRA 6a			Promedio (g)	desv. est. (g)	C V (%)
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
malla #	mm	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
10	1.651	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0
20	0.838	99	99	98.8	99.599	99.6	99.4	99.598	99.598	99.8	99.599	99.799	99.7	99.199	99.599	99.599	99.599	99.599	99.599	99.05	0.07	0.071
30	0.5	97	98	97.3	97.696	98.4	98.1	97.297	97.397	97.798	97.397	97.798	97.798	97.798	97.798	97.897	97.897	97.897	97.897	97.6	0.42	0.43
40	0.416	95	194	94.5	94.190	94.8	95.3	93.692	92.394	93.294	93.294	93.294	93.294	93.294	94.9	94.9	94.9	94.9	94.9	94.1	0.01	0.01
60	0.2514	75	76	77.3	76.676	77.8	78.5	75.376	76	79.676	75.376	75.675	75.277	75.675	75.675	75.578	75.675	75.675	75.578	75.6	0.28	0.37
65	0.208	1.1	5.4	4.4	4.4	2.5	6.9	3.3	7.8	7.4	4.2	7.3	5.3	4.8	3.2	5.3	4.8	3.8	4.5	3.25	3.04	93.54
100	0.147	0.4	0.9	1.2	1.5	0.4	1.8	0.6	2	1.9	0.3	0.8	1.1	0.6	0.3	1.2	1.3	0.9	1.4	0.65	0.35	53.84
Char.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

De acuerdo a la tabla anterior se puede observar que nuestros lotes de harina de maiz nixtamalizado (HMN) Maseca cumple con la norma de calidad. NOM-F-46-S-1980 ref.20, ya que por lo menos el 75 % de la muestra debe pasar a través de una malla de abertura 0.250 mm (tamiz malla 60). Correspondiente a un sauter medio de 0.0096 in (0.244 mm; Anexo 2)

TABLA 6.1 (b): ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA HMN MASECA (gramos de muestra retenidos)

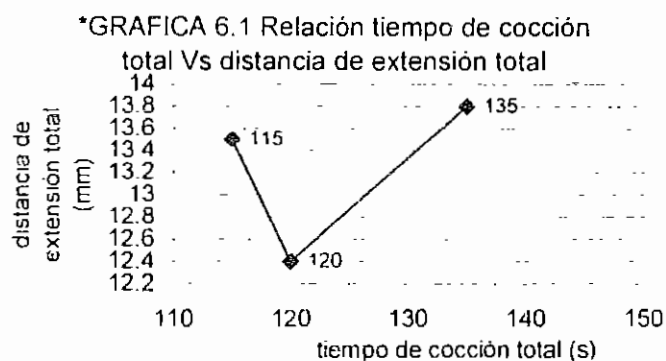
TAMIZ	ABERTURA	MUESTRA 1a			MUESTRA 2a			MUESTRA 3a			MUESTRA 4a			MUESTRA 5a			MUESTRA 6a			Promedio (g)	desv. est. (g)	C V (%)
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
malla #	mm	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
10	1.651	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	46.37
20	0.838	0.9	1	1.2	0.5	0.7	0.4	0.6	0.4	1.1	0.2	0.5	0.3	0.3	0.9	0.5	0.7	0.5	1	0.65	0.5	2892
30	0.5	1.8	1.1	1.5	1.9	3.1	1.2	1.3	2.4	1.9	2.5	1.7	2	1.6	1.4	1.4	1.3	1.7	1.8	1.756	0.93	25.37
40	0.416	2.2	3.8	2.8	3.5	5.8	3.6	2.8	3.6	4.2	5	2.9	4.5	3.5	4.5	4.1	3.1	3.8	2.3	3.67	1.37	7.89
60	0.2514	20	18	17	18	14	17	17	18	17	16	15	17	19	18	19	17	19	17	17.36	1.94	2.7
65	0.208	74	70	73	72	74	71	75	68	69	72	72	71	71	72	70	73	72	74	71.77	1.41	37.45
100	0.147	0.7	4.5	3.2	2.9	2.1	5.1	2.7	5.8	5.5	3.9	6.5	4.2	4.2	2.9	4.1	3.5	2.9	3.1	3.77	0.54	53
Char.	0	0.4	0.9	1.2	1.5	0.4	1.8	0.6	2	1.9	0.3	0.8	1.1	0.6	0.3	1.2	1.3	0.9	1.4	1.03		

Nota : las muestras 1,2,3 y 4 son lotes en los cuales se ocuparon para la elaboración de la masa para sus diferentes condiciones y fines (masa con y sin congelar; con y sin goma; y masa congelada con y sin goma.) y las muestras 5 y 6 para la elaboración de tortillas (con y sin congelar; y con y sin goma).

(tiempo total 120 s.). Los cuales obtuvieron una calificación de 2 (en cuanto a producción de ampolla y manchas), que es la misma obtenida en las tortillas comerciales (tortillería).

Para determinar el mejor modo de cocción, a las tortillas obtenidas con los tiempos antes mencionados, se les evaluó: fuerza de corte, distancia de extensión máxima y trabajo de extensión máxima de la tortilla, los cuales se obtuvieron al realizar las pruebas de textura de corte en rollo y extensibilidad a 60°C.

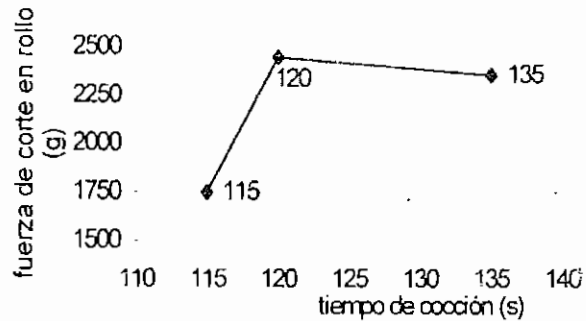
Los resultados de estos parámetros se representan en las tres graficas siguientes. En la gráfica (6.1) se observa que en los tiempos de cocción total de 115 y 135 s. son en los que se obtienen una mayor extensión de la tortilla y esto es deseable ya que nos proporcionara una mayor flexibilidad de la misma, y, por consiguiente, una mejor resistencia a la manipulación a que es expuesta.



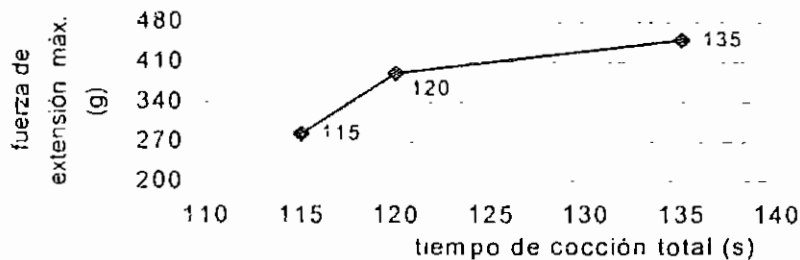
*Promedio de tres repeticiones para cada tiempo de cocción.

En cuanto a la fuerza de corte, y fuerza de máxima de extensión, éstas aumentan al incrementarse el tiempo de cocción total (gráficas 6.2 y 6.3), es decir, que en los tiempos totales de 135 y 120 s se tiene una estructura mucho más rígida, por lo que se necesita una mayor fuerza para cortar dicha tortilla, aunque en el tiempo de cocción total de 135 s. se presenta una mayor flexibilidad en la tortilla, y por consiguiente al extenderse más (distancia de extensión total), necesitará aplicarse mayor fuerza de extensión (gráfica 6.3).

*GRAFICA 6.2 Relación tiempo de cocción total Vs fuerza de corte de tortilla en rollo



*GRAFICA 6.3 Relación tiempo de cocción total Vs fuerza de extensión total en tortilla (g)

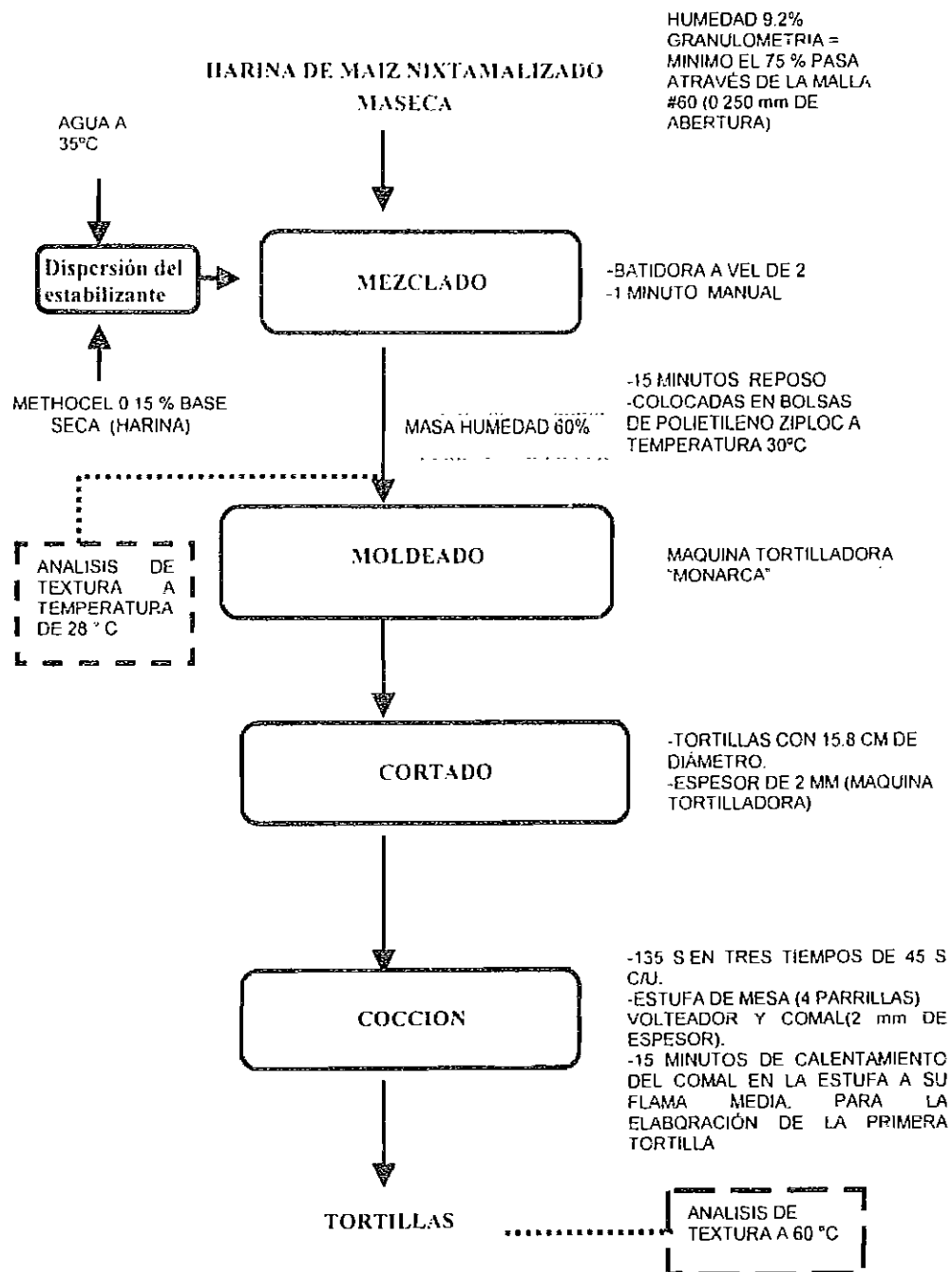


* Nota: los resultados representados en las gráficas 6.2 y 6.3 son el promedio de tres replicas.

Se observa que el tiempo de cocción total 120 s (30 s-1 min y 30 s) y el tiempo de cocción total de 135 s (45 s cada lado) son los tiempos que más características semejantes tiene en cuanto a fuerza de extensión y corte. El factor que tiene mayor influencia en el tiempo de cocción es la modificación de la temperatura central, llegando entonces a establecer que en función de la distancia de extensión (parámetro de mayor importancia), se puede trabajar a 115 ó 135 s; y que además de tomar el criterio de que el tiempo de cocción es aplicado en tiempos iguales, que es lo más comúnmente utilizado en cualquier maquina tortilladora y en especial la "Celorio" se determinó la utilización de este tiempo de cocción para el desarrollo del trabajo experimental.

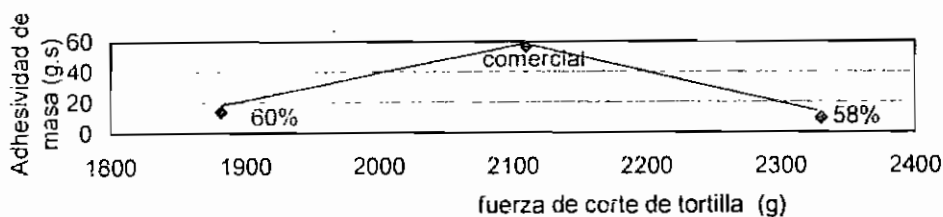
Ya con el tiempo de cocción establecido, se elaboraron tortillas y se les evaluó algunas propiedades texturales. mismas que se relacionaron con propiedades texturales de la masa con la finalidad de corroborar que la humedad de masa adecuada es de 60%, tomando como referencia la masa comercial. En el diagrama 6.1 se presenta el proceso de elaboración de tortillas con las condiciones establecidas.

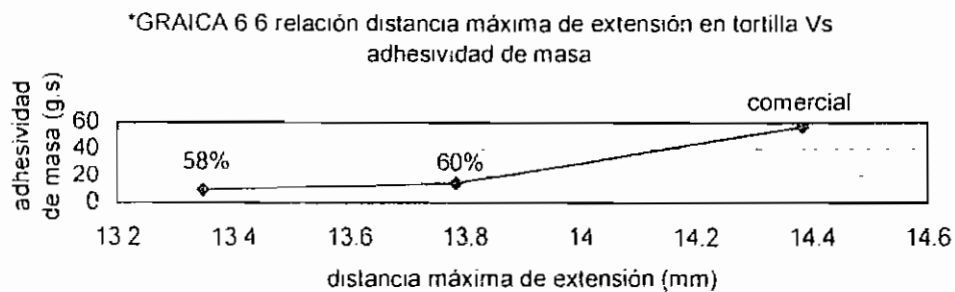
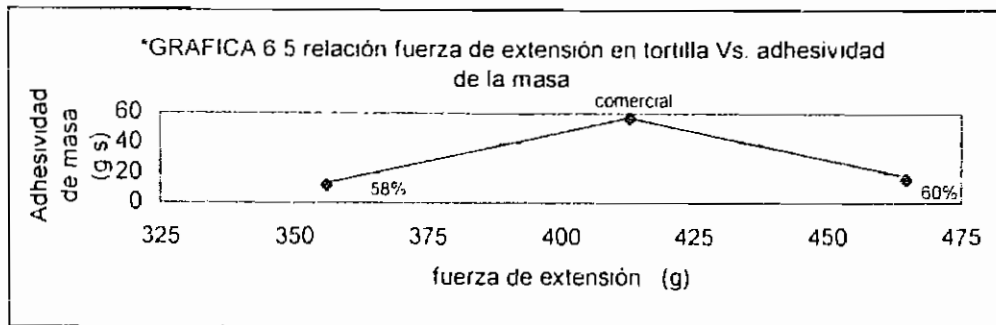
DIAGRAMA 6.1: ELABORACIÓN DE TORTILLAS DE HMN MASECA (EXPERIMENTAL)



En las gráficas 6.4, 6.5 y 6.6 se presentan relaciones de adhesividad de masa con 58 y 60 % de humedad así como masa comercial (en cuanto a la humedad de 63 % se descartó, ya que es muy difícil de manipularla con las manos y en la maquina tortilladora, como se ratificó en actividades previas), con distancia de extensión máxima, fuerza de corte y fuerza de extensión de tortilla. Al comparar la humedad de 60 % con respecto a las demás, se observó una gran variación de la adhesividad de la masa comercial con respecto a las humedades utilizadas. Esto puede deberse en gran medida a que la masa comercial se utiliza una molienda en húmedo (partículas de maíz mucho más gruesa), que le proporciona una mejor capacidad de absorción de agua al nixtamal. En el caso especial de la masa como de la tortilla comercial se observó que en su elaboración se emplea una mezcla de harina de maíz nixtamalizada con masa de nixtamal; y si a esto le sumamos la adición extra de agua por tanteo por el tortillero (e inclusive por el molinero que no lleva un control muy preciso de la humedad durante la nixtamalización), se obtiene las características muy extremas en los parámetros de textura como se puede apreciar en cualquiera de las tres gráficas siguientes. Cabe aclarar que a la masa como a la tortilla comercial no se le determinó humedad debido a que su valor no iba a ser muy preciso, y que para fines de comparación solo se utilizaron los valores tanto de textura como de maquinabilidad obtenidos en éstas (en la cual presenten una regularidad constante en un valor determinado, en cada uno, masa o tortilla, manteniendo constantes todas las condiciones relacionadas en la obtención de la textura en ambos: cantidad, espesor de la tortilla y masa, temperatura, dispositivo, etc); ya que lo único que nos interesa es tener un parámetro de comparación con valores coherentes de textura.

*GRAFICA 6.4 Relación fuerza de corte de tortilla Vs adhesividad de la masa



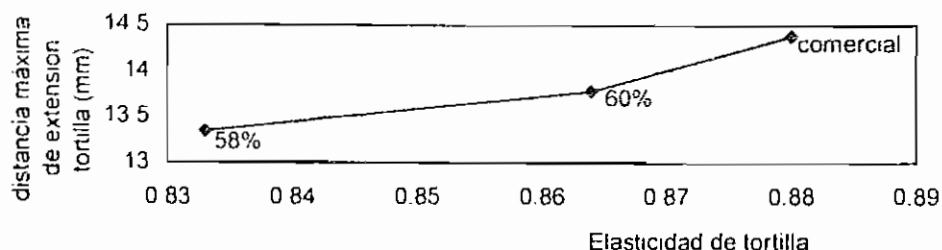


* Nota. los resultados representados en las gráficas 6 4, 6.5 y 6 6 son el promedio de tres replicas

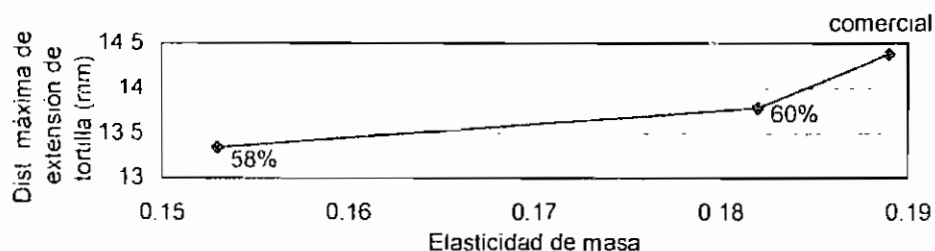
Se observa que se obtiene una tortilla mas dura al corte (en 58%) al disminuir la humedad de la masa, ya que se necesitará aplicar una mayor fuerza para cortar una tortilla enrollada con las manos (gráfica 6.4). Se observa que al aumentar la humedad de la masa, aumenta la distancia en la tortilla (gráfica 6.6) antes de romperse y aumentan, por consiguiente, su fuerza de extensión, es decir, que en la masa de 58% por tener una estructura más firme que la masa de 60% tenderá a romperse muy rápido, con una menor fuerza (gráfica 6.5) y esto se nota en una menor distancia de extensión máxima (gráfica 6.6). La tortilla comercial se cuenta con la mayor distancia máxima de extensión debido principalmente a una mayor interacción agua-almidón (mayor hidratación del grano de maíz), y al tipo de molienda que sufre (húmeda) y tamaño de partícula muy grande, dándole esta característica especial de textura (más elástica)

Al relacionar la elasticidad tanto de masa como de tortilla con la distancia máxima de extensión de la tortilla se observa en ambos casos, que al aumentar la humedad de la masa, la elasticidad aumenta, al igual que la distancia que la tortilla puede extenderse antes de romperse, y que la tortilla con 60% de humedad es mas parecida a la comercial que la de 58% (gráficas 6.7 y 6.8)

*GRAFICA 6.7 relación elasticidad de tortilla Vs distancia máxima de extensión Tortilla



*GRAFICA 6.8 relación elasticidad de masa Vs distancia máxima de extensión Tortilla



* Nota. los resultados representados en las gráficas 6.7 y 6.8 son el promedio de tres replicas

Por todo lo anterior se selecciona una humedad constante de 60 % en la masa para evaluar las otras variables. Se obtuvo, además, el rendimiento de masa a tortilla que es de 0.678 kg de tortilla / kg. de masa y el rendimiento de Harina a masa que es de 2.24 kg de masa/ kg de Harina. y de harina a tortilla (1.52 kg de tortilla/ kg. de harina), datos que nos servirán para calcular la cantidad de masa, harina y de tortillas a utilizar en la experimentación.

6.3 DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DE LA MASA Y TORTILLAS A DIFERENTES CONDICIONES.

Su determinación es primordial. ya que esta influye de manera directa en los parámetros de textura. En la tabla 6.2 se muestran los valores obtenidos de humedad en masa. Se observa, que los valores obtenidos en la balanza de humedad son prácticamente iguales. El análisis de varianza confirma que no existe diferencia significativa en la humedad de la masa por efecto de la congelación. ni de la presencia de goma.

TABLA 6.2 Valores obtenidos de Humedad de masa elaborada con Harina de Maiz Nixtamalizado (Maseca)

	sin congelar y sin goma	Sin congelar Con goma	Congelada Sin goma	Congelada Con goma
Promedio %	59.3	59.4	59.3	59.1
Desviación estándar	0.1723	0.1732	0.25166	0.1154
Coef. Variación (%)	0.29	0.2915	0.4246	0.1953
Nota: los valores representados en la tabla es el promedio de tres repeticiones				

Fuente var	gl	SC	CM	F	P
Entre los grupos	3	0.176	0.0586	1.715	0.241
Residual	8	0.273	0.0342		
Total	11	0.449			

TABLA 6.3 Valores obtenidos de humedad de tortillas elaboradas con Harina de Maiz Nixtamalizado (Maseca)

	Sin congelar Y sin goma	Sin congelar Con goma	Congelar Sin goma	Congelar Con goma	Tort. Elaboradas Con masa congelada Sin goma	Tort. Elaboradas Con masa congelada Con goma
Promedio %	39.9	39.7	40	40.2	40	39.7
Desviación estándar	0.361	0.289	0.5	0.289	0.5	0.289
Coef. Variación (%)	0.904	0.728	1.25	0.719	1.25	0.728

Nota: los valores representados en la tabla son el promedio de tres repeticiones.

Se observa en la tabla (6.3), que los valores obtenidos en la balanza de humedad son similares, lo cual se confirma con el análisis de varianza el cual muestra que no existen diferencias significativas por efecto de la congelación y la presencia de goma. (tabla 6.3.1)

Fuente var.	gl	SC	CM	F	P
Entre los grupos	5	0.600	0.120	0.818	0.559
Residual	12	1.760	0.147		
Total	17	2.360			

6.4 EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE TEXTURA EN MASA:

El análisis de los valores de textura obtenidos tanto en masa como en tortillas se hará en relación a la masa elaborada con HMN maseca sin congelar y sin methocel, y a las tortillas elaboradas con esta masa, respectivamente (testigos).

Las pruebas de textura realizadas a la masa fueron las siguientes: TPA, Adhesividad y extrusión positiva.

6.4.1 PRUEBA DE TPA

Módulo 1: Este módulo, conocido como Firmeza y obtenido de la pendiente inicial del primer ciclo de compresión, representa la resistencia que ofrece el cilindro de masa a ser comprimido y compactado. En la tabla 6.4 se muestran los resultados de este módulo, donde puede apreciarse que la goma aumenta el módulo, la congelación lo disminuye ligeramente y la combinación de congelación y goma lo aumenta. El análisis de varianza muestra que existe diferencia significativa, la prueba de Tukey indica que solo la combinación de goma y congelación produce una masa con módulo 1 significativamente más alto que el testigo, (anexo 1)

Módulo 2: En el primer ciclo de la gráfica de TPA puede apreciarse un cambio importante de pendiente que muestra que al inicio de la prueba la resistencia a la compresión es mayor y luego, cerca del primer segundo, esta resistencia disminuye. La segunda pendiente (módulo 2) puede asociarse a que una vez que el cilindro de masa ha sido compactado, al continuar la compresión se ensancha hacia los lados, ofreciendo una menor resistencia que se manifiesta como una menor pendiente. Como puede observarse en la gráfica 6.9 y tabla 6.4. La goma y la congelación lo aumentan, mientras que en la masa congelada y con goma, el valor es muy cercano al testigo; según el análisis de varianza esta diferencia no es significativa.

Dureza: Al igual que en la firmeza, se observan pequeños cambios en los valores de dureza, todos los tratamientos aplicados aumentan ligeramente la dureza; el análisis de varianza indica que esta diferencia no es significativa.

Fza. Adhesiva y adhesividad: Se observa que tanto en fuerza adhesiva como en adhesividad, no se tiene gran diferencia por efecto de los tratamientos, presentando la mayor adhesividad y fuerza adhesiva la muestra congelada con goma. El análisis de varianza indica que no existen diferencias significativas para las diferentes masas, por lo tanto, se tendrán que aplicar la misma fuerza y el mismo trabajo (adhesividad) para despegar el dispositivo de prueba. Cabe hacer notar que para la discusión de los parámetros que se obtendrán más adelante se referirá tanto la adhesividad (área adhesiva), como la fuerza adhesiva a las obtenidas en la prueba específica de adhesividad, que es mucho más sensible para estos parámetros (tabla 6.5).

TABLA 6.4 PARÁMETROS OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE TPA DE MASA ELABORADA CON HMN MASECA.

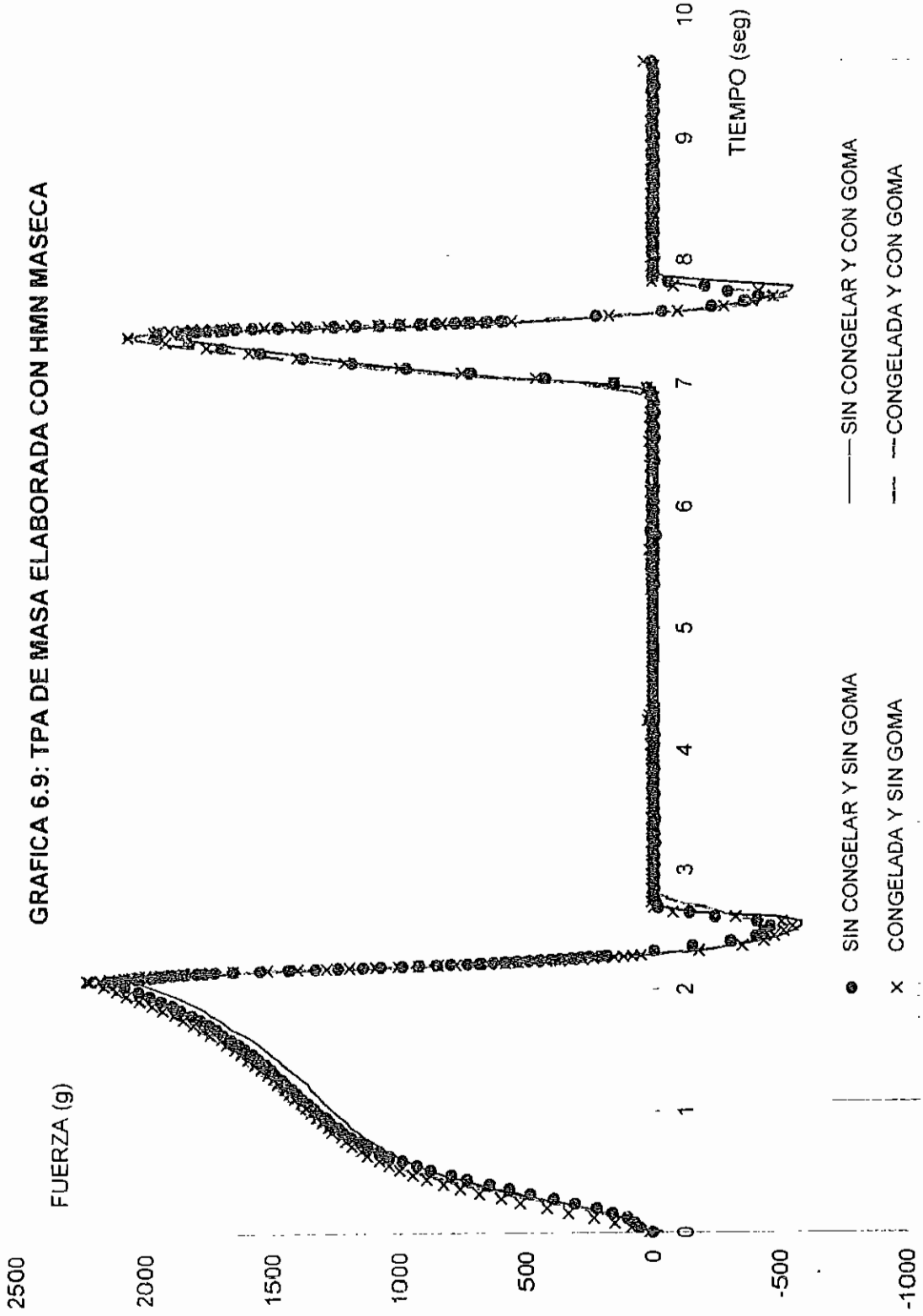
MASA	PARAMETROS										
		*MODULO 1 g/ mm	MODULO 2 g/ mm	DUREZA g	FZA. ADHESIVA g	ADHESIVIDAD g.s	*INDICE DE ELASTICIDAD	COHESIVIDAD	GOMOSIDAD g	MASTICOSIDAD g	
SIN CONGELAR Y SIN GOMA	μ	379.541	117.945	2092.73	-523.245	-129.827	0.208	0.24	502.068	104.544	
	σ	6.461	1.899	38.933	39.126	19.422	0.001	0.005	13.531	3.316	
	C.V (%)	1.702	1.61	1.86	-7.478	-14.96	0.453	2.07	2.695	3.172	
SIN CONGELAR CON GOMA	μ	424.997	134.638	2291.332	-519.462	-136.562	0.208	0.235	537.733	111.968	
	σ	27.09	11.962	200.176	56.54	11.175	0.001	0.008	39.221	8.851	
	C.V (%)	6.374	8.885	8.736	-10.884	-8.183	0.679	3.314	7.294	7.905	
CONGELADA Y SIN GOMA	μ	365.039	141.814	2392.687	-501.096	-138.705	0.208	0.227	542.396	113.007	
	σ	15.452	9.6	135.022	48.44	5.404	0.003	0.005	18.749	5.46	
	C.V (%)	4.233	6.769	5.643	-9.667	-3.896	1.414	2.247	3.457	4.832	
CONGELADA CON GOMA	μ	438.584	129.768	2275.804	-559.291	-164.586	0.227	0.237	538.185	122.03	
	σ	4.584	3.127	40.722	23.771	10.876	0.01	0.014	31.409	10.316	
	C.V (%)	1.045	2.409	1.789	-4.25	-6.608	4.448	5.718	5.836	8.454	

NOTA: Los resultados presentados en la tabla se obtuvieron de tres replicas para cada una de las masas manejadas, donde

μ es el promedio, σ la desviación estándar y c.v es el coeficiente de variación de las tres replicas.

*Son los parámetros en los que se obtiene una diferencia estadísticamente significativa, al aplicar el análisis de varianza (ver anexo 1), es decir, que se acepta una hipótesis alterna.

GRAFICA 6.9: TPA DE MASA ELABORADA CON HMN MASECA



Elasticidad: La masa es poco elástica, y se observan los mismos valores de índice de elasticidad para el testigo, la masa con goma y la masa congelada sin goma. La masa congelada con goma resultó ligeramente más elástica que las demás. El *andeva* muestra diferencias significativas y la prueba de Tukey dice que la masa congelada con goma es diferente a la testigo, y a todas las demás que a su vez son iguales entre sí. Esto puede justificarse debido al efecto de la descongelación, en donde aparentemente una parte del almidón sin gelatinizar, lo hace, y al enfriarse imparte una estructura más elástica.

Cohesividad: La masa es poco cohesiva como lo muestra la notable diferencia entre las áreas positivas del primero y segundo ciclo de compresión (gráfica 6.9). Los tratamientos aplicados no afectaron la cohesividad de la masa pues presentan valores muy cercanos. El *andeva* indica que no existen diferencias significativas. En la discusión de los demás parámetros de textura que se presentarán más adelante se hará referencia a la cohesividad que se obtiene en la prueba específica de adhesividad (área cohesiva) tabla 6.5.

Gomosidad: Los tratamientos aumentaron ligeramente la gomosidad de la masa. Al ser la gomosidad el producto de la dureza por la cohesividad y dado que estos parámetros no fueron afectados de manera significativa por los tratamientos (tabla 6.4), es de esperarse que la gomosidad tampoco lo sea, lo que confirma el *andeva*.

Masticosidad: Se observa que aparentemente la congelación y la presencia de goma tienden a aumentar ligeramente la masticosidad, con el mayor valor en la muestra congelada con goma. Como la masticosidad está influenciada por dureza, cohesividad y elasticidad, es de esperarse que al no haber diferencias significativas en dureza y cohesividad y tener elasticidad similar, la masticosidad tampoco cambie. La máxima masticosidad la presentó la muestra congelada con goma que fue la única que presentó un valor significativamente más alto de elasticidad. El *andeva* muestra que estas diferencias no son significativas (anexo 1), es decir, que se tiene que aplicar la misma energía, para masticarla hasta que este lista para deglutirla. Aunque en la masa no se consume cruda directamente, podemos relacionar la masticosidad con el amasado; una masa con elasticidad y cohesividad bajas, será más manejable, pero una cohesividad excesivamente baja puede ocasionar la ruptura de la masa durante el moldeado de la tortilla. mientras que una elasticidad demasiado alta puede dificultar el moldeado.

6.4.2 PRUEBA DE ADHESIVIDAD

Fuerza Adhesiva y adhesividad: En la tabla 6.5 se observa que tanto la goma, como la congelación y su combinación aumentan la fuerza adhesiva, aún cuando el *andeva* indica que estas diferencias no son significativas (anexo 1). En cuanto a la adhesividad, la goma la aumenta, la congelación la disminuye y la combinación de ambas tiene un efecto mínimo con relación al testigo, lo cual es confirmado por el *andeva* que indica que todos los tratamientos fueron significativamente diferentes, a excepción del testigo con la masa congelada con goma que fueron iguales (prueba de Tukey, anexo 1).

.La congelación provoca una retrogradación del almidón, que disminuye la adhesividad, mientras que la goma le imparte propiedades adhesivas. Debido a que esta prueba es mucho más sensible y puntual para evaluar las propiedades adhesivas, que la prueba de TPA, aquí sí pudo detectarse efecto de los tratamientos; el amasado continuo y la aplicación intermitente de calor durante la descongelación, tienden a equilibrar el efecto que proporciona cada tratamiento y se logra mantener una masa similar al testigo.

Estiramiento: La presencia de goma aumenta ligeramente el estiramiento de la masa, mientras que la congelación lo disminuye, la combinación de ambos tratamientos lo equilibra dando valores cercanos al testigo. El análisis de varianza detectó diferencias significativas entre los tratamientos, empleando la Prueba de Tukey, se observa que el testigo y la masa congelada con goma son iguales estadísticamente. La explicación de este efecto es la misma que para la adhesividad. Esto se observa en la gráfica 6.10 en donde la curva positiva, es más ancha en el eje de tiempo en la masa sin congelar y con goma y caso contrario, en donde es menor en la masa congelada sin el methocel.

Pegajosidad: Los resultados muestran que la congelación con y sin goma aumentan la pegajosidad. El análisis de varianza arroja diferencias significativas, que la prueba de Tukey confirma, entre la masa congelada con goma, con la masa testigo y con la masa sin congelar con goma. Esto puede atribuirse a una mayor gelatinización del almidón provocada por el calentamiento y amasado para la descongelación de la masa y a que la goma ayuda a retener más agua dentro de los gránulos de almidón hinchados durante la elaboración de la masa y, además, reducir cambios indeseables provocados por la congelación.

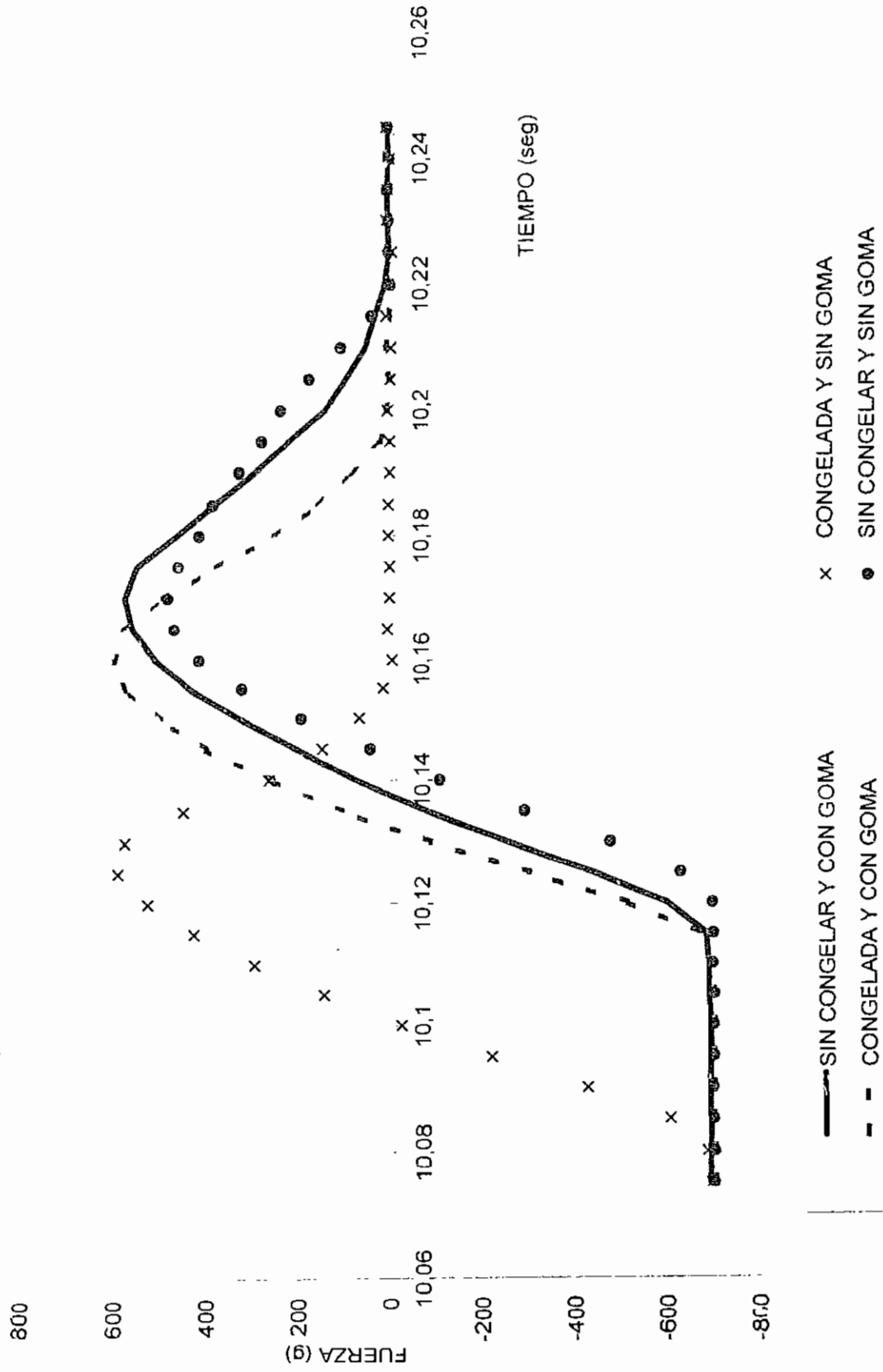
TABLA 6.5: PARÁMETROS OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE ADHESIVIDAD DE MASA ELABORADA CON HMN MASECA.

MASA	PARAMETROS									
	FUERZA ADHESIVA g	*ADHESIVIDAD g. s	*ESTIRAMIENTO mm	*PEGAJOSIDAD g/ mm	*ÁREA ADHESIVA g. s	*ÁREA COHESIVA g. s	RELACIÓN AREA ADHESIVA / AREA COHESIVA g/ mm			
SIN CONGELAR Y SIN GOMA	μ 467.812 σ 30.778 C.V (%) 6.579	23.367 0.779 3.335	0.383 0.012 3.074	3555.992 133.138 3.744	9.778 0.163 1.667	13.589 0.766 5.639	0.722 0.042 5.838			
SIN CONGELAR CON GOMA	μ 547.273 σ 49.979 C.V (%) 9.132	27.408 0.743 2.711	0.417 0.024 5.657	3525.184 216.045 6.129	13.121 1.003 7.642	14.287 0.299 2.092	0.92 0.087 9.445			
CONGELADA Y SIN GOMA	μ 528.146 σ 47.979 C.V (%) 9.084	19.465 1.039 5.339	0.308 0.031 10.112	3934.366 366.137 9.306	9.55 0.327 3.42	9.915 1.173 11.835	0.98 0.146 14.879			
CONGELADA CON GOMA	μ 564.553 σ 24.457 C.V (%) 4.332	24.4*3 1.021 4.172	0.358 0.012 3.289	4458.135 306.664 6.879	12.146 0.982 8.087	12.317 0.355 2.884	0.987 0.087 8.788			

NOTA: Los resultados presentados en la tabla se obtuvieron de tres replicas para cada una de las masas manejadas, donde μ es el promedio, σ la desviación estándar y c.v es el coeficiente de variación de las tres replicas.

* Son los parámetros en los que se obtiene una diferencia estadísticamente significativa, al aplicar el análisis de varianza (ver anexo 1), es decir, que se acepta una hipótesis alterna.

GRAFICA 6.10 : PRUEBA DE ADHESIVIDAD DE MASA ELABORADA CON HMN MASECA



Área adhesiva: Hubo un aumento del área adhesiva por efecto de la goma, la congelación parece no afectar y la combinación goma congelación, la aumenta con relación al testigo. El análisis estadístico muestra diferencias entre la masa testigo y las masas con goma, congelada y sin congelar. El aumento observado en la adhesividad de las masas con goma está relacionado con el aumento en el área adhesiva. En este parámetro se puede corroborar lo anterior, es decir, la utilización del methocel, proporciona un aumento en la adhesividad, debido a que retiene mayor cantidad de agua (tabla 6.5 y gráfica 6.10).

Área Cohesiva: La congelación disminuye la cohesividad de la masa que se manifiesta en una disminución del área total. La goma la aumenta ligeramente, y el efecto de ambas variables combinadas disminuye el efecto de la congelación. La Prueba de Tukey (anexo 1), muestra que el área cohesiva es prácticamente igual en todas las condiciones, a excepción de la masa congelada sin goma en la que disminuye de manera importante (tabla 6.5). Lo anterior puede ser debido a que en la congelación se presenta en mayor grado la retrogradación del almidón, y al no contar con una goma, el desprendimiento de agua y formación de escarcha en la superficie de la muestra será mayor. Al aplicar la descongelación, será menor la reincorporación del agua desprendida en la parte interna del producto, y menor la gelatinización del almidón, provocando una menor cohesividad. En el caso de la masa congelada con goma como ya se explicó antes, la combinación de la congelación y el uso del methocel, nos proporciona una masa con propiedades de cohesividad similares a la testigo (gráfica 6.10).

Relación área adhesiva / área cohesiva: En todas las masas predomina el área cohesiva sobre la adhesiva siendo este predominio mayor en la masa testigo. Tanto la congelación como la goma tienden a balancear la contribución de ambas propiedades en la masa. Esta relación es importante durante el moldeo y la colocación de la tortilla en el comal o la banda de cocción, en donde un predominio de la adhesividad sobre la cohesividad puede ocasionar la ruptura de la tortilla. Durante el desarrollo de la experimentación se notó que era menos frecuente la ruptura de tortillas para la masa testigo, lo que nos indica que la masa debe ser ligeramente más cohesiva que adhesiva. El análisis de varianza no detecta esta pequeña pero importante diferencia. Esto nos indica que es más importante la relación de estos parámetros que el valor independiente de cada uno.

6.4.3 EXTRUSIÓN POSITIVA

Fuerza de extrusión: De acuerdo con los resultados obtenidos, se observa que la goma y la congelación disminuyen la fuerza de extrusión, esto puede notarse en la gráfica 6.11, y en la tabla 6.6. El *andeva* indica que existen diferencias significativas por efecto de los tratamientos, la prueba de Tukey, (anexo 1) indica que las masas congeladas son iguales entre sí, y las no congeladas también. En masas donde predomina más la cohesividad sobre la adhesividad (masas sin congelar, tabla 6.5) se tendrá que aplicar mayor fuerza para extruirlas, mientras que al existir mayor equilibrio en el área adhesiva y cohesiva, (masas congeladas) será más fácil de extruir la masa, ya que se aplica menos fuerza de extrusión. Además de que la diferencia entre la masa sin congelar con goma no es significativa con respecto al testigo según prueba de Tukey (anexo 1).

Trabajo de extrusión: El uso de la goma y la congelación y su combinación disminuyen el trabajo de extrusión (tabla 6.6.). Se observan pequeñas diferencias en los tratamientos, corroborándose con el *andeva* que son significantes; la prueba de Tukey indica que existen diferencias significativas entre el testigo y las masas congeladas, mientras que no la hay con la masa con goma. Al igual que en la fuerza de extrusión, al predominar más lo cohesivo sobre lo adhesivo, el trabajo de extrusión será mayor, mientras que cuando estas propiedades están equilibradas, será menor el trabajo de extrusión. La masa sin congelar y con goma no presenta diferencia significativa con el testigo (Tukey, anexo 1).

Resistencia a la compresión: Es la pendiente inicial de la curva en la gráfica 6.11 y en los resultados de la tabla 6.6. se observa que al utilizar la goma aumenta ligeramente la resistencia a la compresión; el *andeva* indica que estas diferencias no son significativas.

Resistencia a la Extrusión: Esta resistencia es el segundo cambio de pendiente de la curva. De acuerdo con los resultados de la tabla 6.6, se advierte una diferencia entre los tratamientos, y el *andeva* indica que son significantes. La goma disminuye esta resistencia, al igual que la congelación, y la combinación de ambos la disminuyen aun más, siendo ésta la que menor resistencia opone a la extrusión. La prueba de Tukey indica que no existe diferencia significativa entre el testigo y la masa sin congelar con goma y la masa congelada sin goma; Pero sí con la masa congelada con goma. Masas tendiendo al equilibrio entre lo adhesivo y cohesivo, nos opondrán una menor resistencia a la extrusión. (Tabla 6.5).

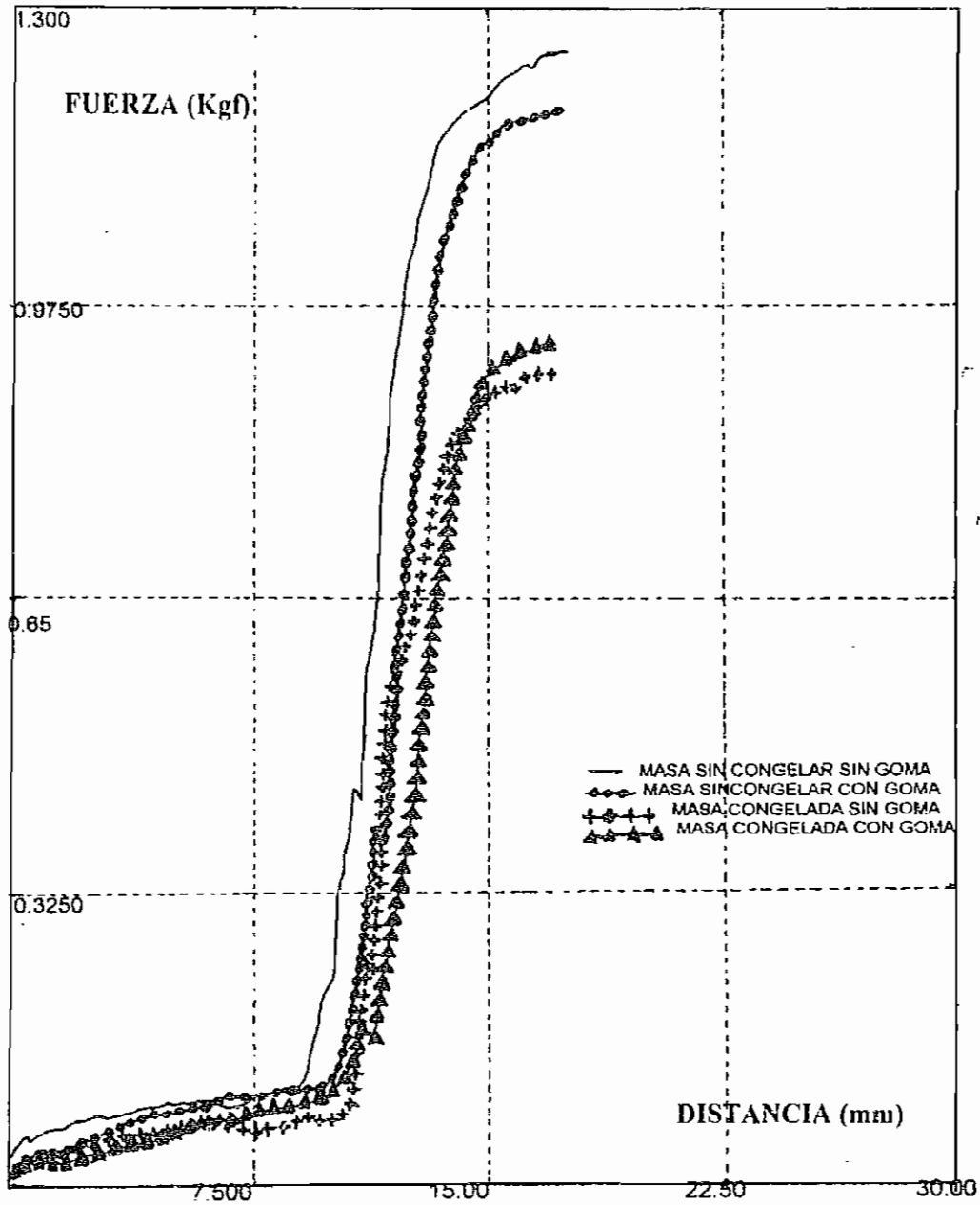
TABLA 6.6: PARÁMETROS OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE EXTRUSIÓN POSITIVA DE MASA ELABORADA CON HMN MASECA.

MASA		PARÁMETROS				
		*FZA. DE EXTRUSIÓN Kgf	*TRABAJO DE COMPRESIÓN Kgf.mm	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Kgf/mm	*TRABAJO DE EXTRUSIÓN Kgf. mm	*RESISTENCIA A LA EXTRUSIÓN Kgf/mm
SIN CONGELAR Y SIN GOMA	μ	1.2783	0.9585	0.0067	6.372	0.4134
	σ	0.0225	0.056	0.0005	0.6163	0.0131
	C.V.(%)	1.76	5.844	7.578	9.6726	3.1683
SIN CONGELAR CON GOMA	μ	1.2036	1.043	0.0075	5.157	0.4088
	σ	0.041	0.0864	0.0004	0.5712	0.0219
	C.V.(%)	3.409	8.2795	5.291	11.0764	5.3644
CONGELADA Y SIN GOMA	μ	0.9464	0.6449	0.0068	4.724	0.3774
	σ	0.0261	0.0553	0.0007	0.5014	0.0628
	C.V.(%)	2.76	8.5745	10.688	10.6151	16.6507
CONGELADA CON GOMA	μ	0.956	0.8095	0.0078	3.6283	0.2881
	σ	0.0509	0.0722	0.0004	0.5513	0.0283
	C.V.(%)	5.3241	8.9252	5.3639	15.197	9.8438

NOTA: Los resultados presentados en la tabla se obtuvieron de tres replicas para cada una de las masas manejadas, donde μ es el promedio, σ la desviación estándar y c.v es el coeficiente de variación de las tres replicas

* Son los parámetros en los que se obtiene una diferencia estadísticamente significativa, al aplicar el análisis de varianza (ver anexo 1), es decir, que se acepta una hipótesis alterna.

GRAFICA 6.11. PRUEBA DE EXTRUSIÓN POSITIVA



Trabajo de compresión: Este parámetro indica la energía necesaria que se debe aplicar para comprimir la masa antes de iniciar la extrusión. Los tratamientos tienen el mismo efecto que en los parámetros anteriormente discutidos; el ANOVA manifiesta que si existe diferencia significativa, aunque la prueba de Tukey (anexo 1), demuestra que en comparación con el testigo, solo la muestra congelada sin goma presenta diferencias significativas. Observando, además, que la congelación nos disminuye este trabajo, mientras que la goma lo aumenta. Esto puede justificarse debido al efecto de la congelación, y la goma que tienden a equilibrar las propiedades cohesivas y adhesivas. Esta propiedad parece tener una clara relación con el área cohesiva, al aumentar ésta, aumenta el trabajo de compresión.

6.5 EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE TEXTURA EN TORTILLAS

6.5.1 PRUEBA DE TPA

Módulo 1: En la gráfica 6.12 se muestra el TPA de las diferentes tortillas donde puede observarse que la tortilla elaborada con masa congelada con goma es muy similar a la testigo. Este módulo, que es la pendiente inicial del primer ciclo de compresión, representa la firmeza del lote de tortillas (13 tortillas); y es la resistencia que oponen éstas al ser comprimidas y compactadas, es decir, que al ir eliminando los espacios vacíos que existen en el lote de tortillas, va aumentando la fuerza, ya que las orillas del área de contacto van impidiendo que el dispositivo las compacte. En la tabla 6.7 se muestran los resultados de este módulo 1, donde puede apreciarse diferencias entre los tratamientos, que el ANOVA muestra que son significativas. Se observa que, en general, el uso de la goma lo disminuye, y la congelación lo aumenta ligeramente. La prueba de Tukey indica que solo las tortillas elaboradas con masa congelada sin goma produce un módulo 1 significativamente más bajo que el testigo, mientras que todos los demás tratamientos no presentan diferencia significativa (anexo 1).

Módulo 2: En el primer ciclo de compresión de la gráfica de TPA puede apreciarse otro cambio de pendiente (módulo 2), aquí indica que ya el dispositivo de acrílico va comprimiendo el lote de tortillas y la resistencia a la compresión (pendiente), se mantiene constante hasta terminar el primer ciclo de compresión. En la tabla 6.7 se notan algunas diferencias, especialmente entre el testigo y las tortillas elaboradas con masa congelada sin goma en las que el módulo 2 disminuye notablemente.

Si se congelan las tortillas elaboradas con masa fresca, el módulo aumenta, si se congela la masa sin goma y posteriormente se elaboran las tortillas, el módulo disminuye considerablemente, mientras que las tortillas elaboradas con masa congelada con goma presentan un módulo 2 muy similar al testigo. El *andeva* indica que si hay diferencias significativas y la prueba de Tukey confirma que entre el testigo y las tortillas elaboradas con masa congelada con goma no existe diferencia significativa. Al congelar la masa sin goma, el módulo de las tortillas elaboradas disminuye, efecto que es compensado con adición de goma.

Dureza: En las tortillas con masa fresca, los cambios en dureza siguen la misma tendencia que el módulo 2. En la tabla 6.7 se observa que tanto el uso de la goma como la congelación aumentan la dureza y el uso de ambos también. En las tortillas que no se congelan directamente, pero que se elaboran con masa congelada sin goma se presenta la menor dureza de todos los tratamientos (gráfica 6.12); mientras en las elaboradas con masa congelada con goma, nos da prácticamente el mismo valor de dureza que el testigo. Las tortillas congeladas sin goma, presentan también una dureza cercana a la testigo. La prueba de Tukey indica que no existe una diferencia significativa entre el testigo y las tortillas congeladas sin goma y elaboradas con masa congelada con goma. A mayor firmeza de la tortilla, la dureza tiende a aumentar e inclusive aumentará los demás parámetros de textura, principalmente la gomosidad, masticosidad, fuerza de corte y de extensión máxima de la tortilla, como se verá más adelante.

Fuerza Adhesiva y adhesividad: En cuanto a estos parámetros se observa en la gráfica 6.12 que no se tiene área negativa, lo cual indica que las tortillas no tienen propiedades adhesivas.

Índice de elasticidad: La tortilla es muy elástica en comparación con la masa y se observan en la tabla 6.7 que existen cambios pequeños principalmente en las tortillas sin congelar con goma, cuya elasticidad es más baja, aunque el *andeva* (anexo1) indica que no son significativas, es decir, que en todos los tratamientos se obtiene la misma tasa de recuperación al aplicar la segunda compresión, y prácticamente igual al testigo.

Cohesividad: La tortilla es más cohesiva que la masa, como lo muestra la notable diferencia entre las áreas positiva del primer y segundo ciclo de compresión en la masa y la menor diferencia en la tortilla, lo que se aprecia en la gráfica 6.12. En la tabla 6.7 se observa que la congelación de la tortilla y la elaboración de tortillas con masa congelada aumentan la

cohesividad mientras que la goma la disminuye. La máxima cohesividad se obtiene en la tortilla elaborada con masa congelada sin goma. El *andeva* indica que si existen diferencias significativas. De acuerdo con la prueba de Tukey solamente las tortillas elaboradas con masa congelada con goma y las tortillas congeladas directamente sin goma no presentan diferencias significativas con las tortillas testigo.

Parece haber relación entre la cohesividad de las tortillas y la relación adhesión/cohesión de masa; al aumentar ésta última aumenta la cohesividad de la tortilla elaborada con masa congelada. La goma, que aumenta la relación adhesión/cohesión en masa, produce también tortillas congeladas más cohesivas. La congelación de masa aumenta la relación adhesión/cohesión de la misma, e igualmente la cohesión de la tortilla.

Gomosidad: Al ser la gomosidad el producto de la dureza por la cohesividad y dado que estos parámetros de textura fueron afectados de manera significativa por los tratamientos, es de esperarse que la gomosidad sea afectada también. La cohesividad presenta la misma tendencia que la dureza debido a los tratamientos, ya que los cambios en la cohesividad son menos importantes que los de dureza, la gomosidad será más afectada por ésta última. El *andeva* (anexo 1) detecta diferencias significativas y la prueba de Tukey indica que éstas se presentan entre la tortilla testigo y las tortillas directamente congeladas con goma y las elaboradas con masa congelada con goma, mismo comportamiento presentado para la dureza y cohesividad. El valor más bajo de gomosidad se obtiene en las tortillas elaboradas con masa congelada sin goma, debido a la menor dureza, mientras que el más alto en las tortillas sin congelar con goma y tortillas congeladas con goma.

Masticosidad: Como la gomosidad está influida por la gomosidad y la elasticidad, al haber diferencias en estos parámetros es de esperarse que la masticosidad también se modifique. Dado que la elasticidad no presenta cambios significativos por efecto de los tratamientos, la masticosidad está básicamente influida por la gomosidad y presenta la misma tendencia, la mayor masticosidad en las tortillas congeladas con goma y la menor en las tortillas elaboradas con masa congelada sin goma. La masticosidad más cercana a las tortillas testigo se obtuvo en las tortillas elaboradas con masa congelada con goma, para las cuales la prueba de Tukey indica que no existe diferencia con las tortillas testigo.

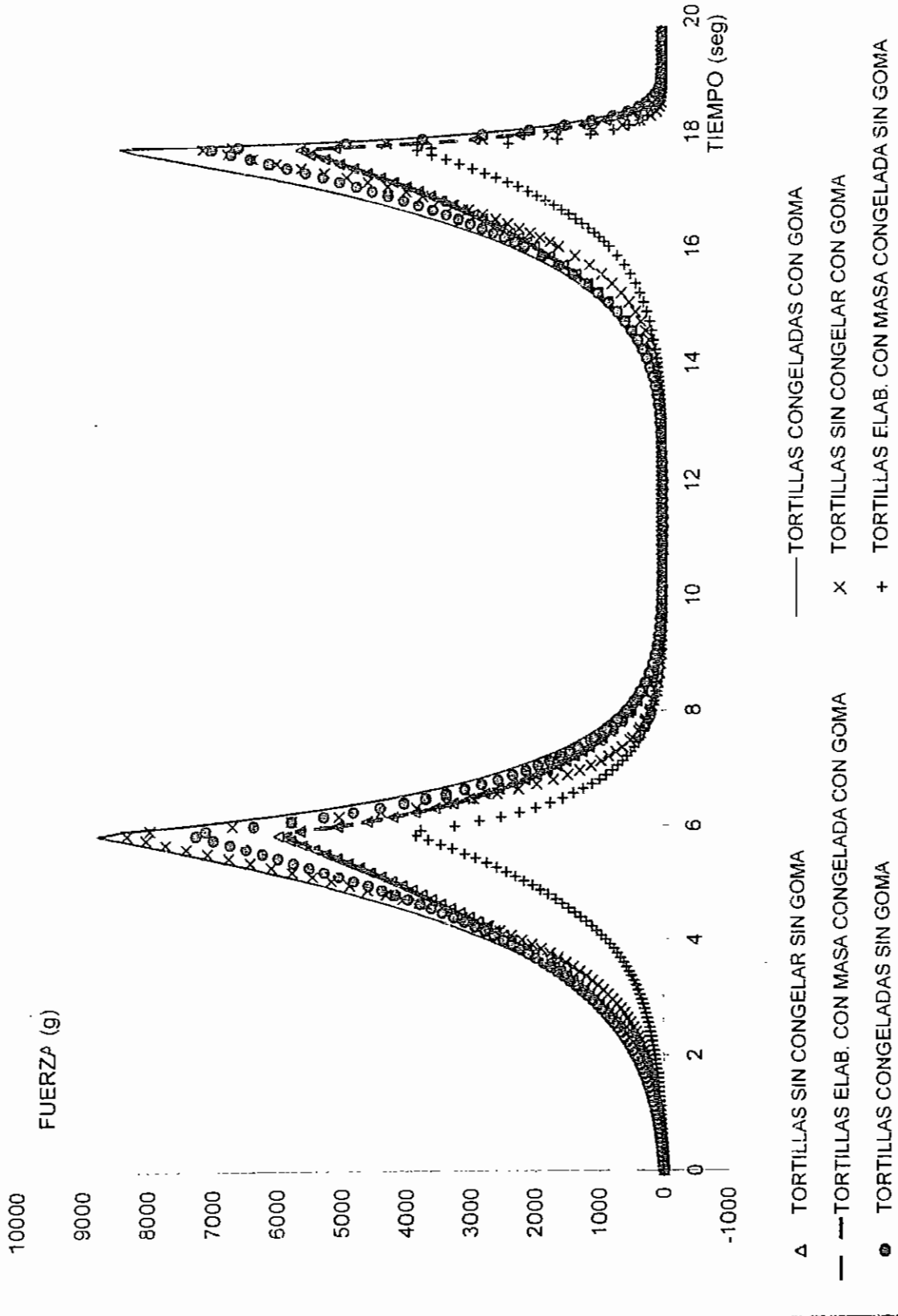
TABLA 6.7: PARÁMETROS OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE TPA DE TORTILLAS ELABORADA CON HMN MASECA.

TORTILLAS	μ σ C.V (%)	PARÁMETROS						*MODULO 1 g/mm	*MODULO 2 g/mm	*DUREZA g	INDICE DE ELASTICIDAD	*COHESIVIDAD	*GOMOSIDAD	*MASTICIDAD			
		*MODULO 1 g/mm	*MODULO 2 g/mm	*DUREZA g	INDICE DE ELASTICIDAD	*COHESIVIDAD	*GOMOSIDAD								*MASTICIDAD		
FRESCAS	μ σ C.V (%)	74.072	937.441	5965.804	0.856	0.598	3568.54	2135.429	SIN GOMA	μ σ C.V (%)	3.714	29.324	207.816	0.034	0.012	155.63	124.43
		5.013	3.128	3.483	3.988	2.039	4.361	5.827									
CON GOMA	μ σ C.V (%)	69.8	1412.377	8238.312	0.798	0.564	4645.622	2619.829	CON GOMA	μ σ C.V (%)	5.647	87.753	513.966	0.028	0.004	264.348	135.725
		8.091	6.213	6.239	3.459	0.724	5.69	5.181									
TORTILLAS CONGELADAS CON MASA FRESCA	μ σ C.V (%)	72.243	1123.569	6974.522	0.829	0.624	4353.635	2717.634	SIN GOMA	μ σ C.V (%)	3.54	93.635	546.356	0.012	0.001	347.729	221.259
		4.9	8.334	7.834	1.435	0.2	7.987	8.142									
CON GOMA	μ σ C.V (%)	76.196	1454.944	9110.701	0.851	0.632	5756.187	3636.944	CON GOMA	μ σ C.V (%)	6.785	59.828	508.665	0.034	0.004	338.938	227.101
		8.904	4.112	5.583	3.969	0.672	5.888	6.244									
TORTILLAS ELABORADAS CON MASA CONGELADA	μ σ C.V (%)	23.896	559.45	3583.384	0.853	0.658	2355.41	1548.382	SIN GOMA	μ σ C.V (%)	1.596	48.29	295.287	0.026	0.006	180.011	110.391
		6.68	8.632	8.24	3.068	0.932	7.642	7.129									
CON GOMA	μ σ C.V (%)	74.549	941.425	5895.906	0.828	0.628	3703.652	2328.165	CON GOMA	μ σ C.V (%)	7.419	44.763	224.559	0.037	0.017	221.39	197.559
		9.951	4.755	3.809	4.475	2.657	5.978	8.486									

NOTA: Los resultados presentados en la tabla se obtuvieron de tres replicas para cada una de las masas manejadas, donde μ es el promedio, σ la desviación estándar y c.v es el coeficiente de variación de las tres replicas.

*Son los parámetros en los que se obtiene una diferencia estadísticamente significativa, al aplicar el análisis de varianza (ver anexo 1), es decir, que se acepta una hipótesis alterna.

GRAFICA 6.12: TPA DE TORTILLAS ELABORADAS CON HMN MASECA



El hecho de que las tortillas elaboradas con la masa congelada sin goma presenten los menores valores de dureza, módulo, gomosidad y masticosidad puede relacionarse con el hecho de que la masa congelada sin goma (tabla 6.5) presente los valores más bajos de área adhesiva y particularmente, área cohesiva en la prueba de adhesividad de masa.

6.5.2 CORTE DE TORTILLA ENROLLADA

En la gráfica 6.13 se presenta la curva de corte de tortilla. Puede apreciarse una notable diferencia en la fuerza máxima y la distancia a la cual ésta se presenta, con la mayor fuerza máxima para las tortillas congeladas sin goma y menor para las elaboradas con masa congelada con goma.

Módulo 1: Este módulo, es la primera pendiente de la curva y representa la resistencia que opone el rollo al inicio del corte (compactado del rollo). Se observó en los resultados de la tabla 6.8, diferencias en los tratamientos; el *andeva* nos confirma que son significantes. De acuerdo con la prueba de Tukey, el uso de la goma o congelación directa de la tortilla disminuyen el valor de este módulo 1, mientras que el efecto de ambos lo disminuye ligeramente (no es significativa esta diferencia con respecto al testigo). En el resto de los tratamientos indica valores bajos, en relación con el testigo y la prueba de Tukey confirma que son diferentes.

Módulo 2: Este módulo, es la segunda pendiente de la curva, y representa la resistencia que opone el rollo de tortilla a ser cortada por la cuchilla (aquí se desarrolla el corte del rollo de tortilla). En los resultados obtenidos en la tabla 6.8 se notan cambios entre los valores de los tratamientos, el *andeva* muestra que son significativamente diferentes. Se observa que en las tortillas elaboradas con masa fresca y congeladas aumenta esta resistencia mientras que en las elaboradas con masa congelada disminuye. De acuerdo a la prueba de Tukey, en tortillas congeladas sin goma y en las elaboradas con masa congelada con goma si hay diferencia significativa con el testigo, ya que la primera lo aumenta (efecto de la congelación que acrecienta la retrogradación del almidón) y la segunda disminuye este valor (ya que la goma y el efecto de la descongelación, proporciona una estructura más suave). En las demás condiciones, aunque existe aparentemente una diferencia en relación con el testigo, esta no es significativa de acuerdo a la prueba de Tukey (anexo 1).

Fuerza máxima de corte En los resultados de la tabla 6.8 se observan diferencias en los tratamientos; el *andeva* indica que si hay diferencia significativa.

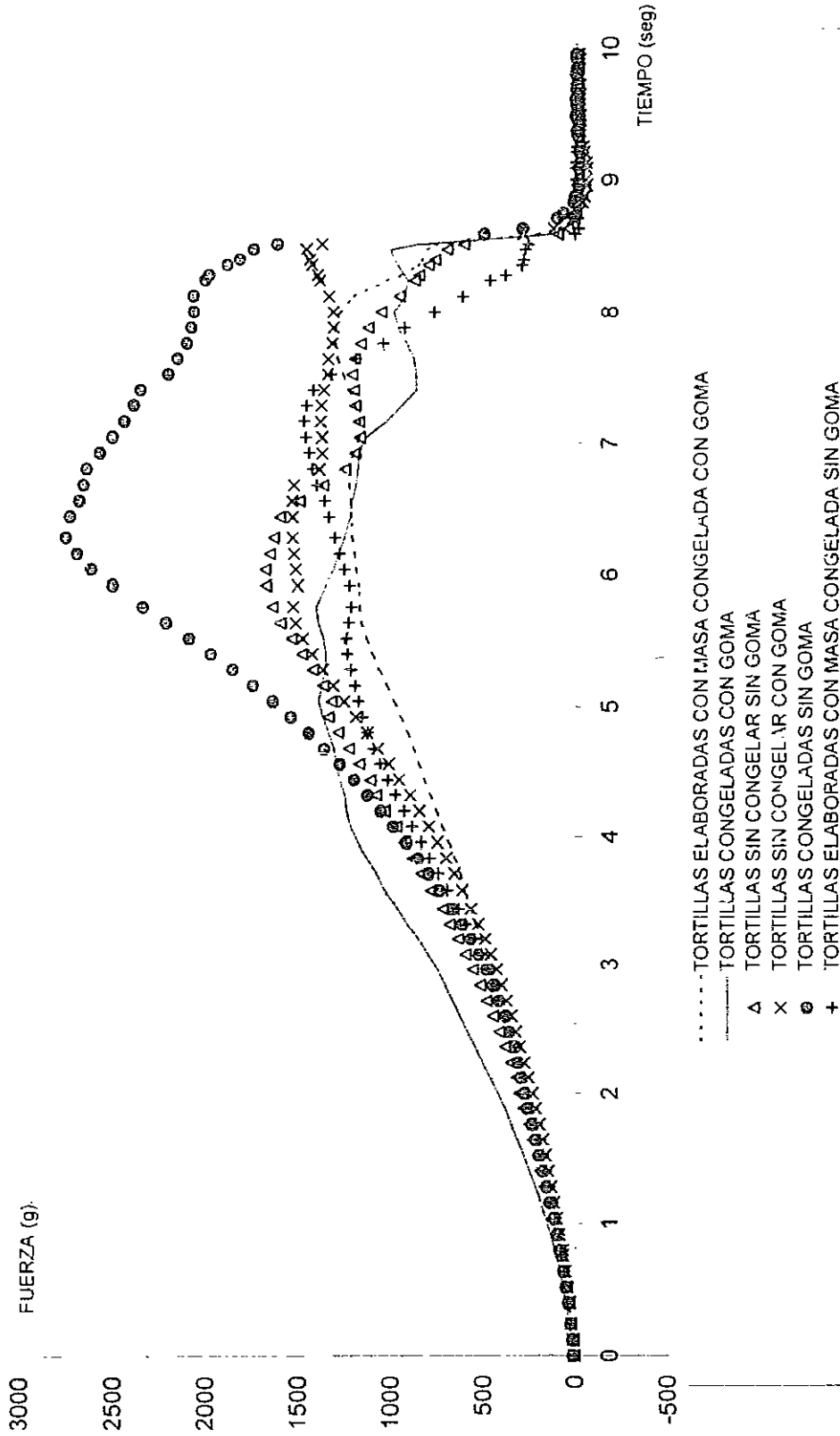
TABLA 6.8: PARÁMETROS OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE CORTE EN ROLLO DE TORTILLAS (HMN MASECA)

	TORTILLAS	PARAMETROS				
		*MODULO 1 g/mm	*MODULO 2 g/mm	*FUERZA DE CORTE MAXIMO g	*TRABAJO DE CORTE TOTAL g. s	
FRESCAS	SIN GOMA	μ	197.152	1654.835	7381.155	
		σ	17.533	151.093	448.745	
		C.V (%)	8.893	9.13	6.08	
TORTILLAS CONGELADAS CON MASA FRESCA	CON GOMA	μ	234.594	1606.83	6846.504	
		σ	14.581	165.104	265.802	
		C.V (%)	6.216	10.275	3.882	
TORTILLAS CONGELADAS CON MASA FRESCA	SIN GOMA	μ	357.661	2780.925	10735.547	
		σ	35.47	264.559	204.443	
		C.V (%)	9.917	9.513	1.904	
TORTILLAS ELABORADAS CON MASA CONGELADA	CON GOMA	μ	205.414	1541.259	7267.649	
		σ	14.613	93.046	258.659	
		C.V (%)	7.114	6.037	3.559	
TORTILLAS ELABORADAS CON MASA CONGELADA	SIN GOMA	μ	182.886	1574.27	6789.667	
		σ	12.8	143.404	562.839	
		C.V (%)	6.999	9.109	8.29	
TORTILLAS ELABORADAS CON MASA CONGELADA	CON GOMA	μ	124.311	1291.173	5879.924	
		σ	7.016	53.252	94.573	
		C.V (%)	5.644	4.124	1.608	

NOTA: Los resultados presentados en la tabla se obtuvieron de tres replicas para cada una de las masas manejadas, donde μ es el promedio, σ la desviación estándar y c.v es el coeficiente de variación de las tres replicas.

*Son los parámetros en los que se obtiene una diferencia estadísticamente significativa, al aplicar el análisis de varianza (ver anexo 1), es decir, que se acepta una hipótesis alterna.

GRAFICA 6.13: CORTE EN ROLLO DE TORTILLAS ELABORADAS CON HMN MASECA



- TORTILLAS ELABORADAS CON MASA CONGELADA CON GOMA
- TORTILLAS CONGELADAS CON GOMA
- △ TORTILLAS SIN CONGELAR SIN GOMA
- × TORTILLAS SIN CONGELAR CON GOMA
- ⊙ TORTILLAS CONGELADAS SIN GOMA
- + TORTILLAS ELABORADAS CON MASA CONGELADA SIN GOMA

Al igual que en el parámetro anterior, la goma disminuye la fuerza de corte tanto en las tortillas congeladas como en las elaboradas con masa congelada, mientras que la congelación directa de la tortilla la aumenta; las tortillas congeladas directamente sin goma, son en las que mayor fuerza se requiere para cortar completamente el rollo de tortilla, debido principalmente al efecto de la congelación que provoca mayor retrogradación. lo que en la gráfica 6.13 se refleja en un pico máximo más grande en relación a las demás curvas.

La prueba de Tukey muestra diferencias significativas entre el testigo y estas tortillas. En cuanto a los restantes tratamientos se observa que la diferencia que presentan en relación al testigo no es significativa (prueba de Tukey).

Trabajo de corte total: Este trabajo sigue la misma tendencia que los parámetros obtenidos con anterioridad, es decir, que al aumentar la fuerza y resistencia de corte aumentará el trabajo para cortar ese rollo completamente. Observándose que en las tortillas congeladas directamente la goma lo disminuye, mientras que la congelación lo aumenta, la combinación de goma y congelación no tiene mayor efecto; en las tortillas congeladas directamente sin goma se obtiene el mayor trabajo de corte, debido a una mayor retrogradación del almidón por la congelación. En las tortillas elaboradas con masa congelada con goma, el trabajo es menor. La prueba de Tukey indica diferencia significativa entre el testigo y las tortillas congeladas sin goma así como con las elaboradas con masa congelada con goma.

6.5.3 EXTENSIBILIDAD

En la gráfica 6.14 se muestran las curvas de extensibilidad; al igual que en la prueba de corte, se observan marcadas diferencias entre las fuerzas máximas de corte y las distancias a las que éstas se presentan. La mayor fuerza la presentan las tortillas congeladas sin goma y la menor las elaboradas con masa congelada con goma. Las tortillas con masa congelada con goma presentaron la ruptura más temprana.

Módulo 1: Aquí el módulo nos representa la resistencia que opone la tortilla para tensarla completamente, sin estirarla todavía. Este comportamiento se observa en la gráfica 6.14 y tabla 6.9, en donde al inicio de las gráficas (primera pendiente), se obtiene un cambio muy significativo al compararlas entre sí. Se observa que el uso de la goma o la aplicación de la congelación en las tortillas aumenta el valor de este módulo, mientras que la combinación de ambos también lo aumenta, con relación al testigo, el ANDEVA indica que si hay diferencia significativa (anexo 1), en la tortilla elaborada con masa congelada con y sin goma se logran

disminuir el valor de este módulo 1, obteniéndose valores cercanos con relación al testigo, mientras que las tortillas congeladas directamente con y sin goma, son las que presentan mayor resistencia para tensarlas, debido a un mayor efecto de la congelación (mayor retrogradación que se manifiesta en una mayor firmeza de la tortilla, y por lo tanto opondrá mayor resistencia al tensado de la misma. (anexo 1). La prueba de Tukey muestra que solo las tortillas elaboradas con masa congelada con y sin goma no presentaron diferencia significativa con la testigo.

Módulo 2: Este módulo representa la resistencia que ofrece la tortilla a ser extendida; los valores obtenidos en este módulo siguen la misma tendencia que en el primero y de acuerdo con el andeva, si existen diferencias significativas entre los tratamientos, las tortillas elaboradas con masa congelada con goma son la que menor resistencia oponen a la extensión. La prueba de Tukey muestran que únicamente en las tortillas elaboradas con masa congelada sin goma, se obtiene la misma resistencia que la registrada en el testigo; ya que al elaborar la tortilla, después del efecto de la congelación de la masa, vuelve a adquirir propiedades características de una recién elaborada; debido a dos factores primordiales que son el amasado continuo en la descongelación de la masa, y el aumento de la gelatinización de gránulos de del almidón en la superficie de la muestra, que le confieren una estructura igual a la obtenida en la testigo. En tortillas congeladas directamente con o sin goma se obtiene una mayor resistencia, debido a un mayor efecto de la retrogradación del almidón.

Fuerza de extensión máxima. De acuerdo con los valores de la tabla 6.9 se observan diferencias importantes, observando la misma tendencia que en los parámetros anteriores, es decir, la goma o la congelación aumentan esta fuerza, mientras la combinación de ambos la disminuyen. El andeva indica que si hay diferencia significativa (anexo 1). De acuerdo con la prueba de Tukey, solamente en las tortillas elaboradas con masa congelada con goma y congeladas directamente sin goma existen diferencias significativas. La mayor fuerza de extensión se obtuvo en la tortillas congeladas directamente sin goma (se presenta mayor efecto de la retrogradación, provocándonos una tortilla con una estructura más firme y dura).

Trabajo de extensión para ruptura total: Se observa en los resultados presentados en la tabla 6.9, que en las tortillas elaboradas con masa fresca, cuando se usa la goma disminuye este trabajo, mientras que en aquellas que se congelan directamente lo aumenta ligeramente, y que la combinación de ambas condiciones lo disminuyen.

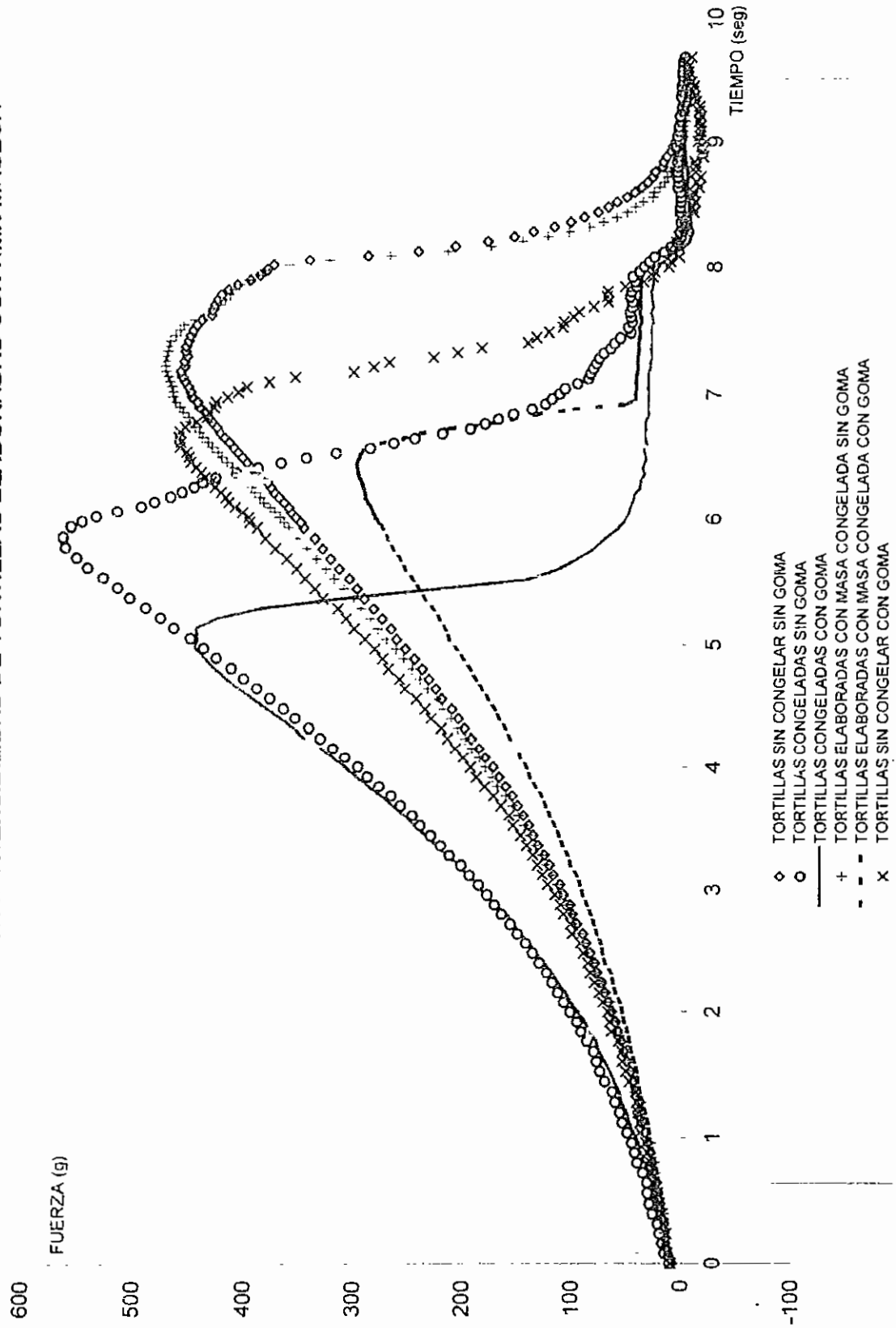
TABLA 6.9: PARÁMETROS OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE EXTENSIBILIDAD DE TORTILLAS (HMN MASECA)

		PARÁMETROS						
TORTILLAS		*MODULO 1 g/mm	*MODULO 2 g/mm	*FUERZA DE EXTENSIÓN MÁXIMA g	*TRABAJO DE EXTENSIÓN RUPTURA TOTAL g.s	*DISTANCIA DE EXTENSIÓN MÁXIMA mm	*EXTENSIBILIDAD DE TORTILLAS mm/g	
FRESCAS	SIN GOMA	μ 13.598 σ 0.834 C.V (%) 6.132	37.77 0.316 0.837	461.51 30.41 6.589	1710.412 85.486 4.998	14.504 0.513 3.538	0.0317 0.0012 3.78	
	CON GOMA	μ 17.698 σ 0.735 C.V (%) 4.151	47.417 1.115 2.352	482.611 12.796 2.651	1501.793 2.571 0.171	13.686 0.399 2.918	0.0284 0.000451 1.60	
TORTILLAS CONGELADA S CON MASA FRESCA	SIN GOMA	μ 24.072 σ 0.92 C.V (%) 3.822	58.464 2.572 4.399	577.833 40.155 6.949	1772.783 130.981 7.388	11.806 0.243 2.059	0.0205 0.00129 6.29	
	CON GOMA	μ 21.64 σ 0.738 C.V (%) 3.412	50.294 2.844 5.655	447.186 13.684 3.06	1207.671 45.928 3.803	10.365 0.326 3.149	0.0232 0.0014 6.03	
TORTILLAS ELABORADA S CON MASA CONGELADA	SIN GOMA	μ 14.788 σ 1.612 C.V (%) 10.897	38.924 3.209 8.244	476.838 32.505 6.817	1762.696 37.703 2.139	14.234 1.05 7.376	0.0298 0.00061 2.04	
	CON GOMA	μ 11.622 σ 1.257 C.V (%) 10.812	25.892 1.155 4.459	292.536 16.772 5.733	1006.346 75.582 7.511	12.734 0.25 1.96	0.0437 0.004 9.24	

NOTA: Los resultados presentados en la tabla se obtuvieron de tres replicas para cada una de las masas manejadas, donde μ es el promedio, σ la desviación estándar y c.v es el coeficiente de variación de las tres replicas.

* Si n los parámetros en los que se obtiene una diferencia estadísticamente significativa, al aplicar el análisis de varianza (ver anexo 1), es decir r, que se acepta una hipótesis alterna.

GRAFICA 6.14: EXTENSIBILIDAD DE TORTILLAS ELABORADAS CON HMN MASECA



El menor trabajo se presenta en las tortillas elaboradas con masa congelada con goma, seguido por las congeladas directamente con goma. El *andeva* indica que sí hay diferencia significativa, de acuerdo a Tukey, se observa que las tortillas elaboradas con masa congelada con goma y las tortillas de masa fresca congeladas directamente con goma son las que presentan diferencia significativa con el testigo. Mientras que en todos los demás tratamientos no existe una diferencia significativa con respecto con el testigo.

Distancia de extensión máxima: En cuanto a la distancia de extensión máxima, en la tabla 6.9, se observa que la menor distancia es para la tortilla congelada con goma y la mayor para la testigo. La congelación directa de la tortilla disminuye la distancia de extensión. La menor distancia de extensión fue para la tortilla congelada directamente con goma y la mayor para la testigo. La congelación directa de la tortilla disminuye la distancia que ésta puede extenderse antes de romperse. El análisis estadístico muestra diferencia significativa entre la testigo y las tortillas congeladas directamente con y sin goma, e indica que no es significativa con las tortillas elaboradas con masa congelada con goma

Extensibilidad: La relación entre la distancia de extensión máxima y la fuerza a esta distancia, proporciona una mejor idea de que tan extensible es la tortilla, a este parámetro le llamamos extensibilidad. La mayor extensibilidad se obtuvo para las tortillas elaboradas con masa congelada con goma. De acuerdo a los resultados presentados en la tabla 6.9, se observan cambios en los valores de la extensibilidad, advirtiendo que el empleo de la goma o la congelación directa de la tortilla disminuyen la extensibilidad, y que el empleo de ambas condiciones compensa un poco el efecto de ambos (siendo aun bajo en relación con el testigo). La mayor extensibilidad se obtuvo para las tortillas elaboradas con masa congelada con goma. De acuerdo con Tukey las tortillas elaboradas con masa congelada sin goma y las congeladas directamente con goma, no presentan una diferencia significativa, en relación con el testigo. En todos los demás tratamientos si existe una diferencia significativa con el testigo.

6.5.4 ROLLABILIDAD SUBJETIVA:

En la tabla 6.10 se muestran los valores otorgados en esta prueba, observando que existe una diferencia en las tortillas de las diferentes condiciones.

TABLA 7.10 Valores obtenidos en la prueba de rollabilidad subjetiva de tortillas elaboradas con Harina de Maiz Nixtamalizado (Maseca)*

	Sin congelar Y sin goma	Sin congelar Con goma	Congelar Sin goma	Congelar Con goma	Tort. Elaboradas Con masa congelada Sin goma	Tort. Elaboradas Con masa congelada Con goma
Promedio	4.833	4.833	4.000	4.5	4.333	4.833
Desviación estándar	0.289	0.289	0	0	0.289	0.289
Coef. Variación (%)	5.98	5.98	0	0	6.67	5.98

* La escala utilizada es de 1= inrollable a 5= rollable
Los valores presentados en esta tabla son el promedio de tres repeticiones

Fuente var.	gl	SC	CM	F	P
Entre los grupos	5	1.778	0.356	6.400	0.004
Residual	12	0.667	0.0556		
Total	17	2.444			

Se observa en la tabla 6.10 que la rollabilidad de la tortilla disminuye cuando se congela ya sea la tortilla directa o la masa con la que se elabora la tortilla. En ambos casos la adición de goma mejora la rollabilidad subjetiva. El andeva indica que si hay diferencia en los tratamientos (tabla 6.10.1); y al realizar la prueba de Tukey (Anexo 1), se observó que únicamente en las tortillas congeladas directamente sin goma se tiene diferencia significativa, ya que al momento de enrollar la tortilla ésta presenta rupturas en los bordes de la misma. En todos los demás tratamientos no existe una diferencia significativa. Se sabe que la rollabilidad se encuentra estrechamente relacionada con los cambios químicos que sufre el almidón durante su elaboración, encontrándose que la pérdida de rollabilidad de las tortillas de HMN es ocasionada por la retrogradación del almidón. (por lo que la congelación acentúa a que se presente este fenómeno), por lo que se concluye que las tortillas recién elaboradas sin goma y congeladas, serán las menos rollables, mientras que las elaboradas con masa congelada con goma tienen el mismo valor de rollabilidad subjetiva que las testigo y las elaboradas con masa fresca con goma.

Analizando tanto las elaboradas con masa congelada con y sin goma, se observa que al presentar retrogradación del almidón, ésta se reduce al momento de la descongelación de la masa, en donde se aplica calor y un amasado continuo y que después al elaborar la tortilla se logra gelatinizar los gránulos que aún no han sido gelatinizados.

CONCLUSIONES

Se congelaron tortillas directamente, elaboradas con masa de HMN con y sin la adición de goma methocel y se elaboraron tortillas con masa (con y sin goma) congelada por 48 horas y posteriormente descongelada; con la finalidad de determinar los efectos que en la textura de las tortillas produce la congelación directa de las mismas y la congelación de la masa previa a la elaboración de las tortillas; así como el efecto de la congelación en las propiedades texturales de la masa.

En la prueba de TPA de masa no hubo cambios muy significativos por efecto de la congelación de la goma y de la combinación de ambos tratamientos.

En la prueba de Adhesividad se observó que las masas sin congelar, congelada sin goma y congelada con goma presentan un mayor equilibrio entre las propiedades cohesivas y adhesivas siendo el mayor de éstos el de la masa congelada con goma, reflejándose más adelante, como una masa de mayor facilidad para extruir. La masa congelada sin goma presentó la menor adhesividad total.

En la prueba de extrusión positiva se observó que las masas congeladas son las que menos resistencia oponen a la extrusión, siendo la masa congelada con goma en la que se registra el menor trabajo y resistencia de extrusión.

En la prueba de TPA de tortilla, se observaron cambios muy importantes entre los tratamientos; las tortillas elaboradas con masa congelada con goma son en las que prácticamente se obtiene una gráfica igual a la testigo. En las tortillas elaboradas con masa congelada sin goma se obtiene la menor dureza, gomosidad y masticosidad. Las tortillas congeladas directamente con goma, son las que presentan la mayor dureza, gomosidad y masticosidad. Las tortillas elaboradas con masa congelada con goma, son las que presentan los parámetros texturales más parecidos a las tortillas testigo, siendo todos estadísticamente iguales.

En corte en rollo, se observó que las tortillas elaboradas con masa congelada con goma presentaron la menor resistencia, trabajo y fuerza de corte, y la fuerza máxima de corte se presentó a una mayor distancia. Mientras que las más cercanas al testigo fueron las tortillas sin congelar con goma, las elaboradas con masa congelada sin goma y las tortillas congeladas con goma.

En la prueba de Extensibilidad, el empleo del methocel mejora y conserva las propiedades de extensibilidad, en especial cuando se elaboran las tortillas con masa congelada con goma, proporcionando una tortilla con mayor resistencia a la manipulación (mayor extensibilidad). Los resultados mostraron la misma tendencia que en la prueba de corte, pues las tortillas elaboradas con masa congelada con goma fueron las más extensibles, y que requirieron menos fuerza y trabajo.

En cuanto a la rollabilidad subjetiva, las tortillas elaboradas con masa congelada con goma obtuvieron la calificación más alta, igual a la testigo. Lo anterior indica que las pruebas de extensibilidad y corte son sensibles para proporcionar información sobre la resistencia de la tortilla a la manipulación (doblado, corte, enrollado), operaciones a las que la tortilla está constantemente sujeta durante su consumo (elaboración de tacos, quesadillas, sustituto de cuchara, etc).

El efecto de la congelación por aire en las tortillas congeladas directamente, elaboradas con masa fresca con y sin goma fue significativo. (tortillas mas duras, menos extensibles y rollables), lo cual puede atribuirse a una mayor retrogradación del almidón, durante la congelación.

Los efectos de la congelación en la masa, fueron minimos en los parámetros de TPA, y solo se apreciaron en las características cohesivas/ adhesivas, dando un balance entre estas propiedades, lo que la hace más manejable.

Las pruebas de adhesividad y extrusión de masa proporcionaron información importante relacionada con el manejo de la masa para la elaboración de tortilla, ya sea en forma manual, semiautomática o automatizada y permitieron detectar efectos de la goma, la congelación y la combinación de ambos.

De acuerdo a las condiciones manejadas en tortillas, se encontró que nos conviene más congelar primero la masa (más significativo al utilizar el methocel), y luego elaborar la tortilla, ya que los efectos sufridos en la masa por la congelación son minimos comparados con los que sufre la tortilla al congelarse, volviendo la tortilla más flexible.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1) Martínez Mendoza, Fernando, 1995, "Industrialización del Maíz 1", FIRA Boletín Informativo, año XXVII, XXVIII, (271): 3-36.
- 2) Gómez Aldapa Carlos A., Fernando Martínez Bustos., Juan de Dios Figueroa Cárdenas., Cesar A Ordorica Falomir y Jesús González Hernández.1996, *Cambios en Algunos Componentes Químicos y Nutricionales durante la Preparación de Tortillas de Maíz Elaboradas con Harinas Instantáneas Obtenidas por Extrusión continua*. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 46, (4): 315-319
- 3) Torres Felipe. Ernesto Moreno, Isabel Chong y Juan Quintanilla. 1996, "La Industria de la Masa y la Tortilla". Desarrollo y Tecnología, Méx.
- 4) Rubio Manuel, 1993. *La Industria de la Harina y la Tortilla de Maíz*, Industria alimentaria. Noviembre- Diciembre, 9-19.
- 5) Valentín Solís José, 1996, *Evolución y Expansión de los Mercados de la Tortilla y sus Insumos*, Industria Alimentaria. Noviembre- Diciembre.18,(6); 14-19.
- 6) Almeida D. Helbert y Lloyd W. Rooney. 1996, *Avances en la Manufactura y Calidad de Productos de Maíz Nixtamalizado*, Industria Alimentaria, Noviembre- Diciembre. 18, (6):4-13
- 7) Figueroa C. Juan de Dios., Héctor H. Martínez F., Carlos Gómez A., Marcela Gaytan M., Geronimo Arambula V. y Fernando Martínez B.,1996, *Ventajas Nutricionales y vida de Anaquel de Tortillas Producidas con procesos no convencionales*, NTHE Centro Bajío, (19); 9-16.
- 8) Fernández Sesma L. 1993, "Revisión de la Tecnología del Proceso de Elaboración de la Tortilla de Maíz". Tesis: Ingeniero Químico especialidad en Tecnología de Alimentos, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora.
- 9) Suhendro E.L., H. D. Almeida-Dominguez. L. W. Rooney y R. D. Waniska, 1995, *Evaluation of Functionality of Hydrocolloids, Bran and enzymes for Improvement of corn Tortilla Texture*, cereal Quality Laboratory. Soil & crop Science Department, Texas A&M University. Cereal Foods World, 40, (9).

- 10) López-Lara S., H. E. Martínez F., Juan de Dios Figueroa C., A. Rodríguez V., y F. Martínez B., 1995, *The Effects of Hydrocolloids on Functional Properties of Fresh Masa and Corn Tortillas Obtained by Extrusión Process*. U. A. de C. -Cinvestav I.P.N., Saltillo, Coah. México Cereal Foods World, 40, (9).
- 11) Yau J. C., R. D. Waniska y L. W. Rooney, 1994. *Effects of food Additives on Storage Stability of Corn Tortillas*. Cereal Foods World.,39, (5); 396-401.
- 12) Lous-Alexandre A., I. Bosiger, H.D Almeida-Dominguez y L. W. Rooney, 1995, *Texture Evaluation of Alkaline Cooked Corn Masa using a the Texture Analyzer*". Cereal Quality Laboratory, Texas A&M University. Cereal Foods World.,40, (9)
- 13) Flores Farias Rivelino. 1997. "*Caracterización Físico-Química y Reológica de Harinas Comerciales de Maíz (Zea Mays L) Nixtamalizado*". Tesis: Ingeniero agroindustrial. Universidad Autónoma de Chapingo
- 14) Suhendro E. L., H. D. Almeida-Dominguez., L. W. Rooney y R. D. Waniska, 1998, *Objective Rollability Method for Corn Tortilla Texture Measurement*, Cereal Chemistry, 75, (3); 320-324.
- 15) Flores Arias Rivelino. 1997, "*Caracterización Físico- Química y Reológica de Harinas comerciales de Maíz (Zea mays L) nixtamalizado*", Tesis Ing. Agroindustrial. Universidad Autónoma de Chapingo.
- 16) Lewis J. M. 1993, "*Reología y textura de los sólidos*", Propiedades Físicas de los alimentos y de los sistemas de Procesado. Editorial Acribia, Zaragoza, España; 135-163.
- 17). Almeida H. D - Domínguez., M. Cepeda y L. W. Rooney. 1996. *Properties of Commercial Nixtamalized Corn Flours*, Cereal Foods World, 41, (7); 624-630.
- 18) Figueroa C. J. D. J. González- Hernández, G. Arámbula Villa y E. Morales Sánchez. 1997, *Tecnologías ecológicas para la producción de tortilla*, Avance y Perspectiva, Noviembre-Diciembre. 16.
- 19) Figueroa Cárdenas Juan de Dios, Fernando Martínez Bustos, Jesús González Hernández, Feliciano Sánchez Sinencio, José de la Luz Martínez Montes y Maximiano Ruiz Torres, 1994,

Modernización tecnológica del proceso de nixtamalización, Avance y Perspectiva, Noviembre-Diciembre,13, 323-329

20) Norma oficial Mexicana, *Harina de maíz Nixtamalizado*, NOM-F-46-S-1980, Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial.

21) Casas Alencaster Norma Beatriz y María Eugenia Ramírez Ortiz. 1998, "*Evaluación de la textura de Materiales con maquina Universal de Deformación*", Curso de superación académica. Departamento de Ingeniería y Tecnología sección LEM Alimentos.

22) Lloyd Rooney. W, 1993, *Tortillas y Alimentos Tipo Botana de Maíz Nixtamalizado*, Soyanoticias, Octubre- Diciembre; 1-8.

23) Martínez Mendoza Fernando, 1993, *Industrialización del maíz II*, FIRA Boletín informativo, año XXVII. XXVIII. (274)

24) Rubin Alcala Carolina. 1988, "*Estudio de los Cambios Físicos y Propiedades Reológicas del Maíz durante el proceso de elaboración de la Tortilla*", Tesis de Q. F. B. Universidad la Salle

25) Eliasson Ann-Charlotte y Kare Larsson, 1993, "*Components in Other Cereals*", *Cereals in Breadmaking : A Molecular Colloidal Approach*; 203-233.

26) Foust Alan S. 1960, *Principles of Unit Operations*, congress catalog. Card. Usa,525-530.

27) Hernández Ayala Elí, Zoila Nieto Villalobos y Carmén Durán de Bazúa, 1996, *Determinación del efecto de la nixtamalización y la extrusión alcalina sobre el valor nutritivo en tortillas de maíz y sorgo. parte II: contenido de Triptofano y Niacina*, *Industria Alimentaria*. Mayo- Junio,18, (3).

28) INEGI, "*El sector Alimentario en México edición 1998*".

29) TICK GUMS: For Product success, "*Gums in flour and corn tortillas*", *Product Data Bulletin*.

30) Strauffer C. E, 1993. *Corn masa*, *Baking & Snack*, 15, 35, octubre

- 31) Fellows Peter, 1994, "*Tecnología del procesado de los alimentos: principios y prácticos*", editorial Acribia, España, 331-419
- 32) León Villanúa Fungairiño, 1990, "Alimentos congelados procesado y distribución", Editorial Acribia, Zaragoza, España, 6-22.
- 33) Rodríguez Toral Martha, 1996, "*Evaluación del efecto del empleo de Carboximetil Celulosa de Sodio y dos Tensoactivos en la elaboración de Tortilla de Maíz*", Tesis de Ingeniería en Alimentos, FES- Cuautitlan, UNAM.
- 34) Stanley A. Watson, 1991, "*Structure and Composition*", Corn: Chemistry and Technology, American Association of Cereal Chemistry, INC. Primera edición, Paul Minnesota, USA; 54-79.
- 35) Kent L. N. 1987, "*Tecnología de los Cereales*", Acribia, Zaragoza, España.
- 36) Carl Hosney R, 1991, "*Principios de Ciencia y tecnología de los cereales*", Editorial Acribia, Zaragoza, España.
- 37) Pláscencia González Gil, 1998, "*Comportamiento de maíz pigmentado en la elaboración de Frituras, empleando el método de nixtamalización tradicional y harina instantánea preparada por un proceso hidrotermico*", Tesis Universidad Autónoma de Chapingo, Ingeniería agroindustrial, noviembre
- 38) SAGAR, 1998, "*Situación actual y perspectiva de la producción de maíz en México 1990-1997*", Impreso en los talleres del centro de estadística agropecuaria, noviembre.
- 39) Badui, S. 1991, "*Química de los alimentos*", Editorial Alambra, México, D.F.
- 40) Bourne M. C, 1975, "*Texture Properties and Evaluations of Fabricated Foods*", Fabricated Foods, The Avi publishing company.
- 41) Serna- Saldivar S. O, M. H. Gomez and L. W. Rooney, 1990, "*Technology, Chemistry, and nutritional value of Alkaline-Cookeo corn products*", Pomeranz Y, Advances in Cereal Science and Technology, vol. X.

- 42) Pérez Delgado Adela, 1996, "*Adición de proteínas de Soya al Maíz*". Excelencia en Calidad para Tortillas y Botanas de Maíz y Trigo, Asociación Americana de Soya, primera reedición, Septiembre.
- 43) Lloyd R W, "*Excelencia en Calidad para Tortillas de Maíz: Efecto de la Adición de Proteínas de Soya en la Calidad de las Tortillas*". Reporte de Investigación, Asociación Americana de Soya.
- 44) Sortwell D. 1995, *Tecnología de los ingredientes para las tortillas de Harina de Trigo*, Tecnología de Alimentos, 30, (5); 32-34.
- 45) Orozco Gerardo Ma. Dolores, 1995, "*Caracterización Físico química de la Materia prima. productos intermedios y final de los procesos comerciales para elaborar tortilla de Maíz en México*", Tesis Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora.
- 46) Manual, "*Corn Quality Assurance*", The snack Food Association, Alexandria Virginia.
- 47) Almeida H y L.. W. Rooney, 1997, "*Techniques for testing the physical properties of alkaline cooked corn products*". Cereal Quality Laboratory, Soil and Crops Sciences Department, Texas A y M, University College Station.
- 48) Miranda Lugo Mariana, 1995, "*Estudio cinético del endurecimiento de la tortilla de maíz comercial*". Tesis, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora.
- 49) Da Silva J. A. L and M. A. Rao, 1990, "*Viscolastic properties of hydrocolloid dispersions*", editorial Elsevier Applied Science, 301-310).
- 50) Cal R. and S. D. Arntfield, 1997, "*Thermal Gelation in relation to Binding of Bovine Serum Albumun-Polysaccharide Systems*", Journal of Food Science, 52, (6), 1129-1133.

ANÁLISIS DE VARIANZA Y PRUEBA DE TUKEY
PARAMETROS OBTENIDOS EN MASA DE HMN MASECA

PRUEBA DE ADHESIVIDAD
Fuerza adhesiva (g)

Tabla de Andeva

Fuente var	g.l	SC	CM	F	P
Entre los grupos	3	15977.109	5325.703	2.238	0.161
Residual	8	19035.909	2379.489		
Total	11	35013.018			

La diferencias en los valores medios entre los grupos tratados no son suficientemente grandes a excluir la posibilidad que la diferencia es debido al azar de la variabilidad de la muestra, no hay diferencia estadísticamente significativa

Adhesividad (g.s)

Tabla de Andeva

Fuente var	g.l	SC	CM	F	P
Entre los grupos	3	97.125	32.375	26.313	<0.001
Residual	8	9.843	1.230		
Total	11	106.968			

La diferencia en los valores medios entre los grupos tratados son grandes. Hay una diferencia estadísticamente significativa

Procedimiento de comparación múltiple (Prueba de Tukey)

Comparaciones por factor

Comparación	Dif de medias	p	q	P	P<0.050
Col 2 vs. Col 3	7.943	4	12.403	<0.001	Si
Col 2 vs. Col 1	4.042	4	6.311	0.009	Si
Col 2 vs. Col 4	2.945	4	4.599	0.047	Si
Col 4 vs. Col 3	4.998	4	7.804	0.003	Si
Col 4 vs. Col 1	1.096	4	1.712	0.638	No
Col 1 vs. Col 3	3.901	4	6.092	0.011	Si

Estiramiento (mm)

Tabla de Andeva

Fuente var.	g.l	SC	CM	F	P
Entre los grupos	3	0.0188	0.00625	9.231	0.006
Residual	8	0.00542	0.000677		
Total	11	0.0242			

La diferencias en los valores medios entre los grupos tratados son grandes; Hay una diferencia estadísticamente significativa

Procedimiento de comparación múltiple (Prueba de Tukey):

Comparaciones por factor:

Comparación	Dif de medias	p	q	P	P<0.050
Col 2 vs. Col 3	0.108	4	7.211	0.004	Si
Col 2 vs. Col 4	0.0583	4	3.883	0.095	No
Col 2 vs. Col 1	0.0333	4	2.219	0.445	No cumplir con prueba
Col 1 vs. Col 3	0.0750	4	4.992	0.032	Si
Col 1 vs. Col 4	0.0250	4	1.664	0.657	No cumplir con prueba
Col 4 vs. Col 3	0.0500	4	3.328	0.165	No

Un resultado de *No cumplir con prueba* puede ser tratado como si no hay diferencia significativa entre las medias.

Pegajosidad (g/mm)

Tabla de Andeva

Fuente var.	g.l	SC	CM	F	P
Entre los grupos	3	1702602.917	567534.306	5.174	0.028
Residual	8	877500.563	109687.570		
Total	11	2580103.480			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos tratados son grandes, hay una diferencia estadísticamente significativa

Procedimiento de comparación múltiple (Prueba de Tukey)
Comparaciones por factor

Comparación	Dif de medias	p	q	P	P<0.050
Col 4 vs Col 2	932.951	4	4.879	0.035	Si
Col 4 vs Col 1	902.142	4	4.718	0.042	Si
Col 4 vs Col 3	523.768	4	2.739	0.286	No
Col 3 vs. Col 2	409.182	4	2.140	0.473	No
Col 3 vs. Col 1	378.374	4	1.979	0.533	No cumplir con prueba
Col 1 vs. Col 2	30.808	4	0.161	0.999	No cumplir con prueba

Un resultado de *No cumplir con prueba* puede ser tratado como si no hay diferencia entre las medias.

Área adhesiva (q.s)

Tabla de Andeva

Fuente var	g.l	SC	CM	F	P
Entre los grupos		3.27.960	9.320	11.816	0.003
Residual	8	6.310	0.789		
Total	11	34.270			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos tratados son grandes, hay una diferencia estadísticamente significativa.

Procedimiento de comparaciones múltiples (prueba de Tukey).

Comparaciones por factor

Comparación	Dif de Medias	p	q	P	P<0.050
Col 2 vs Col 3	3.571	4	6.965	0.005	Si
Col 2 vs Col 1	3.343	4	6.520	0.008	Si
Col 2 vs. Col 4	0.976	4	1.903	0.563	No
Col 4 vs Col 3	2.596	4	5.062	0.030	Si
Col 4 vs. Col 1	2.368	4	4.618	0.046	Si
Col 1 vs. Col 3	0.228	4	0.445	0.988	No

Área cohesiva (q.s)

Tabla de Andeva

Fuente var.	g.l	SC	CM	F	P
Entre los grupos		3.33.268	11.089	13.567	0.002
Residual	8	6.539	0.817		
Total	11	1139.808			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos tratados son grandes, Hay una diferencia estadísticamente significativa

Procedimiento de comparaciones múltiple (Prueba de Tukey):

Comparaciones por factor

Comparación	Dif de Medias	p	q	P	P<0.050
Col 2 vs Col 3	4.372	4	8.375	0.002	Si
Col 2 vs Col 4	1.970	4	3.773	0.106	No
Col 2 vs Col 1	0.698	4	1.338	0.782	No cumplir con prueba
Col 1 vs. Col 3	3.673	4	7.037	0.005	Si
Col 1 vs Col 4	1.271	4	2.436	0.373	No cumplir con prueba
Col 4 vs. Col 3	2.402	4	4.602	0.047	Si

Un resultado de *No cumplir con prueba* puede ser tratado como si no hay diferencia entre las medias.

Relación área adhesiva / área cohesiva

Tabla de Andeva

Fuente var.	g.l	SC	CM	F	P
Entre los grupos		3.0.139	0.0462	3.232	0.082
Residual	8	0.114	0.0143		
Total	11	110.253			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos tratados no son suficientemente grandes a excluir la posibilidad que la diferencia es debido al azar de la variabilidad de la muestra, no hay una diferencia estadísticamente significativa.

PRUEBA DE TPA (MASA)

Modulo 1 (g/mm)

Tabla de Andeva

Fuente var	gl	SC	CM	F	P
Entre los grupos	3	11213.227	3737.742	9.627	0.005
Residual	8	3106.167	388.271		
Total	11	14319.395			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos tratados son grandes, hay una diferencia estadísticamente significativa

Procedimiento de comparación múltiple (Prueba de Tukey):

Comparaciones por factor

Comparacion	Dif de Medias	p	q	P	P<0.050
Col 4 vs. Col 3	73.545	4	6.465	0.008	Si
Col 4 vs. Col 1	59.043	4	5.190	0.025	Si
Col 4 vs. Col 2	13.587	4	1.194	0.832	No
Col 2 vs. Col 3	59.958	4	5.270	0.024	Si
Col 2 vs. Col 1	45.456	4	3.996	0.085	No
Col 1 vs. Col 3	14.502	4	1.275	0.805	No

Modulo 2 (g/mm)

Tabla de Andeva

Fuente var	gl	SC	CM	F	P
Entre los grupos	3	906.370	302.123	3.240	0.082
Residual	8	745.903	93.238		
Total	11	1652.273			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos tratados no son suficientemente grandes a excluir la posibilidad que la diferencia es debido al azar de la variabilidad de la muestra, no hay una diferencia estadísticamente significativa

Dureza (g)

Tabla de Andeva

Fuente var.	gl	SC	CM	F	P
Entre los grupos	3	140331.711	46777.237	2.029	0.188
Residual	8	184426.721	23053.340		
Total	11	324758.432			

Las diferencias en los valores medios de los grupos tratados no son suficientemente grandes a excluir la posibilidad que la diferencia es debido al azar de la variabilidad de la muestra, no hay diferencia estadísticamente significativa.

Fuerza adhesiva (g)

Tabla de Andeva

Fuente var.	gl	SC	CM	F	P
Entre los grupos	3	5335.890	1778.630	0.621	0.621
Residual	8	22917.347	2864.668		
Total	11	28253.238			

Las diferencias en los valores medios de los grupos tratados no son suficientemente grandes a excluir la posibilidad que la diferencia es debido al azar de la variabilidad de la muestra, no hay diferencia estadísticamente significativa

Adhesividad (g.s)

Tabla de Andeva

Fuente var.	gl	SC	CM	F	P
Entre los grupos	3	2094.049	698.016	2.866	0.104
Residual	8	1948.712	243.589		
Total	11	4042.762			

Las diferencias en los valores medios de los grupos tratados no son suficientemente grandes a excluir la posibilidad que la diferencia es debido al azar de la variabilidad de la muestra, no hay diferencia estadísticamente significativa.

Indice de elasticidad

Tabla de Andeva

Fuente var.	gl	SC	CM	F	P
Entre los grupos	3	0.000747	0.000249	5.873	0.020
Residual	8	0.000339	0.0000424		
Total	11	0.00109			

Las diferencias en los valores medios de los grupos tratados son grandes, hay una diferencia estadísticamente significativa.

Procedimiento de comparaciones múltiples (Prueba de Tukey):

Comparaciones por factor:

Comparacion	Dif de Medias	p	q	P	P<0.050
Col 4 vs Col 3	0.0183	4	4.876	0.036	Si
Col 4 vs Col 2	0.0183	4	4.876	0.036	Si
Col 4 vs Col 1	0.0180	4	4.787	0.039	Si
Col 1 vs Col 3	0.000333	4	0.0886	1.000	No
Col 1 vs Col 2	0.000333	4	0.0886	1.000	No cumplir con prueba
Col 2 vs Col 3	0.000	4	0.000	1.000	No cumplir con prueba

Un resultado de *No cumplir con prueba* puede ser tratado como si no hay diferencia entre las medias.

Cohesividad

Tabla de Andeva

Fuente var	g.l	SC	CM	F	P
Entre los grupos	3	0.000270	0.0000901	0.816	0.520
Residual	8	0.000883	0.000110		
Total	11	0.00115			

Las diferencias en los valores medios de los grupos tratados no son suficientemente grandes a excluir la posibilidad que la diferencia es debido al azar de la variabilidad de la muestra, no hay diferencia estadísticamente significativa.

Gomosis (g)

Tabla de Andeva

Fuente var.	g.l	SC	CM	F	P
Entre los grupos	3	3181.995	1060.665	0.925	0.472
Residual	8	9178.187	1147.273		
Total	11	12360.182			

Las diferencias en los valores medios de los grupos tratados no son suficientemente grandes a excluir la posibilidad que la diferencia es debido al azar de la variabilidad de la muestra, no hay diferencia estadísticamente significativa.

Masticosidad (g)

Tabla de Andeva

Fuente var	g.l	SC	CM	F	P
Entre los grupos	3	462.215	154.072	1.821	0.221
Residual	8	676.729	84.591		
Total	11	1138.945			

Las diferencias en los valores medios de los grupos tratados no son suficientemente grandes a excluir la posibilidad que la diferencia es debido al azar de la variabilidad de la muestra, no hay diferencia estadísticamente significativa.

PRUEBA DE EXTRUSIÓN POSITIVA

Fuerza de extrusión (Kgf)

Tabla de Andeva

Fuente var.	g.l	SC	CM	F	P
Entre los grupos	3	0.260	0.0868	63.546	<0.001
Residual	8	0.0109	0.00137		
Total	11	0.271			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos tratados son grandes, hay una diferencia estadísticamente significativa.

Procedimiento de comparaciones múltiple (Prueba de Tukey):

Comparaciones por factor:

Comparacion	Dif de Medias	p	q	P	P<0.050
Col 1 vs Col 3	0.332	4	15.555	<0.001	Si
Col 1 vs Col 4	0.322	4	15.104	<0.001	Si
Col 1 vs Col 2	0.0747	4	3.499	0.139	No
Col 2 vs Col 3	0.257	4	12.056	<0.001	Si
Col 2 vs Col 4	0.248	4	11.605	<0.001	Si
Col 4 vs Col 3	0.00963	4	0.451	0.988	No

Trabajo de compresión (kgf.mm)

Tabla de Andeva

Fuente var	g l	S C	C M	F	P
Entre los grupos	3	0.277	0.0922	19.526	<0.001
Residual	8	0.0378	0.00472		
Total	11	0.314			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos tratados son grandes, hay una diferencia estadísticamente significativa.

Procedimiento de comparaciones Múltiples (Prueba de Tukey).

Comparaciones por factor

Comparación	Dif de Medias	p	q	P	P<0.050
Col 2 vs Col 3	0.399	4	10.051	<0.001	Si
Col 2 vs Col 4	0.234	4	5.903	0.013	Si
Col 2 vs Col 1	0.0851	4	2.145	0.472	No
Col 1 vs Col 3	0.314	4	7.906	0.002	Si
Col 1 vs Col 4	0.149	4	3.758	0.108	No
Col 4 vs Col 3	0.165	4	4.148	0.073	No

Resistencia a la compresión (kgf/mm)

Tabla de Andeva

Fuente var	g l	S C	C M	F	P
Entre los grupos	3	0.00000264	0.000000881	3.082	0.090
Residual	8	0.00000229	0.000000286		
Total	11	0.00000493			

Las diferencias en los valores medios de los grupos tratados no son suficientemente grandes a excluir la posibilidad que la diferencia es debido al azar de la variabilidad de la muestra, no hay diferencia estadísticamente significativa

Trabajo de extrusión (kgf.mm)

Tabla de Andeva

Fuente var.	g l	S C	C M	F	P
Entre los grupos	3	11.583	3.861	12.242	0.002
Residual	8	2.523	0.315		
Total	11	14.107			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos tratados son grandes, Hay una diferencia estadísticamente diferente

Procedimiento de comparaciones Múltiples (Prueba de Tukey):

Comparaciones por factor:

Comparación	Dif de Medias	p	q	P	P<0.050
Col 1 vs Col 4	2.744	4	8.462	0.002	Si
Col 1 vs Col 3	1.648	4	5.083	0.029	Si
Col 1 vs Col 2	1.215	4	3.747	0.109	No
Col 2 vs Col 4	1.529	4	4.714	0.042	Si
Col 2 vs Col 3	0.433	4	1.335	0.783	No
Col 3 vs Col 4	1.096	4	3.379	0.157	No

Resistencia a la extrusión (kgf/mm)

Tabla de Andeva

Fuente var.	g l	S C	C M	F	P
Entre los grupos	3	0.0304	0.0101	7.504	0.010
Residual	8	0.0108	0.00135		
Total	11	0.0412			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos tratados son grandes, hay una diferencia estadísticamente significativa.

Procedimiento de Comparaciones Múltiples (Prueba de Tukey):

Comparaciones por factor:

Comparación	Dif de Medias	p	q	P	P<0.050
Col 1 vs Col 4	0.125	4	5.906	0.013	Si
Col 1 vs Col 3	0.0361	4	1.699	0.643	No
Col 1 vs Col 2	0.00467	4	0.220	0.999	No cumplir con prueba
Col 2 vs Col 4	0.121	4	5.687	0.016	Si
Col 2 vs Col 3	0.0314	4	1.479	0.729	No cumplir con prueba
Col 3 vs Col 4	0.0893	4	4.207	0.069	No

Un resultado de *No cumplir con prueba* puede ser tratado como si no hay diferencia entre las medias

PARAMETROS OBTENIDOS DE TORTILLAS DE HMN MASECA

TPA (TORTILLAS)

Modulo 1 (g/mm)

Tabla de Andeva

Fuente var	gl	SC	CM	F	P
Entre los grupos	5	6191.303	1238.261	30.607	<0.001
Residual	12	485.485	40.457		
Total	17	6676.789			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos tratados son grandes. Hay una diferencia estadística significativa

Procedimiento de Comparaciones Múltiples (prueba de Tukey):

Comparaciones por factor:

Comparación	Dif de Medias	p	q	P	P<0.050
Col 4 vs. Col 5	52.300	6	14.242	<0.001	Si
Col 4 vs. Col 2	6.398	6	1.742	0.814	No
Col 4 vs. Col 3	3.953	6	1.076	0.969	No cumplir con prueba
Col 4 vs. Col 1	2.124	6	0.578	0.998	No cumplir con prueba
Col 4 vs. Col 6	1.646	6	0.448	0.999	No cumplir con prueba
Col 6 vs. Col 5	50.653	6	13.793	<0.001	Si
Col 6 vs. Col 2	4.749	6	1.293	0.935	No cumplir con prueba
Col 6 vs. Col 3	2.307	6	0.628	0.997	No cumplir con prueba
Col 6 vs. Col 1	0.478	6	0.130	1.000	No cumplir con prueba
Col 1 vs. Col 5	50.176	6	13.663	<0.001	Si
Col 1 vs. Col 2	4.272	6	1.163	0.958	No cumplir con prueba
Col 1 vs. Col 3	1.829	6	0.498	0.999	No cumplir con prueba
Col 3 vs. Col 5	48.347	6	13.165	<0.001	Si
Col 3 vs. Col 2	2.443	6	0.665	0.996	No cumplir con prueba
Col 2 vs. Col 5	45.904	6	12.500	<0.001	Si

Un resultado con *No cumplir con prueba* puede ser tratado como si no hay diferencia entre las medias.

Modulo 2 (g/mm)

Tabla de Andeva

Fuente var.	gl	SC	CM	F	P
Entre los grupos	5	1689072.911	337814.582	53.530	<0.001
Residual	12	75728.981	6310.748		
Total	17	1764801.892			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos tratados son grandes. Hay una diferencia estadística significativa

Procedimiento de Comparaciones Múltiples (Prueba de Tukey):

Comparaciones por factor:

Comparación	Dif de Medias	p	q	P	P<0.050
Col 4 vs. Col 5	895.494	6	19.525	<0.001	Si
Col 4 vs. Col 1	517.503	6	11.283	<0.001	Si
Col 4 vs. Col 6	513.519	6	11.196	<0.001	Si
Col 4 vs. Col 3	331.375	6	7.225	0.003	Si
Col 4 vs. Col 2	42.567	6	0.928	0.984	No
Col 2 vs. Col 5	852.927	6	18.597	<0.001	Si
Col 2 vs. Col 1	474.936	6	10.355	<0.001	Si
Col 2 vs. Col 6	470.952	6	10.268	<0.001	Si
Col 2 vs. Col 3	288.808	6	6.297	0.008	Si
Col 3 vs. Col 5	564.119	6	12.300	<0.001	Si
Col 3 vs. Col 1	186.128	6	4.058	0.112	No
Col 3 vs. Col 6	182.144	6	3.971	0.123	No cumplir con prueba
Col 6 vs. Col 5	381.975	6	8.328	<0.001	Si
Col 6 vs. Col 1	3.984	6	0.0869	1.000	No cumplir con prueba
Col 1 vs. Col 5	377.991	6	8.241	0.001	Si

Un resultado con *No cumplir con prueba* puede ser tratado como si no hay diferencia entre las medias.

Dureza (g)

Tabla de Andeva

Fuente var	g.l	SC	CM	F	P
Entre los grupos	5	57364417.435	11472883.487	45.796	<0.001
Residual	12	3006278.163	250523.180		
Total	17	60370695.598			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos tratados son grandes. Hay una diferencia estadística significativa.

Procedimiento de Comparaciones Múltiples (Prueba de Tukey)
Comparaciones por factor

Comparación	Dif de Medias	p	q	P	P<0.050
Col 4 vs. Col 5	5527.317	6	19.127	<0.001	Si
Col 4 vs. Col 6	3214.795	6	11.125	<0.001	Si
Col 4 vs. Col 1	3145.148	6	10.884	<0.001	Si
Col 4 vs. Col 3	2136.179	6	7.392	0.002	Si
Col 4 vs. Col 2	872.389	6	3.019	0.333	No
Col 2 vs. Col 5	4654.928	6	16.108	<0.001	Si
Col 2 vs. Col 6	2342.406	6	8.106	0.001	Si
Col 2 vs. Col 1	2272.759	6	7.865	0.001	Si
Col 2 vs. Col 3	1263.790	6	4.373	0.078	No
Col 3 vs. Col 5	3391.139	6	11.735	<0.001	Si
Col 3 vs. Col 6	1078.616	6	3.733	0.161	No
Col 3 vs. Col 1	1008.969	6	3.492	0.208	No cumplir con prueba
Col 1 vs. Col 5	2382.169	6	8.243	0.001	Si
Col 1 vs. Col 6	69.647	6	0.241	1.000	No cumplir con prueba
Col 6 vs. Col 5	2312.523	6	8.002	0.001	Si

Un resultado con *No cumplir con prueba* puede ser tratado como si no hay diferencia entre las medias.

Indice de elasticidad

Tabla de Andeva

Fuente var	g.l	SC	CM	F	P
Entre los grupos	5	0.00730	0.00146	1.109	0.405
Residual	12	0.0158	0.00132		
Total	17	0.0231			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos tratados no son suficientemente grande a excluir la posibilidad que la diferencia es debido al azar de la variabilidad de la muestra, no hay diferencia estadísticamente significativa.

Cohesividad

Tabla de Andeva

Fuente var.	g.l	SC	CM	F	P
Entre los grupos	5	0.0156	0.00313	25.003	<0.001
Residual	12	0.00150	0.000125		
Total	17	0.0171			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos tratados son grandes, hay una diferencia estadísticamente significativa.

Procedimiento de Comparaciones Múltiples (Prueba de Tukey):
Comparaciones por factor:

Comparación	Dif de Medias	p	q	P	P<0.050
Col 5 vs. Col 2	0.0937	6	14.501	<0.001	Si
Col 5 vs. Col 1	0.0597	6	9.237	<0.001	Si
Col 5 vs. Col 3	0.0333	6	5.161	0.031	Si
Col 5 vs. Col 6	0.0300	6	4.644	0.057	No
Col 5 vs. Col 4	0.0257	6	3.974	0.123	No cumplir con prueba
Col 4 vs. Col 2	0.0680	6	10.527	<0.001	Si
Col 4 vs. Col 1	0.0340	6	5.264	0.027	Si
Col 4 vs. Col 3	0.00767	6	1.187	0.954	No
Col 4 vs. Col 6	0.00433	6	0.671	0.996	No cumplir con prueba
Col 6 vs. Col 2	0.0637	6	9.857	<0.001	Si
Col 6 vs. Col 1	0.0297	6	4.593	0.060	No
Col 6 vs. Col 3	0.00333	6	0.516	0.999	No cumplir con prueba
Col 3 vs. Col 2	0.0603	6	9.341	<0.001	Si

Col 3 vs Col 1	0.0263	6	4.077	0.110	No cumplir con prueba
Col 1 vs Col 2	0.0340	6	5.264	0.027	Si

Un resultado con *No cumplir con prueba* puede ser tratado como si no hay diferencia entre las medias **Gomosidad (g)**

Tabla de Andeva

Fuente var.	gl	SC	CM	F	P
Entre los grupos	5	19740838.236	3948167.647	38.396	<0.001
Residual	12	1233937.360	102828.113		
Total	17	20974775.596			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos tratados son grandes, hay una diferencia estadísticamente significativa.

Procedimiento de Comparaciones Múltiples (Prueba de Tukey):

Comparaciones por factor:

Comparación	Dif de Medias	p	q	P	P<0.050
Col 4 vs. Col 5	3400.777	6	18.369	<0.001	Si
Col 4 vs. Col 1	2187.647	6	11.816	<0.001	Si
Col 4 vs. Col 6	2052.535	6	11.087	<0.001	Si
Col 4 vs. Col 3	1402.552	6	7.576	0.002	Si
Col 4 vs. Col 2	1110.565	5	5.999	0.011	Si
Col 2 vs. Col 5	2290.212	6	12.370	<0.001	Si
Col 2 vs. Col 1	1077.082	6	5.818	0.014	Si
Col 2 vs. Col 6	941.970	6	5.088	0.034	Si
Col 2 vs. Col 3	291.988	6	1.577	0.866	No
Col 3 vs. Col 5	1998.224	6	10.793	<0.001	Si
Col 3 vs. Col 1	785.095	6	4.241	0.091	No
Col 3 vs. Col 6	649.983	6	3.511	0.204	No cumplir con prueba
Col 6 vs. Col 5	1348.242	6	7.282	0.003	Si
Col 6 vs. Col 1	135.112	6	0.730	0.994	No cumplir con prueba
Col 1 vs. Col 5	1213.130	6	6.553	0.006	Si

Un resultado con *No cumplir con prueba* puede ser tratado como si no hay diferencia entre las medias **Masticosidad (g)**

Tabla de Andeva

Fuente var.	gl	SC	CM	F	P
Entre los grupos	5	7267054.113	1453410.823	31.315	<0.001
Residual	12	556951.204	46412.600		
Total	17	7824005.318			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos tratados son grandes, Hay una diferencia estadísticamente significativa

Procedimiento de Comparaciones Múltiples (Prueba de Tukey):

Comparaciones por factor:

Comparación	Dif de Medias	p	q	P	P<0.050
Col 4 vs. Col 5	2088.562	6	16.792	<0.001	Si
Col 4 vs. Col 1	1501.515	6	12.072	<0.001	Si
Col 4 vs. Col 6	1308.780	6	10.522	<0.001	Si
Col 4 vs. Col 2	1017.116	6	8.177	0.001	Si
Col 4 vs. Col 3	919.310	6	7.391	0.002	Si
Col 3 vs. Col 5	1169.252	6	9.400	<0.001	Si
Col 3 vs. Col 1	582.205	6	4.681	0.054	No
Col 3 vs. Col 6	389.470	6	3.131	0.299	No cumplir con prueba
Col 3 vs. Col 2	97.806	6	0.786	0.992	No cumplir con prueba
Col 2 vs. Col 5	1071.446	6	8.614	<0.001	Si
Col 2 vs. Col 1	484.399	6	3.894	0.134	No cumplir con prueba
Col 2 vs. Col 6	291.664	6	2.345	0.580	No cumplir con prueba
Col 6 vs. Col 5	779.782	6	6.269	0.008	Si
Col 6 vs. Col 1	192.735	6	1.550	0.874	No cumplir con prueba
Col 1 vs. Col 5	587.047	6	4.720	0.052	No

Un resultado con *No cumplir con prueba* puede ser tratado como si no hay diferencia entre las medias

CORTE EN ROLLO (TORTILLA)

Modulo 1 (g/mm)

Tabla de Andeva

Fuente var	g.l	SC	CM	F	P
Entre los grupos	5	4279.968	855.994	39.782	<0.001
Residual	12	258.206	21.517		
Total	17	4538.174			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos tratados son grandes, hay diferencia estadísticamente significativa.

Procedimientos de Comparaciones Múltiples (Prueba de Tukey)

Comparaciones por factor:

Comparación	Dif de Medias	p	q	P	P<0.050
Col 1 vs. Col 2	43.717	6	16.324	<0.001	Si
Col 1 vs. Col 6	29.424	6	10.987	<0.001	Si
Col 1 vs. Col 5	26.981	6	10.074	<0.001	Si
Col 1 vs. Col 3	22.647	6	8.456	<0.001	Si
Col 1 vs. Col 4	2.016	6	0.753	0.994	No
Col 4 vs. Col 2	41.701	6	15.571	<0.001	Si
Col 4 vs. Col 6	27.409	6	10.234	<0.001	Si
Col 4 vs. Col 5	24.965	6	9.322	<0.001	Si
Col 4 vs. Col 3	20.631	6	7.704	0.002	Si
Col 3 vs. Col 2	21.070	6	7.867	0.001	Si
Col 3 vs. Col 6	6.777	6	2.531	0.506	No
Col 3 vs. Col 5	4.334	6	1.618	0.854	No cumplir con prueba
Col 5 vs. Col 2	16.736	6	6.249	0.008	Si
Col 5 vs. Col 6	2.444	6	0.912	0.985	No Cumplir con prueba
Col 6 vs. Col 2	14.292	6	5.337	0.025	Si

Un resultado con No cumplir con prueba puede ser tratado como si no hay diferencia entre las medias.

Modulo 2 (g/mm)

Tabla de andeva

Fuente var	g.l	SC	CM	F	P
Entre los grupos	5	91134.463	18226.893	33.068	<0.001
Residual	12	6614.279	551.190		
Total	17	97748.742			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos tratados son grandes, hay diferencia estadísticamente significativa.

Procedimiento de comparaciones Múltiples (Prueba de Tukey):

Comparaciones por factor:

Comparación	Dif de Medias	p	q	P	P<0.050
Col 3 vs. Col 6	233.350	6	17.215	<0.001	Si
Col 3 vs. Col 5	174.775	6	12.894	<0.001	Si
Col 3 vs. Col 1	160.509	6	11.842	<0.001	Si
Col 3 vs. Col 4	152.247	6	11.232	<0.001	Si
Col 3 vs. Col 2	123.067	6	9.079	<0.001	Si
Col 2 vs. Col 6	110.283	6	8.136	0.001	Si
Col 2 vs. Col 5	51.708	6	3.815	0.147	No
Col 2 vs. Col 1	37.442	6	2.762	0.419	No cumplir con prueba
Col 2 vs. Col 4	29.180	6	2.153	0.658	No cumplir con prueba
Col 4 vs. Col 6	81.103	6	5.983	0.012	Si
Col 4 vs. Col 5	22.528	6	1.662	0.840	No cumplir con prueba
Col 4 vs. Col 1	8.262	6	0.610	0.998	No cumplir con prueba
Col 1 vs. Col 6	72.841	6	5.374	0.024	Si
Col 1 vs. Col 5	14.236	6	1.052	0.972	No cumplir con prueba
Col 5 vs. Col 6	58.575	6	4.321	0.083	No

Un resultado con No cumplir con prueba puede ser tratado como si no hay diferencia entre las medias.

Fuerza máxima de corte (g)

Tabla de Andeva

Fuente var	g l	S C	C M	F	P
Entre los grupos	5	4130725.678	826145.136	21.721	<0.001
Residual	12	456413.295	38034.441		
Total	17	4587138.973			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos tratados son grandes, hay una diferencia estadísticamente significativa

Procedimiento de comparaciones Múltiples (Prueba de Tukey):

Comparaciones por factor

Comparacion	Dif de Medias	p	q	P	P<0.050
Col 3 vs Col 6	1489.752	6	13.231	<0.001	Si
Col 3 vs Col 4	1239.667	6	11.010	<0.001	Si
Col 3 vs Col 5	1206.655	6	10.717	<0.001	Si
Col 3 vs Col 2	1174.096	6	10.427	<0.001	Si
Col 3 vs Col 1	1126.091	6	10.001	<0.001	Si
Col 1 vs Col 6	363.661	6	3.230	0.272	No
Col 1 vs Col 4	113.576	6	1.009	0.977	No cumplir con prueba
Col 1 vs Col 5	80.565	6	0.716	0.995	No cumplir con prueba
Col 1 vs Col 2	48.005	6	0.426	1.000	No cumplir con prueba
Col 2 vs Col 6	315.656	6	2.803	0.404	No cumplir con prueba
Col 2 vs Col 4	65.571	6	0.582	0.998	No cumplir con prueba
Col 2 vs Col 5	32.560	6	0.289	1.000	No cumplir con prueba
Col 5 vs Col 6	283.097	6	2.514	0.513	No cumplir con prueba
Col 5 vs Col 4	33.011	6	0.293	1.000	No cumplir con prueba
Col 4 vs Col 6	250.085	6	2.221	0.630	No cumplir con prueba

Un resultado con *No cumplir con prueba* puede ser tratado como si no hay diferencia entre las medias.

Trabajo de corte total (g.s)

Tabla de Andeva

Fuente var	g l	S C	C M	F	P
Entre los grupos	5	42274491.197	8454898.239	47.872	<0.001
Residual	12	2119368.418	176614.035		
Total	17	44393859.615			

Las diferencias en los valores medios de los grupos tratados son grandes, hay una diferencia estadísticamente significativa

Procedimiento de Comparaciones Múltiples (Prueba de Tukey):

Comparaciones por factor:

Comparacion	Dif de Medias	p	q	P	P<0.050
Col 3 vs. Col 6	4855.622	6	20.012	<0.001	Si
Col 3 vs Col 5	3945.880	6	16.263	<0.001	Si
Col 3 vs. Col 2	3889.043	6	16.028	<0.001	Si
Col 3 vs Col 4	3467.897	6	14.293	<0.001	Si
Col 3 vs. Col 1	3354.392	6	13.825	<0.001	Si
Col 1 vs. Col 6	1501.230	6	6.187	0.009	Si
Col 1 vs. Col 5	591.488	6	2.438	0.543	No
Col 1 vs. Col 2	534.651	6	2.204	0.638	No cumplir con prueba
Col 1 vs. Col 4	113.505	6	0.468	0.999	No cumplir con prueba
Col 4 vs Col 6	1387.725	6	5.719	0.016	Si
Col 4 vs. Col 5	477.983	6	1.970	0.731	No cumplir con prueba
Col 4 vs. Col 2	421.145	6	1.736	0.816	No cumplir con prueba
Col 2 vs. Col 6	966.580	6	3.984	0.122	No
Col 2 vs. Col 5	56.837	6	0.234	1.000	No cumplir con prueba
Col 5 vs Col 6	909.742	6	3.749	0.158	No cumplir con prueba

Un resultado con *No cumplir con prueba* puede ser tratado como si no hay diferencia entre las medias.

PRUEBA DE EXTENSIBILIDAD

Modulo1 (g/mm)

Tabla de Andeva

Fuente var	g.l	SC	CM	F	P
Entre los grupos	5	351.259	70.252	41.307	<0.001
Residual	12	20.409	1.701		
Total	17	371.668			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos tratados son grandes, hay una diferencia estadísticamente significativa

Procedimiento de Comparaciones Múltiple (Prueba de Tukey).

Comparaciones por factor

Comparación	Dif de Medias	p	q	P	P<0.050
Col 3 vs Col 6	12.450	6	16.535	<0.001	Si
Col 3 vs. Col 1	10.474	6	13.911	<0.001	Si
Col 3 vs. Col 5	9.284	6	12.330	<0.001	Si
Col 3 vs. Col 2	6.374	6	8.466	<0.001	Si
Col 3 vs Col 4	2.431	6	3.229	0.272	No
Col 4 vs Col 6	10.018	6	13.306	<0.001	Si
Col 4 vs Col 1	8.043	6	10.682	<0.001	Si
Col 4 vs Col 5	6.853	6	9.101	<0.001	Si
Col 4 vs. Col 2	3.943	6	5.236	0.028	Si
Col 2 vs Col 6	6.076	6	8.069	0.001	Si
Col 2 vs Col 1	4.100	6	5.445	0.022	Si
Col 2 vs. Col 5	2.910	6	3.865	0.139	No
Col 5 vs Col 6	3.166	6	4.204	0.095	No
Col 5 vs. Col 1	1.190	6	1.580	0.865	No cumplir con prueba
Col 1 vs. Col 6	1.976	6	2.624	0.470	No cumplir con prueba

Un resultado de *No cumplir con prueba* puede ser tratado como si no hay diferencia entre las medias.

Modulo 2 (g/mm)

Tabla de Andeva

Fuente var.	g.l	SC	CM	F	P
Entre los grupos	5	1945.234	389.047	56.223	<0.001
Residual	12	83.036	6.920		
Total	17	2028.270			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos tratados son grandes, hay una diferencia estadísticamente significativa

Procedimiento de comparaciones Múltiples (Prueba de Tukey):

Comparaciones por factor.

Comparación	Dif de Medias	p	q	P	P<0.050
Col 3 vs. Col 6	32.572	6	21.447	<0.001	Si
Col 3 vs. Col 1	20.695	6	13.626	<0.001	Si
Col 3 vs. Col 5	19.541	6	12.866	<0.001	Si
Col 3 vs. Col 2	11.047	6	7.274	0.003	Si
Col 3 vs. Col 4	8.170	6	5.379	0.024	Si
Col 4 vs. Col 6	24.402	6	16.067	<0.001	Si
Col 4 vs. Col 1	12.525	6	8.247	<0.001	Si
Col 4 vs. Col 5	11.371	6	7.487	0.002	Si
Col 4 vs. Col 2	2.877	6	1.895	0.759	No
Col 2 vs. Col 6	21.525	6	14.173	<0.001	Si
Col 2 vs. Col 1	9.647	6	6.352	0.008	Si
Col 2 vs. Col 5	8.493	6	5.592	0.018	Si
Col 5 vs. Col 6	13.031	6	8.580	<0.001	Si
Col 5 vs. Col 1	1.154	6	0.760	0.993	No
Col 1 vs Col 6	11.877	6	7.821	0.002	Si

Fuerza de extensión máxima (g)

Tabla de Andeva

Fuente var	gl	SC	CM	F	P
Entre los grupos	5	128439.191	25687.838	24.314	<0.001
Residual	12	12678.006	1056.500		
Total	17	141117.197			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos tratados son grandes, hay una diferencia estadísticamente significativa

Procedimientos de Comparaciones Múltiple (Prueba de Tukey)

Comparaciones por factor

Comparación	Dif de Medias	p	q	P	P<0.050
Col 3 vs. Col 6	285.297	6	15.203	<0.001	Si
Col 3 vs. Col 4	130.648	6	6.962	0.004	Si
Col 3 vs. Col 1	116.323	6	6.199	0.009	Si
Col 3 vs. Col 5	100.995	6	5.382	0.024	Si
Col 3 vs. Col 2	95.225	6	5.074	0.034	Si
Col 2 vs. Col 6	190.072	6	10.128	<0.001	Si
Col 2 vs. Col 4	35.422	6	1.888	0.762	No
Col 2 vs. Col 1	21.098	6	1.124	0.963	No cumplir con prueba
Col 2 vs. Col 5	5.770	6	0.307	1.000	No cumplir con prueba
Col 5 vs. Col 6	184.302	6	9.821	<0.001	Si
Col 5 vs. Col 4	29.653	6	1.580	0.865	No cumplir con prueba
Col 5 vs. Col 1	15.328	6	0.817	0.991	No cumplir con prueba
Col 1 vs. Col 6	168.974	6	9.004	<0.001	Si
Col 1 vs. Col 4	14.324	6	0.763	0.993	No cumplir con prueba
Col 4 vs. Col 6	154.650	6	8.241	0.001	Si

Un resultado de *No cumplir con la prueba* puede ser tratado como si no hay diferencia entre las medias

Trabajo de extensión ruptura total (g.s)

Tabla de Andeva

Fuente var	gl	SC	CM	F	P
Entre los grupos	5	1549808.730	309961.746	36.775	<0.001
Residual	12	101142.204	8428.517		
Total	17	1650950.934			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos tratados son grandes, hay una diferencia estadísticamente significativa

Procedimiento de Comparación Múltiple (Prueba de Tukey):

Comparaciones por factor

Comparación	Dif de Medias	p	q	P	P<0.050
Col 3 vs. Col 6	766.438	6	14.460	<0.001	Si
Col 3 vs. Col 4	565.112	6	10.662	<0.001	Si
Col 3 vs. Col 2	270.991	6	5.113	0.033	Si
Col 3 vs. Col 1	62.371	6	1.177	0.956	No
Col 3 vs. Col 5	10.087	6	0.190	1.000	No cumplir con prueba
Col 5 vs. Col 6	756.351	6	14.269	<0.001	Si
Col 5 vs. Col 4	555.025	6	10.471	<0.001	Si
Col 5 vs. Col 2	260.904	6	4.922	0.041	Si
Col 5 vs. Col 1	52.284	6	0.986	0.979	No cumplir con prueba
Col 1 vs. Col 6	704.066	6	13.283	<0.001	Si
Col 1 vs. Col 4	502.741	6	9.485	<0.001	Si
Col 1 vs. Col 2	208.619	6	3.936	0.128	No
Col 2 vs. Col 6	495.447	6	9.347	<0.001	Si
Col 2 vs. Col 4	294.122	6	5.549	0.019	Si
Col 4 vs. Col 6	201.325	6	3.798	0.150	No

Un resultado de *No cumplir con la prueba* puede ser tratado como si no hay diferencia entre las medias

Distancia de extensión máxima (mm)

Tabla de Andeva

Fuente var	gl	SC	CM	F	P
Entre los grupos	5	37.858	7.572	17.276	<0.001
Residual	12	5.259	0.438		
Total	17	43.118			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos tratados son grandes, hay diferencia estadísticamente significativa

Procedimiento de comparaciones Múltiple (Tukey Test)
Comparaciones por factor

Comparacion	Dif de Medias	p	q	P	P<0.050
Col 1 vs Col 4	4.139	6	10.829	<0.001	Si
Col 1 vs Col 3	2.698	6	7.059	0.003	Si
Col 1 vs Col 6	1.770	6	4.631	0.058	No
Col 1 vs Col 2	0.818	6	2.141	0.663	No cumplir con prueba
Col 1 vs Col 5	0.270	6	0.706	0.995	No cumplir con prueba
Col 5 vs Col 4	3.869	6	10.122	<0.001	Si
Col 5 vs Col 3	2.428	6	6.352	0.008	Si
Col 5 vs Col 6	1.500	6	3.924	0.130	No cumplir con prueba
Col 5 vs Col 2	0.548	6	1.435	0.904	No cumplir con prueba
Col 2 vs Col 4	3.321	6	8.688	<0.001	Si
Col 2 vs Col 3	1.880	6	4.918	0.041	Si
Col 2 vs Col 6	0.952	6	2.490	0.522	No cumplir con prueba
Col 6 vs Col 4	2.359	6	6.198	0.009	Si
Col 6 vs Col 3	0.928	6	2.428	0.547	No
Col 3 vs Col 4	1.441	6	3.770	0.154	No

Un resultado con *No cumplir con prueba* puede ser tratado como si no hay diferencia entre las medias

Extensibilidad de tortillas (mm/g)

Tabla de Andeva

Fuente var	g.l	S.C	C.M	F	P
Entre los grupos	5	0.000982	0.000196	53.684	<0.001
Residual	12	0.0000439	0.00000366		
Total	17	0.00103			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos tratados son grandes, hay una diferencia estadísticamente significativa

Procedimiento de Comparación Múltiple (Prueba de Tukey):
Comparaciones por factor

Comparacion	Dif De Medias	p	q	P	P<0.050
Col 6 vs Col 3	0.0232	6	20.970	<0.001	Si
Col 6 vs Col 4	0.0205	6	18.534	<0.001	Si
Col 6 vs Col 2	0.0153	6	13.855	<0.001	Si
Col 6 vs Col 5	0.0138	6	12.527	<0.001	Si
Col 6 vs Col 1	0.0120	6	10.861	<0.001	Si
Col 1 vs Col 3	0.0112	6	10.109	<0.001	Si
Col 1 vs Col 4	0.00847	6	7.673	0.002	Si
Col 1 vs Col 2	0.00331	6	2.994	0.340	No
Col 1 vs Col 5	0.00184	6	1.666	0.839	No cumplir con prueba
Col 5 vs Col 3	0.00932	6	8.443	<0.001	Si
Col 5 vs Col 4	0.00663	6	6.007	0.011	Si
Col 5 vs Col 2	0.00147	6	1.328	0.928	No cumplir con prueba
Col 2 vs Col 3	0.00786	6	7.115	0.003	Si
Col 2 vs Col 4	0.00517	6	4.679	0.054	No
Col 4 vs Col 3	0.00269	6	2.436	0.543	No

Un resultado con *No cumplir con prueba* puede ser tratado como si no hay diferencia entre las medias.

ROLLABILIDAD DE TORTILLA (SUBJETIVA)

Tabla de Andeva

Fuente var	g.l	S.C	C.M	F	P
Entre los grupos	5	1.778	0.356	6.400	0.004
Residual	12	0.667	0.0556		
Total	17	2.444			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos tratados son grandes, hay una diferencia estadísticamente significativa.

Procedimiento de Comparación Múltiple (Prueba de Tukey)

Comparaciones por factor

Comparacion	Dif. de Medias	p	q	P	P<0.050
Col 1 vs. Col 3	0.833	6	6.124	0.010	Si
Col 1 vs. Col 5	0.500	6	3.674	0.171	No
Col 1 vs. Col 4	0.333	6	2.449	0.538	No cumplir con prueba
Col 1 vs. Col 6	0.000	6	0.000	1.000	No cumplir con prueba
Col 1 vs. Col 2	0.000	6	0.000	1.000	No cumplir con prueba
Col 2 vs. Col 3	0.833	6	6.124	0.010	Si
Col 2 vs. Col 5	0.500	6	3.674	0.171	No
Col 2 vs. Col 4	0.333	6	2.449	0.538	No cumplir con prueba
Col 2 vs. Col 6	0.000	6	0.000	1.000	No cumplir con prueba
Col 6 vs. Col 3	0.833	6	6.124	0.010	Si
Col 6 vs. Col 5	0.500	6	3.674	0.171	No
Col 6 vs. Col 4	0.333	6	2.449	0.538	No cumplir con prueba
Col 4 vs. Col 3	0.500	6	3.674	0.171	No
Col 4 vs. Col 5	0.167	6	1.225	0.948	No cumplir con prueba
Col 5 vs. Col 3	0.333	6	2.449	0.538	No cumplir con prueba

Un resultado con *No cumplir con prueba* puede ser tratado como si no hay diferencia entre las medias

CALCULOS PARA OBTENER EL TAMAÑO DE PARTICULA

Sauter Medio

MALLA	fracción retenida	Abertura	Diámetro promedio
#	X	in	Dp
10	0	0.065	0
20	0.0065	0.0328	0.0489
30	0.0176	0.0197	0.02625
40	0.0367	0.0164	0.01805
60	0.1736	0.0099	0.01315
65	0.7176	0.0082	0.00905
100	0.0377	0.0058	0.007
CHAROLA	0.0103	0	"0.0029"

Observación: En la tabla anterior se observa que la malla # 200 no es reportada, debido al que al momento de realizar el tamizado utilizando esta malla se advirtió que en la charola no se retenía muestra, por lo que se excluyó el empleo de la malla 200.

En cuanto a la obtención del sauter medio de nuestra harina se utilizaron los gramos "promedio" retenidos en cada una de las malla utilizadas.

$$D_s = \frac{1}{\sum (X / D_p)} \quad D_s = \text{Diámetro Sauter medio}$$

$$D_s = \frac{1}{(0.0065/0.0489)+(0.0176/0.02625)+(0.0367/0.01805)+\dots+(0.0103/0.0029)}$$

$$= 0.0096 \text{ in (0.244 mm)}$$

Nota: en el caso de la retención en la charola, no es posible continuar el análisis con mallas de apertura más pequeña, debido a que la fracción peso que pasó la malla menor no es considerable y esto puede observarse en la gráfica siguiente.

