



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

ESTUDIO BIBLIOGRAFICO DE LAS PROPIEDADES REOLOGICAS Y TEXTURALES DEL MAIZ, MASA Y TORTILLA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERA EN ALIMENTOS

P R E S E N T A N

LILIANA BETZABE VILLAGRANA LOPEZ

JAZMIN VILLARREAL CALLEROS

ASESORA: DRA,

LAURA PATRICIA MARTINEZ PADILLA



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.



LIBERTAD NACIONAL
AYUNTAMIENTO DE
MEXICO

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

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Estudio bibliográfico de las propiedades reológicas y texturales del
maíz, masa y tortilla.

que presenta la pasante: Liliana Betzabé Villagrana López
con número de cuenta: 8939288-5 para obtener el TITULO de:
Ingeniera en Alimentos

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO

A T E N T A M E N T E
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 17 de Mayo de 2000

PRESIDENTE M. en C. Rosa M. Arriaga Orihuela

VOCAL I.B.Q. Norma B. Casas Alencaster

SECRETARIO Dra. L. Patricia Martínez Padilla

PRIMER SUPLENTE M. en C. Dora Luz Villagómez Zavala

SEGUNDO SUPLENTE I.A. Patricia Muñoz Aguilar



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

UNIVERSIDAD NACIONAL
 AVENIDA DE
 MEXICO

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
 DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
 PRESENTE

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
 Jefe del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Estudio bibliográfico de las propiedades reológicas y texturales del
maíz, masa y tortilla.

que presenta la pasante: Jazmín Villarreal Calleros
 con número de cuenta: 9011612-2 para obtener el TITULO de:
Ingeniera en Alimentos

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO

ATENTAMENTE
 "POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 17 de Mayo de 2000

- PRESIDENTE M. en C. Rosa M. Arriaga Orihuela
- VOCAL I.B.Q. Norma B. Casas Alencaster
- SECRETARIO Dra. L. Patricia Martínez Padilla
- PRIMER SUPLENTE M. en C. Dora Luz Villagómez Zavala
- SEGUNDO SUPLENTE I.A Patricia Muñoz Aguilar

RECONOCIMIENTOS

"Educar es dotar al hombre de un rostro sabio y un corazón firme"

A nuestra querida Universidad Nacional Autónoma de México por formarnos como profesionistas y enseñarnos a amar a nuestro país.

A la Dra. Laura Patricia Martínez Padilla por su amistad, paciencia y guía durante el desarrollo de este trabajo.

A las profesoras M en C Rosa M. Arriaga Orihuela, I.B.Q Norma B. Casas Alencaster, M en C Dora Luz Villagómez Zavala e I.A Patricia Muñoz Aguilar integrantes del jurado por sus valiosas observaciones en el mejoramiento de nuestro trabajo.

"Cada amigo representa un mundo dentro de nosotros, un mundo que tal vez no habría nacido sino lo hubiéramos conocido"

A nuestros amigos y compañeros de generación

" Grande es el Arte de empezar, pero mayor es el de concluir"

Liliana Betzabé Villagrana López
Jazmín Villarreal Calleros

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la oportunidad de vivir esta etapa tan maravillosa y poder conocer a personas excepcionales, que me han ayudado a comprender que la única finalidad de esta vida es ser Feliz .

A mis queridos padres Manuel y Efigenia, mil gracias por la oportunidad que me dieron de vivir y de superarme, pero sobre todo por su amor y cuidados incondicionales. Los amo.

A mis hermanos Silvia, Manuel, Sandra y Víctor gracias por compartir tristezas y alegrías, que nos han servido para unirnos más como familia. Los quiero.

A todos mis familiares que han estado muy cerca de mi apoyándome en todo momento en especial a Erika, Nancy y Erik por ser hoy en día amigos en quien confiar. Gracias, los quiero.

A mi tía Carmela por preocuparse en todas las etapas de mi vida y brindarme su amor en todo momento. Te quiero.

A mi segunda familia Sr, Ramón, Sra Adda, Aranzazú, Ismael y Ulises gracias por ser mis amigos, mis consejeros y por hacerme saber que siempre estarán conmigo en todo lo que me suceda. Los quiero.

A mis amigos Sergio A. Galindo y Netzer Gómez que a pesar de no encontrarse cerca de mí con sus cartas y sus pensamientos me han hecho saber que soy importante para ellos. Gracias, los quiero.

A mi querida amiga Jaz, mil gracias por tu amistad, comprensión, cariño, por hacerme saber que puedo contar contigo en cualquier momento y por que desde que te conocí has sido y sigues siendo mi brazo derecho. Te quiero amiga.

Liliana Betzabé

AGRADECIMIENTOS

A Dios por iluminar mi vida y llenarla de bendiciones.

A mis queridos padres Ramón José y Adda por darme la vida y brindarme todo su amor y su apoyo en cada paso de mi vida. Los amo.

A mis hermanos Ramón Ulises, Aranzazú e Ismael por compartir los buenos y malos momentos, pero sobre todo por construir juntos nuestros sueños y ser mis amigos.

A mi tía Freya y a mis primos Omar, Freya y Luis por aprender juntos el valor de la familia y apoyarme siempre.

A mis abuelitos Toyita y Betito por darme ejemplo de tesón y honestidad.

A Jacinta López por llenar mi niñez de cuidados y de cariño.

Al Doctor José Luis Galán y Q.F.B. Lolis Ramírez por enseñarme que ningún obstáculo es lo suficientemente grande como para no llegar a la meta.

A Julieta Hernández, Karina Pineda, Netzer Gómez y Francisco Javier Miranda por preocuparse siempre de mi y brindarme su amistad.

A Liliana por compartir mi etapa universitaria, por escucharme, aconsejarme y ser como una hermana.

A todos ustedes gracias por ser como son. Los Quiero mucho .

Jazmín

INDICE GENERAL

INDICE GENERAL	I
INDICE DE CUADROS	III
INDICE DE FIGURAS	VI
RESUMEN	IX
INTRODUCCIÓN	1
I. ANTECEDENTES	6
I.1 Morfología del maíz	7
I.2 Clasificación del maíz	13
I.3 Usos del maíz	24
I.4 Pérdidas post-cosecha	29
II. PROCESO DE ELABORACIÓN DE TORTILLAS	45
II.1 Condiciones de proceso	46
II.2 Descripción del proceso	48
II.3 Cambios fisicoquímicos en la nixtamalización	51
II.4 Cambios de textura en la nixtamalización	65
II.5 Cambios de textura en las tortillas	66
II.6 Máquinas Tortilladoras	68

III. TEXTURA Y REOLOGÍA	73
III.1 Textura	74
III.2 Reología	82
III.3 Instrumentos de medición	84
IV. PROPIEDADES REOLÓGICAS Y TEXTURALES DEL MAÍZ , MASA Y TORTILLA	107
IV.1 Composición química	108
IV.2 Propiedades texturales del grano del maíz	110
IV.3 Propiedades texturales en nixtamal	113
IV.4 Propiedades texturales en pastas de harina de maíz	114
IV.5 Propiedades texturales en masa	130
IV.6 Propiedades texturales en tortillas	166
V. CONCLUSIONES	190
VI. BIBLIOGRAFÍA	194

ÍNDICE DE CUADROS

1.1	Tipos de especies de maíz en México	24
1.2	Producción mundial de maíz	29
1.3	Pérdidas postcosecha a nivel mundial	30
1.4	Tipos de insectos que atacan al maíz	33
1.5	Humedades relativas óptimas para el desarrollo de insectos	34
1.6	Tipo de pesticidas	37
1.7	Humedades óptimas para el desarrollo de hongos	40
1.8	Enfermedades fungosas más comunes del maíz	42
1.9	Tipo de roedores que atacan al maíz	43
1.10	Plagas más comunes de pájaros	44
2.1	Diferentes métodos utilizados para el tratamiento alcalino	47
2.2	Diagrama de bloques para la elaboración de tortillas	48
2.3	Pérdida de materia seca y nutrientes en maíz normal y dañado procesado por el método tradicional y comercial	62
2.4	Inventores de diferentes máquinas para hacer tortillas	71
3.1	Clasificación de los parámetros de textura y nomenclatura popular	78
3.2	Ventajas y desventajas de sistemas de medida de textura en alimentos	81
4.1	Composición química de maíz, masa y tortilla (100g)	108
4.2	Dureza del grano de maíz	110
4.3	Dureza de maíz nixtamalizado	113
4.4	Características fisicoquímicas de masa de maíz cocida en casa con maíz blanco reportados por Molina y col (1977)	116

4.5	Análisis de las muestras de maíz propuesto por Johnson y col (1980)	117
4.6	Valores del viscoamilográfico para dispersiones de pastas de harina de maíz-agua	121
4.7	Condiciones para la determinación de textura en cada una de las muestras analizadas	123
4.8	Registro de los parámetros corridos en la extrusión y el grado de gelatinización	129
4.9	Textura en masa de maíz	130
4.10	Parámetros de consistencia e índice de viscosidad aparente de masas de maíz de 60/40 y 65/35 de harina precocida evaluados en un Farinógrafo Brabender reportados por Cuevas y Puche (1986).	133
4.11	Evaluación de la textura en masa	138
4.12	Evaluación subjetiva del efecto del contenido de humedad sobre las propiedades texturales y de maquinabilidad de la masa	140
4.13	Efecto del contenido de humedad en el mixógrafo sobre las características de la harina de maíz nixtamalizada	141
4.14	Determinación de viscosidad y consistencia en productos de harina de maíz nixtamalizados evaluados a 22-24% de sólidos	143
4.15	Comportamiento elongacional biaxial de la harina de maíz cocida (70% b.s)	149
4.16	Comportamiento de la masa de maíz cocida (70% humedad) en condiciones estacionarias	149
4.17	Comportamiento de la masa de maíz (70% humedad) en condiciones dinámicas	152

4.18	Efecto del tiempo de reposo en la adhesividad de la masa de Arepa	158
4.19	Efecto del % de agua añadida en la dureza de la masa de Arepa	160
4.20	Efecto del tiempo de cocción sobre la gelatinización	163
4.21	Efecto del tamaño de partícula sobre las propiedades físicas de harina y masa de Arepa precocida	163
4.22	Valores de Máquina Universal de Deformación (Instron) para masa de maíz	166
4.23	Textura de las tortillas	167
4.24	Características texturales de tortillas en pruebas de tensión de sorgo con endospermo intermedio y endospermo córneo	171
4.25	Análisis de los resultados de tensión en tortillas de maíz y sorgo (TAM-670) en diferentes periodos de almacenamiento	172
4.26	Comparativo de textura en maíz amarillo y sorgo	174
4.27	Textura medida con diferentes porcentajes de sorgo	175
4.28	Textura en tortillas con mezclas maíz y sorgo perlado	175
4.29	Efecto del tratamiento enzimático en tortillas	180
4.30	Propiedades físicas y texturales de tortillas comerciales	182
4.31	Medición de rollabilidad en tortillas en diferentes tiempos de almacenamiento	184
4.32	Medición de rollabilidad, flexibilidad y técnica de doblado en tortillas con diferentes tiempos de almacenamiento	187
4.33	Medición de rollabilidad y técnica de doblado en tortillas con diferente grosor	188

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1	Estructura del grano de maíz	8
1.2	Tipos de especies de maíz	23
1.3	Usos del maíz	25
1.4	Usos del maíz	28
1.5	Usos del maíz	29
2.1	Diversas máquinas para hacer tortillas	70
3.1	Farinógrafo	86
3.2	Farinograma	87
3.3	Mixógrafo	89
3.4	Curva típica de un mixógrafo	89
3.5	Penetrómetro	91
3.6	Sistema de medición de textura con celda Ottawa	93
3.7	Sistema de medición de textura con celda Kramer	94
3.8	Máquina Universal de Deformación (Instron) modelo 1132	95
3.9	Diferentes curvas que se presentan en una prueba de punción	96
3.10	Curva de compresión-extrusión	97
3.11	Extensógrafo	98
3.12	Curva clásica de un extensógrafo	99
3.13	Alveógrafo	102
3.14	Curva típica de un alveógrafo	103
3.15	Amilógrafo	105
3.16	Curva de compresión-extrusión	106

4.1	Viscogramas de pastas de maíz crudo, cocido, nixtamal, masa, tortilla y tortilla chip	119
4.2	Relación entre la densidad global y el porcentaje de gelatinización	125
4.3	Gráficos de fuerza deformación contra porcentaje de gelatinización	126
4.4	Relación de la densidad global con la medida de la textura en proporción a la energía total al deterioro de la fuerza de ruptura	127
4.5	Gráficas de regresión del porcentaje de gelatinización contra la relación de la energía total entre la fuerza de ruptura	128
4.6	Características texturales de masa de maíz evaluadas con un aparato mecánico de adhesividad	136
4.7	Curva típica de fuerza-distancia obtenida en una Máquina Universal de Deformación (Instron) por medio de la prueba de compresión tensión	137
4.8	Mixograma típico de harina de maíz nixtamalizada donde se muestra la consistencia máxima (A), tiempo para la máxima consistencia (B), cohesividad (C) y el tiempo de adhesividad (D)	140
4.9	Fuerza de compresión contra el porcentaje de compresión a diferentes velocidades(Harina No. 3)	146
4.10	Diferencias del esfuerzo normal (N) contra la velocidad de deformación biaxial	148
4.11	Esfuerzo de cizalla y velocidad de cizalla de la masa de maíz cocida en condiciones estacionarias	150
4.12	Viscosidad dinámica η , de la masa de maíz cocida	151

4.13	Módulo de pérdida, G'' de la masa de maíz cocida	151
4.14	Módulo de almacenamiento, G' de la masa de maíz cocida	151
4.15	Curvas de viscosidad de la masa de Arepa hecha de diferentes lotes de harina de maíz comercial precocida	154
4.16	Viscosidad de una suspensión acuosa de masa de Arepa en diferentes tiempos	156
4.17	Perfil de dureza y adhesividad de masa de Arepa	157
4.18	Efecto del tiempo de mezclado sobre la adhesividad de la masa de Arepa	158
4.19	Efecto del porcentaje de agua añadida en la masa sobre la adhesividad	160
4.20	Efecto del tiempo de cocción sobre la rigidez de la masa de la Arepa	162
4.21	Perfil de dureza y adhesividad de masa de harina de maíz	165
4.22	Curva fuerza-deformación para tortilla	171
4.23	Efecto del almacenaje en la textura de tortillas de mezclas de sorgo blanco perlado y maíz	177
4.24	Esquema del aparato para medir la rollabilidad objetiva en las tortillas	181
4.25	Curva típica de rollabilidad para tortilla	183
4.26	Aparato para medir textura en tortilla a través de una prueba de doblado	185
4.27	Curva típica de doblado para tortillas recién hechas y tortillas viejas	186

RESUMEN

Durante el proceso de manufactura de tortillas, las propiedades reológicas y texturales cambian considerablemente, por lo que se hace necesario emplear diversos métodos para cuantificar diferentes parámetros reológicos y texturales.

En este trabajo bibliográfico se recopilaron y analizaron principalmente los métodos empíricos y fundamentales reportados en la literatura especializada, para evaluar la textura en el maíz, nixtamal, suspensiones de harina de maíz, masa y tortilla.

En esta recopilación se incluye también aspectos generales como: morfología, pérdidas de cosecha, conservación y almacenamiento del grano; cambios físicos como químicos en los nutrientes y componentes del maíz, así como su relación con las condiciones de proceso para la elaboración de tortillas.

Existe una gran variedad de estudios en donde se evalúan las propiedades texturales, sin embargo, estas mediciones en la mayoría de los casos son adoptadas a juicio y criterio de cada investigador, razón por la cual los resultados no pueden ser comparables.

Lo anterior puede provocar confusión en la selección del método más adecuado, en función del parámetro a cuantificar, por lo que como conclusión de esta recopilación, se propone una unificación y estandarización de los métodos para evaluar la textura en dichos productos.

En general, se puede decir que la Máquina Universal de Deformación (Instron) con diferentes aditamentos es el instrumento más utilizado, seguido por el Viscoamilógrafo Brabender y el Farinógrafo Brabender.

El maíz es la fuente primaria de alimentos en diferentes lugares del mundo, incluyendo Sudamérica, Centroamérica y África donde es convertido directamente en productos alimenticios vía pulverización, procesos de alcalinización, ebullición o cocción y/o fermentación.

En el caso específico de México el maíz puede consumirse de muy diversas formas: desde el grano de maíz utilizado para hacer pozole, bebidas como el atole, pozol y pinole; los tradicionales tamales hechos a base de masa de maíz tratada alcalinamente; tortillas, las cuales pueden utilizarse para preparar platillos mexicanos como enchiladas y tacos, solo por mencionar algunos, o bien hacer frituras de maíz.

El maíz es considerado como patrimonio cultural y natural que México ha legado al mundo. El maíz proporcionó la base alimenticia de las civilizaciones antiguas del territorio mexicano entre las que podemos mencionar la azteca, maya, olmeca, teotihuacana, zapoteca y hoy en día sigue siendo el principal sustento de las culturas rurales y mestizas (Barros,1997).

En México, de la producción total de maíz, el 85% se destina para el consumo humano de la cual el 58% es captado para la industria de molinos de nixtamal y fabricantes de harinas, los cuales suministran la materia prima a las empresas elaboradoras de tortillas (Barros,1997).

Según varias fuentes los productos derivados del maíz (tamales, quesadillas, tacos, enchiladas, etc.) representan aproximadamente la mitad de los alimentos que se consumen anualmente en México (Novelo,1997).

El nombre maíz es de origen antillano; en náhuatl se denomina *tlaolli* y *centli*. En el mundo se cultivan diversos tipos, el grano de maíz es de color muy variable hasta un color uniforme y abarca desde el blanco al pardo oscuro o púrpura; está compuesto por endospermo, germen, pericarpio y punta. Dentro del mismo grano se encuentra endospermo traslúcido y opaco. El endospermo traslúcido tiene consistencia dura y se considera compacto por la disposición en que se encuentran sus gránulos de almidón, sin espacios vacíos. El endospermo opaco tiene una consistencia suave, se caracteriza por tener gránulos de almidón grandes y redondos con una matriz protéica delgada, la cual se rompe durante el secado y forma espacios vacíos.

Durante más de 70 años los científicos han visto la importancia de entender y medir las propiedades físicas, químicas, reológicas y texturales de los alimentos. Su conocimiento es imprescindible para establecer y controlar las condiciones del proceso de transformación, así como para el correcto diseño o selección del equipo a utilizar (Walker, 1996). Las propiedades reológicas y/o texturales se han aplicado como control de calidad o control de proceso considerándose como una evaluación rápida y confiable, también pueden

utilizarse en el desarrollo de nuevas formulaciones en productos o para evaluar la factibilidad de sustituir algún componente dentro de los mismos.

Los productos alimenticios son considerados como sistemas complejos que pueden presentar comportamientos de sólidos (elásticos), semisólidos (elásticos-viscosos) y líquidos (viscosos). Dichos comportamientos se pueden medir como sistemas ideales especialmente aquellos que son elásticos o viscosos. Como ejemplo de esta recopilación, las masas obtenidas de harinas de maíz y trigo presentan propiedades viscoelásticas (Walker, 1996).

Inicialmente se utilizaron pruebas empíricas para la evaluación de la textura y características reológicas, incluyendo instrumentos de medición de flujo, penetración, corte y fractura. Existen otro tipo de pruebas de tipo fundamental en materiales viscoelásticos (pruebas dinámicas y estáticas).

En el caso específico del maíz no existe una compilación bibliográfica sobre las propiedades texturales y reológicas del mismo y sus subproductos, y que además abarque aspectos generales como: morfología, clasificación, usos, pérdidas de cosecha, conservación y almacenamiento del grano, que permita la comprensión de los cambios tanto físicos como químicos en los nutrientes y componentes del maíz, así como su relación con las condiciones de proceso para la elaboración de tortillas.

Por los motivos anteriormente expuestos, el objetivo de esta tesis es realizar un estudio que permita recabar toda esta información dispersa en la literatura, que pueda servir de apoyo a la industria y centros de investigación. Como resultado, se proporciona una base de información sobre los métodos de evaluación más empleados en las propiedades reológicas y texturales del maíz hasta su transformación en tortilla, en donde se puedan visualizar rápidamente los diferentes métodos reportados en la literatura especializada.

I. ANTECEDENTES

I.1 MORFOLOGÍA DEL MAÍZ

Maíz (*Zea mays, L.*) es una planta herbácea anual, de dos a cuatro metros de altura, de la familia de las gramíneas, de raíz fasciculada constituida principalmente por formas adventicias (las que se originan del tallo). El tallo es cilíndrico y no ramificado. Las hojas son alternas y dísticas (solo una sale de cada nudo), las flores masculinas están situadas en la parte terminal del tallo, agrupadas por pares en espiguillas, a su vez reunidas en un gran racimo de espigas (*panícula*). Las flores femeninas están agrupadas en filas dobles sobre un compacto llamado **olote**, constituyendo inflorescencias llamadas **mazorcas**. Estas se presentan en las axilas de las hojas y están protegidas por numerosas espatas que reciben el nombre de **totomoxtie** (de color verde cuando están tiernas y después amarillentas cuando están maduras), que encierran por completo la mazorca y solo quedan ligeramente separadas del ápice, por donde sale un penacho de largos filamentos de color verdoso-amarillento mejor conocido como **cabellitos de elote** (Anónimo, 1983).

El grano de maíz es el germen reproductivo de la planta y está compuesto de cuatro partes principales: germen 12%; endospermo 82%; pericarpio 5.2% y extremidad o punta 0.8% (Enciclopedia de México, 1978). Cada una de estas partes tienen diferentes características de composición, las cuales son

importantes para la utilización del grano del maíz. La estructura del maíz se muestra en la figura 1.1.

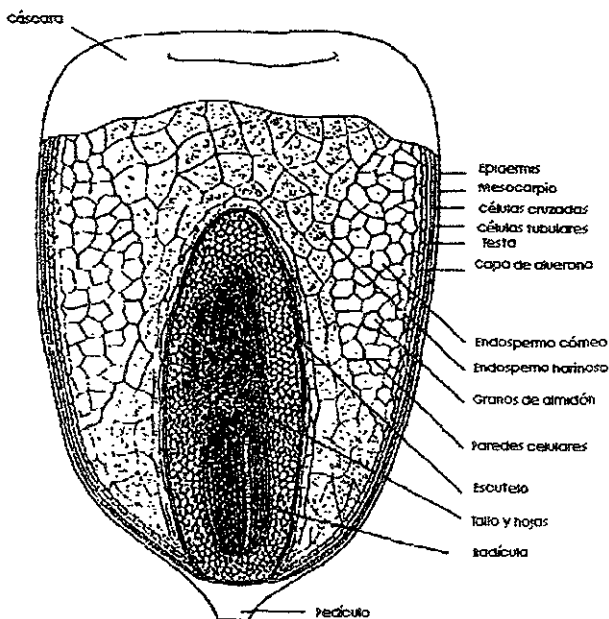


Fig. 1.1 Estructura del grano de maíz

El germen contiene todas las enzimas esenciales, nutrientes y material genético para producir la planta del maíz. El germen consta de las siguientes partes (González -Alquinzones, 1995):

a) **Axis embrionario.** Representa el 10% del germen y es una estructura que desarrollará la pequeña plantita durante la germinación.

b) Escutelo. Comprende el 90% restante y almacena los nutrientes durante la germinación. La superficie del escutelo en contacto con el endospermo está cubierto por una capa profunda surcada por canales o glándulas secretoras elongadas cuya función es secretar enzimas alfa-amilasa que se difunden dentro del endospermo donde digieren el almidón y otros constituyentes para proveer de nutrientes al embrión.

El germen puede ser considerado por su composición: 34% aceite, 19% proteína, 28% sólidos solubles (azúcares, proteínas solubles en agua, minerales y vitaminas) y 19% de materiales insolubles (Enciclopedia de México, 1978).

La extremidad o punta del grano es el punto de unión entre el movimiento de los nutrientes y el desarrollo del grano. Está compuesta por células en forma de estrella, arregladas en una estructura esponjosa para una rápida absorción de humedad. Cerca del final de la maduración del grano, la capa negra que cruza la región de la punta sirve como barrera difusional, es conocida como capa hilar que provee alguna protección contra invasiones de insectos y microorganismos (González -Alquinzones, 1995).

En el desarrollo del grano entero, con la excepción de la región de la punta, el pericarpio está compuesto en su totalidad de células muertas. Estas células tienen alto contenido de celulosa y hemicelulosa y están arregladas en distintas capas, formando una gruesa pared y están cubiertas con una cutícula

de grasa (sustancias ceras), la cual no permite la entrada de agua, vapor de agua y muchos otros gases y líquidos. Abajo de la epidermis está el mesocarpio el cual está compuesto de 17-25 capas de células alargadas de más de 1mm de largo, conectadas a través de líquidos y gases que pueden difundirse.

Las siguientes 4-6 capas de células son grandes, son células llamadas células tubo y transversales, las cuales permiten un alto flujo de difusión de gases o líquidos. A través de estas células de tubo y transversales el agua entra por la región de la punta y puede ser rápidamente transportada alrededor del grano para permitir la difusión en el germen y el endospermo. Durante la molienda húmeda o el proceso alcalino, ocurre una difusión química por esta ruta.

Debajo de las capas del pericarpio hay una membrana semipermeable llamada abrigo de semilla. Esta resiste el movimiento de las moléculas dentro y fuera del grano. Justo en el interior del abrigo de semilla, se encuentra la capa más alejada del endospermo la *aleurona*, la cual está compuesta por una pared gruesa de células con alto contenido en proteína. Esta capa de aleurona puede tener características semipermeables de acuerdo con el arreglo compacto de estas células en esta capa. El daño del pericarpio o del abrigo de semilla puede aumentar la velocidad de difusión del agua o la absorción química.

El endospermo está constituido por dos regiones visuales y físicas conocidas como: endospermo duro o traslúcido y endospermo suave u opaco;

ambos constan de una matriz proteica las cuales tienen gránulos encapsulados de almidón. El endospermo duro o translúcido está compuesto por un denso paquete de gránulos de almidón rodeados por una matriz de proteína gruesa mientras que el endospermo suave u opaco está compuesto por gránulos de almidón redondos, los cuales están rodeados por una fina matriz proteica. La humedad se escapa de la mazorca durante el secado en el campo del maíz (específicamente en el maíz del tipo dentado), la matriz proteica fina se rompe colapsándose la estructura, dejando muchas microfisuras dándole al grano la apariencia de opaco. El resultado externo del colapso estructural del endospermo suave es en la región de la cima donde toma la apariencia de abollado.

Durante el secado, la matriz proteica gruesa en el endospermo duro se encoge pero no se rompe. La fuerza de presión en los gránulos de almidón dentro de las formas angulares hacen que la densidad aumente. Durante el procesamiento la estructura del endospermo duro resiste modificaciones mientras que en el endospermo suave es fácil de romperse.

Las principales diferencias entre el endospermo translúcido o duro y el endospermo opaco o suave son (González- Alquinzones, 1995):

- a) La composición química de ambos endospermos es similar, el endospermo opaco contiene más grasa que el endospermo translúcido.
- b) El endospermo opaco se aísla mejor que el endospermo córneo.

- c) La digestibilidad del almidón del endospermo opaco es mayor que la del almidón del endospermo translúcido.
- d) La viscosidad aparente del almidón del endospermo opaco es mayor que el endospermo translúcido en amilograma, neutro, ácido y alcalino.
- e) La temperatura de gelatinización del almidón del endospermo translúcido es mayor que la del endospermo opaco.
- f) No hay diferencias entre ambos almidones respecto de la difracción de rayos X.
- g) El almidón del endospermo opaco es superior al almidón del endospermo translúcido en productos de panadería (pan y galletas). Esta diferencia no se debe a los almidones, pero sí a factores como estructura, proteínas o fibras.

La matriz proteica en el endospermo consta de: glutelina, proteína soluble en concentraciones de álcali y proteína zeína soluble en etanol.

Los gránulos de almidón son esencialmente 100% almidón. Cada gránulo tiene una mezcla de 2 polisacáridos: amilosa y amilopectina. La amilosa es el 25% del peso del gránulo (polímero lineal de la glucosa) y la amilopectina es el 75% del peso del gránulo (polímero muy largo y ramificado de glucosa) (Enciclopedia de México, 1978).

I.2 CLASIFICACIÓN DEL MAÍZ

Existen en la literatura diversas clasificaciones del maíz, las cuales serán mencionadas a continuación.

- **Clasificación botánica**

El maíz pertenece a la familia *Graminae* y a la tribu *Tripsaceae*, porque las flores femeninas y masculinas se encuentran en espigas separadas en la misma planta.

- **Clasificación basada en las características del endospermo.**

Las propiedades físicas como el color, tamaño, forma y dureza así como las propiedades químicas son utilizadas para clasificar a los cultivos de maíz en 6 diferentes subespecies (González-Alquinzones, 1995):

1) Maíz Dentado (*Zea mays indentata*)

El maíz dentado es el tipo de maíz que más se siembra en los Estados Unidos de Norteamérica. El nombre se relaciona con la cavidad o abolladura de la región de la corona del germen. La cavidad resulta del rápido secado y encogimiento del almidón suave durante la maduración del grano. Tiene una cantidad variable de endospermo córneo (duro) y harinoso (suave). El maíz

dentado contiene ambas callosidades del endospermo en la parte exterior y en la región central del grano. La parte córnea está a los lados y detrás del grano y la porción harinosa se localiza en la zona central y en la corona del grano. Se usa principalmente como alimento animal, materia prima industrial y para la alimentación humana.

2) Maíz Cristalino (*Zea mayz indurata*)

Contiene una gruesa capa de endospermo cristalino, el cual cubre un pequeño centro harinoso. El maíz cristalino comúnmente crece en Europa, Asia y América. El grano es característico por ser liso y redondo. Este tipo de maíz tiene mejores propiedades agronómicas como germinación.

3) Maíz Dulce (*Zea mayz saccharata*)

El maíz dulce crece en los Estados Unidos. En este tipo de maíz, la conversión del azúcar en almidón es retardada durante el desarrollo del endospermo. Los granos madurados son arrugados. Estos contienen dextrinas de más bajo peso molecular que otros maíces. Las mazorcas de los maíces dulces cuando están madurados se congelan, se enlatan o se consumen frescos. Estos granos son más susceptibles a sufrir infestación de insectos. Este tipo de grano contiene 35% de sacarosa.

4) Maíz Harinoso (*Zea mays amilaceo*)

El endospermo de este tipo de maíz es la mayoría harinoso y pequeño. Estos granos son normalmente molidos en seco y son usados para preparar productos tradicionales, por ejemplo en México se utiliza para hacer pozole. Estos crecen generalmente en partes secas de los Estados Unidos, Sudamérica y Sudáfrica.

5) Maíz Palomero (*Zea mays everta*)

Los granos del maíz palomero son en su mayoría más duros que todos los demás maíces y el endospermo es calloso. Sus granos son redondos (tienen forma de perlas) o puntiagudos (parecidos al arroz). Los gránulos de almidón tienen una matriz coloidal elástica, la cual ayuda a desarrollar una presión de vapor grande dentro del gránulo de almidón durante el calentamiento hasta alcanzar la fuerza explosiva. Esta fuerza es tal que puede aumentar su volumen original 30 veces.

6) Maíz Vaina o Tunicado (*Zea mays tunicata*)

Los granos de maíz vaina están encerrados en la cáscara y la mazorca entera está encerrada en una vaina como los demás maíces. Este no crece comercialmente. Se usa como ornamento o como fuente de germoplasma en los programas de fitomejoramiento.

- ***Clasificación basada para fines comerciales del maíz***

- 1) **Maíz blanco**

Granos con ligero color a paja o rosado, o con un ligero tinte de otro color, se considerarán blancos. No debe contener más del 10% de otros colores de maíz como son el morado, azul o rojo. (Alarcón,1986)

La Norma Oficial Mexicana lo define como el maíz que corresponde a este color, que presenta un valor menor o igual a 5% de maíces amarillos y que contenga como máximo 5% de maíces oscuros (rojo, azul y morado). Un ligero tinte cremoso, pajizo o rosado no influye para designarlo como blanco (NOM-FF-34-1982).

Las industrias harineras y almidoneras utilizan este tipo de maíz debido al color blanco que le imparte al producto terminado. En Estados Unidos es usado para hacer hojuelas de maíz y harinas gruesas. (González-Alquinzones, 1995).

- 2) **Maíz amarillo**

Granos con un ligero tinte de color rojo, se consideran amarillos. No debe contener mas del 10% de maíz de otros colores. (Alarcón, 1986)

La Norma Oficial Mexicana lo define como aquel maíz de granos amarillo o con un tono rojizo, y que tengan un valor menor o igual a 6% de este color. (NOM-FF-34-1982).

Este tipo de maíz es procesado en la industria almidonera, ya que el gluten forrajero es muy codiciado por los ganaderos, debido a su alto contenido de carotenos. También se utiliza en la elaboración de frituras de maíz por impartir coloración al producto final. (González-Alquinzones,1995).

3) Maíz morado

De color azul o morado que puede contener hasta un 20% de maíz de otros colores. (Alarcón, 1986)

4) Maíz rojo

Maíz de color rojo que puede contener un 20% de maíz de otros colores. (Alarcón, 1986)

5) Maíz pinto

Se considera así al maíz blanco, amarillo o mezclado que contiene más del 5% de granos morados, azules o rojos. (Alarcón, 1986)

La Norma Oficial Mexicana lo define como todo aquel maíz blanco, amarillo y mezclado que contenga más del 5% de maíces oscuros (rojo, azul y morado) NOM-FF-34-1982.

Este tipo de maíz no es muy aceptado por la industria harinera, ya que imparte una coloración no deseada al producto final. En el Distrito Federal y Toluca se pueden observar tortillas hechas de maíz pinto (azul), que adquieren coloración (González-Alquinzones, 1995).

6) Maíz mezclado

Es el maíz blanco o amarillo que contiene más de un 10% de mezcla de otros colores, pero sin rebasar el 5% de granos morados, azules o rojos. (Alarcón, 1986).

La Norma Oficial Mexicana especifica dos diferentes tipos de mezclado:

- Mezclado 1. Lo define como todo aquel maíz blanco que contenga entre 5.1% y el 10% de maíces amarillos, así como el maíz amarillo que presenta un valor entre 5.1-10% de maíces blancos. Ambos sin sobrepasar el 5% de maíces oscuros.

* Mezclado 2. Son aquellos maíces blancos que presentan más de 10% de maíces blancos, así como los maíces amarillos que contengan más del 10% de granos blancos. Ambos sin sobrepasar el 5 % de maíces oscuros.

- **Clasificación especial**

El maíz puede ser alterado por medios genéticos para producir modificaciones en el almidón, proteína, aceite y otras propiedades. A este tipo de maíces se le conoce como híbrido. El concepto de híbrido desde el punto de vista de la genético, significa el producto, que se deriva del cruzamiento entre dos o más tipos de maíz con caracteres definidos con los cuales se pretende reunir las características deseadas como pueden ser: resistencia a las enfermedades, altos rendimientos y resistencia a las plagas .

Maíz Céreo (Waxy) (Zea mays cerea)

Fue introducido en Estados Unidos en 1908. La principal fuente de almidón con base en amilopectina antes de la Segunda Guerra Mundial era la tapioca, importada de Asia Central, la ocupación de esa área por los japoneses corto su suministro y se creó un programa de emergencia para producir el maíz ceroso a nivel comercial. (González-Alquinzones, 1995).

El almidón del grano del maíz céreo es en su gran mayoría amilopectina; un polímero de cadena ramificada α -D glucosa. Este maíz es usado para la manufactura del almidón.

La diferencia con el almidón del maíz común es que el almidón del maíz céreo esta compuesto de 100% de amilopectina. Los tipos de almidón céreo (nativo y modificado) son comercializados a nivel mundial debido a su estabilidad y a otras propiedades de sus soluciones. Son usados por la industria alimenticia como estabilizadores y espesores en pudines, salsas, pasteles, aderezos de ensaladas; en la industria papelera, en la elaboración del papel engomado como adhesivo.

Maíz de alta amilosa, amylomaíz o ambos

Es el nombre genérico usado para designar al maíz que tiene un contenido alto de amilosa (50%). Hay dos tipos desarrollados comercialmente. El que tiene un contenido de amilosa entre 50 y 60% y otro que contiene entre 70 y 80%. El almidón de maíz de alto contenido de amilosa es usado en industria textil y en la manufactura de cartón corrugado. (González-Alquinzones, 1995).

Maíz de alta lisina

Este tipo de maíz posee un mejor balance de aminoácidos por lo tanto mayor calidad de proteína en comparación con el tipo dentado considerado como deficiente en lisina.

En 1964 se descubrió que el nivel de lisina es controlado genéticamente por un gene recesivo (Opaco-2) que reduce el contenido de zeína en el endospermo e incrementa el porcentaje de lisina. (González-Alquinzones, 1995). De acuerdo a investigaciones agronómicas este tipo de maíz es ligeramente bajo en productividad y alto en humedad si se compara con el maíz normal. Por sus características físicas el grano es suave y es más susceptible al daño.

Clasificación según Welhausen

Para el año de 1951 era posible reconocer cuando menos veinticinco razas de maíz en México y se dividieron en cuatro grupos de acuerdo a sus derivaciones (Wellhausen y col, 1951) y se pueden clasificar en:

** Razas Indígenas Antiguas*

Son aquellas que se cree se originaron en México del maíz tunicado. Las diversas razas en este grupo difieren una de otra como consecuencia de su desarrollo independiente en diferentes localidades y diferentes medios ambientales.

Dentro de esta clasificación se pueden considerar cuatro razas: *Palomero, Toluqueño, Arrocillo Amarillo, Chapalote y Nai-Tel*. Todas estas razas son maíces reventadores o palomeros, tienen mazorcas pequeñas y se asemejan en algunos caracteres del maíz prehistórico de Sudamérica.

**Razas Exóticas Pre-Colombianas*

Estas razas fueron introducidas a México de Centroamérica y Sudamérica durante épocas prehistóricas. Se pueden distinguir tres razas: *Cacahuacintle*, *Harinoso de Ocho* y *Maíz Dulce*. Todas estas razas han sido progenitoras de razas híbridas. La razón de clasificarlas con este nombre es que estas razas se encuentran desde México hasta Colombia.

**Razas Mestizas Prehistóricas*

Están constituidas por razas que se cree se originaron por medio de hibridaciones entre las razas Indígenas y las razas Exóticas Pre-Colombianas, dando como resultando al teocintle. Solo se han podido reconocer 13 razas de este tipo: *Cónico*, *Reventador*, *Tabloncillo*, *Tehua*, *Tepencintle*, *Comiteco*, *Jala*, *Zapalote Chico*, *Zapalote Grande*, *Pepitilla*, *Olotillo*, *Vandeano*.

**Razas Modernas Incipientes*

Son razas que se han desarrollado desde la época de la conquista y que aún no han alcanzado condiciones de uniformidad racial. Se pueden mencionar: *Chalqueño*, *Celaya*, *Cónico Norteño*, *Bolifa*.

**Razas no bien Definidas*

En este grupo se consideran aquellas razas o tipos que han sido recolectados recientemente o de los cuales se ha reunido poca información para poder clasificarlo. En el momento que se realizó esta clasificación, las

siguientes razas formaban parte esta subdivisión: Conejo, Mushita, Complejo Serrano de Jalisco, Zamorano Amarillo, Maíz Blando de Sonora, Onaveño, Dulcillo del Noroeste.

El maíz mexicano evolucionó a partir de una planta silvestre bajo el cuidado de la mano selectiva de los antepasados mexicanos. Su evolución depende de los procesos naturales y culturales de selección, difusión y extinción. De acuerdo con investigaciones recientes existen en la actualidad aproximadamente 35 especies de maíz mexicano y estas a su vez se dividen en varios grupos.

Algunas de las especies de maíz producidas en México se muestran en el Cuadro 1.1 y Figura 1.2 (Rojas, 1997):

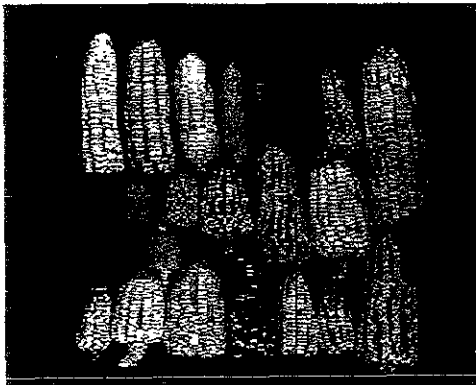


Fig. 1.2 Tipos de especies de maíz.

Cuadro 1.1 Tipos de especies de maíz en México

1. Dulce	21. Dulcillo del noroeste
2. Cacahuacintle	22. Apachito
3. Palomero Toluqueño	23. Complejo cristalino de Chihuahua-Gordo azul
4. Palomero de Chihuahua	24. Nal-tel
5. Arrocillo	25. Conejo
6. Cónico	26. Zapalote chico
7. Elotes cónicos	27. Zapalote grande
8. Cónico norteño	28. Bolita
9. Chalqueño	29. Ratón
10. Complejo serrano de Jalisco	30. Olotillo-Dzit Bacal
11. Pepitilla	31. Tepencintle
12. Elotes occidentales bofo	32. Vandeño
13. Chapalote	33. Tuxpeño
14. Reventador	34. Tuxpeño norteño
15. Tabloncillo	35. Celaya
16. Tabloncillo	36. Zamorano amarillo
17. Tabilla de ocho	37. Chiquito
18. Tabloncillo perla	38. Olotón
19. Octaveño	39. Comiteco
20. Blando	

1.3 USOS DEL MAÍZ

Si la historia del valor agregado tuviera que ser contada como una sola industria, el procesamiento del maíz puede seleccionarse como el mejor ejemplo. El procesamiento del maíz es uno de los primeros en la industria moderna provocando una revolución industrial y científica en el siglo XIX (Munro, 1994).

El valor agregado tradicional en el procesamiento del grano se debe a un cambio físico del mismo. La molienda húmeda del maíz de cualquier forma, puede ser usada como una mezcla compleja de químicos, molienda y separación para utilizar los componentes mayoritarios del grano (almidón, gluten, fibra y aceite) (Munro, 1994).

Todas las partes del maíz son aprovechables en su totalidad de diferentes formas como se esquematiza en la siguiente figura:

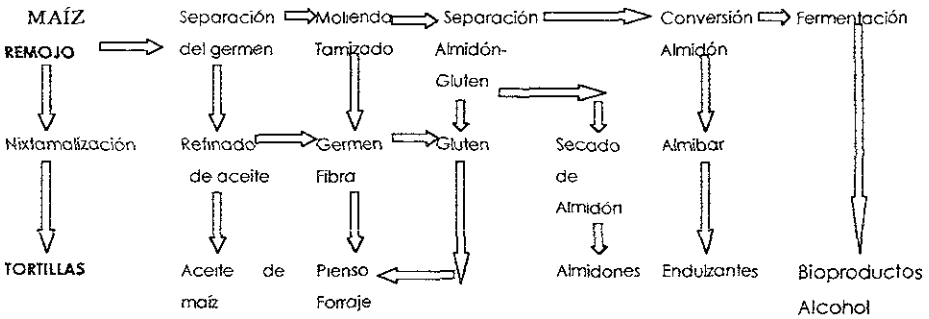


Fig. 1.3 Usos del maíz (Munro, 1994).

Las raíces y el rastrojo son utilizados como abono integrándose como materia orgánica; los tallos y las hojas constituyen un buen alimento para el ganado; las hojas secas de mazorca (totomoxtiles) pueden emplearse para hacer papel y cigarrillos, para crear artesanías o bien como embalaje para envolver tamales; las mazorcas tiernas (elotes) son un alimento muy popular se pueden consumir hervidos, tostados o guisados; de la planta del maíz se puede obtener un jugo de su caña verde que se utiliza como golosina para preparar bebidas fermentadas; con sus espigas se preparan tamales; los elotes en

mazorca semisecos sirven para preparar tamales, galletas, alfajores, gorditas, pemoles, cerveza de maíz, tesgüino (hecho de maíz germinado, cocido y molido y después fermentado en ollas de barro, se considera como bebida ritual), pozoles, pozol ordinario y pozol agrio, palomitas y una gran variedad de atoles (atole de pascua, champurrado, necuatole, nixteeme, mezquiatole, chillatole); del endospermo del grano se extrae almidón que a su vez sirve para fabricar alcohol; las mazorcas desgranadas (olotes) se emplean como combustible (Barros y Buenrostro, 1997).

Incluso una plaga del maíz, el hongo llamado huitlacoche es muy apreciado y se utiliza en varios guisos. El gusano elotero también es comestible.

Los granos de la mazorca pueden someterse a la nixtamalización dando como resultado las tortillas a partir de las cuales se pueden preparar diversos platillos y antojitos mexicanos como son enchiladas, quesadillas, tacos, huaraches, flautas, memelas, panuchos, tostadas, enfrijoladas, entomatadas, fotopos, tlayudas y las tortillas decoradas de Querétaro y Jalisco.

En la medicina tradicional se utilizan los cabellitos de elote como diurético para los problemas del riñón. En combinación con otras plantas, se usa para contrarrestar males hepáticos y biliares y aumentar la secreción de leche de las lactantes. La raíz tiene usos medicinales.

Las aplicaciones industriales del maíz son obtención de aceite y jarabe, de la fécula, la miel, el gluten y el germen se obtienen productos como anticorrosivos, adhesivos, pinturas, medicamentos, solventes, limpiadores y decenas de productos más (Barros y Buenrostro, 1997).

Sin embargo el uso del maíz no se limita a los alimentos y a la industria sino que forman parte de artesanías populares por ejemplo las mulitas de corpus, las bolsas y tapetes de hojas secas, etc.

En las figuras 1.4 y 1.5 se ejemplifican algunos de los usos del maíz.

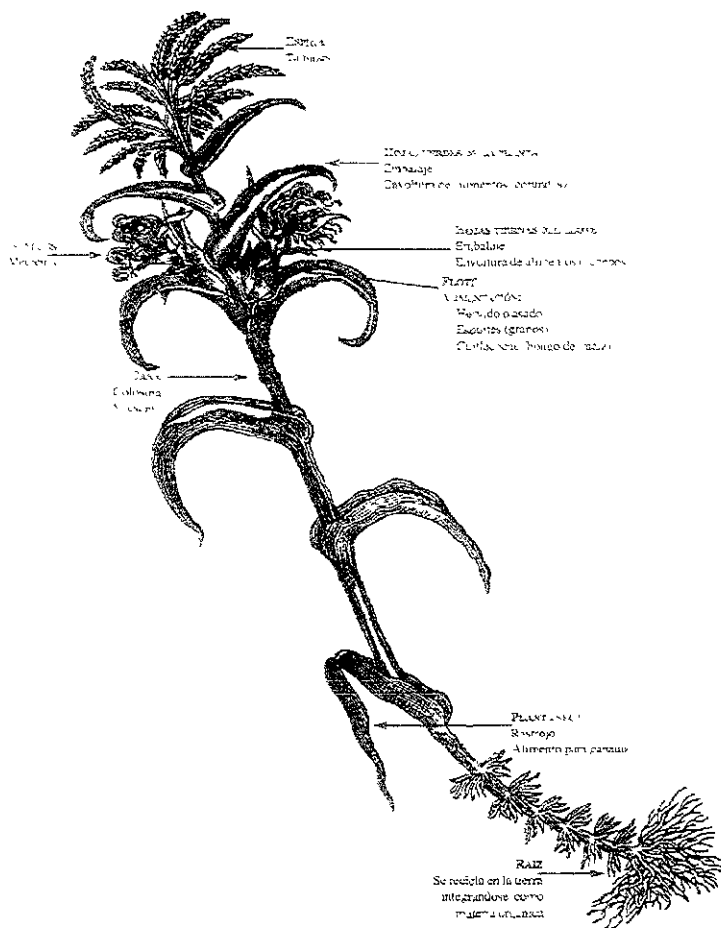


Fig. 1.4 Usos del maíz

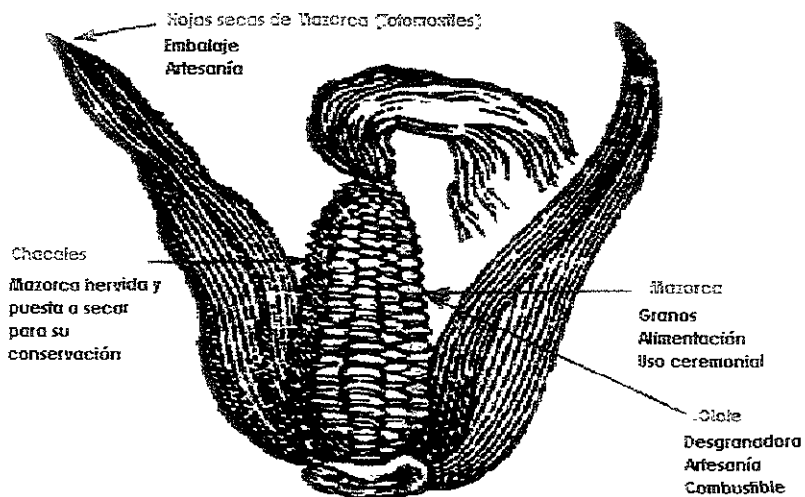


Fig. 1.5 Usos del maíz

1.4 PERDIDAS POSTCOSECHA

El maíz ocupa el segundo lugar en producción de grano en el mundo crece en todos los continentes excepto en la Antártida. Los líderes mundiales de producción de maíz son:

Cuadro 1.2 Producción mundial de maíz

País	'000 TM
Estados Unidos	235.141,00
China	104.350,00
Brasil	31.551,00
México	16.660,00
Sudáfrica	12.914,00
Francia	12.901,00
Argentina	10.636,00
India	10.500,00
Rumania	9.812,00
Italia	7.937,00

En el cuadro anterior se puede observar que en E.U se cultiva alrededor del 50% del maíz en el mundo (Almanaque Mundial 1996).

La causa principal de las pérdidas del grano almacenado son las infestaciones de insectos y hongos. (González-Alquinzones, 1995).

A continuación se presenta el porcentaje de pérdidas cuantitativas durante el almacenamiento de granos.

Cuadro 1.3 Pérdidas postcosecha a nivel mundial

PAIS	ALMACENAMIENTO Y POSTCOSECHA	AGENTE	PERIODO DE ALMACENAMIENTO (meses)	PERDIDAS (%)
E.U	almacenamiento	Insectos	12	0.5
México	postcosecha total	<i>S. oryzae</i>	3	10-25
Nicaragua	postcosecha total	<i>S. oryzae</i>	3	15-30
Paraguay	postcosecha total	<i>S. oryzae</i>	3	25
Venezuela	postcosecha total	<i>S. oryzae</i>	3	10-25
Brasil	almacenamiento en granja	<i>S. oryzae</i>	3	15-40
Rep. dominicana	almacenamiento en granja	<i>S. oryzae</i>	3	15
Honduras	almacenamiento tradicional	<i>S. oryzae</i>	3	20-25
Pakistan	postcosecha total	Insectos	12	2-7
Tanzania	almacenamiento	Roedores	6	20-100
Ghana	postcosecha total	Insectos	1 estación	7-14

Referencia: Anónimo, 1993.

En este cuadro (1.3) se puede observar que en los países desarrollados como E.U el porcentaje de pérdida es de 0.5%, mientras que en general las pérdidas grandes se obtienen en países de menor desarrollo que oscilan del 15-25% como son los valores reportados por países de Africa, como Ghana y

Tanzania y en América Latina se encuentran México, Venezuela y República Dominicana.

Es importante tener en cuenta todos los factores que afectan las cosechas, para evitar tantas pérdidas postcosecha, ya que el porcentaje es muy grande en los países anteriormente mencionados y este grano ya no puede utilizarse para consumo humano.

Existen diferentes métodos para eliminar los insectos, mohos y roedores y de esta forma controlar las pérdidas postcosecha.

Entre los factores físicos que influyen en las pérdidas postcosecha se encuentran:

Cosecha. Este método es un trabajo intensivo y costoso, minimiza los daños por trabajo mecánico. Las pérdidas están influenciadas por las prácticas de cosecha y la infestación del campo por insectos. En muchos lugares particularmente en Asia y África, la práctica tradicional de cosecha consiste en quitar las mazorcas maduras de la planta manualmente y permitir un secado en el campo después de la recolección. La exposición de los granos provoca que estos adquieran humedad y se deterioren. Algunos cultivos son más susceptibles de ser atacados por insectos, los cuales pueden desarrollarse durante el almacenamiento.

Los factores biológicos que favorecen la pérdida postcosecha son insectos, mohos, roedores y pájaros.

1. Insectos. La cosecha mecánica de los granos y semillas, así como su posterior manejo, son fuentes de daño físico que facilita la entrada de los hongos e insectos, y la basura que acompaña al grano impide el paso del aire y favorece el desarrollo de los mismos, por tener siempre humedades más altas que el resto del grano.

Se pueden clasificar a los insectos que destruyen al maíz como primarios y secundarios. Los insectos primarios son aquellos que inician el ataque al grano y pueden afectar directamente al embrión y endospermo de los cuales se alimentan. Los insectos secundarios pueden vivir asociados con los primarios aprovechando las condiciones establecidas por éstos (Alarcón, 1986).

Existen dos tipos de daños causados por los insectos: Daños directos y Daños indirectos.

- Daño directo

Pérdida de peso. Es el resultado de que los insectos consuman el grano.

Pérdida del valor alimenticio. El grano al ser atacado por los insectos presenta oxidación de carotenos, pérdida de carbohidratos y del germen.

Contaminación con olor. Algunos insectos y ácaros producen sustancias químicas que dejan un olor desagradable en el grano y sus productos.

- Daño indirecto

Incremento de impurezas en el grano almacenado.

Distribución de esporas de hongos de almacenamiento.

Transmisión de enfermedades a humanos.

Calentamiento del grano seco.

Contaminación con fragmentos de insectos.

Daños a silos y envases.

Algunos de los insectos más frecuentes que pueden dañar el maíz son resumidos a continuación:

Cuadro 1.4 Tipos de insectos que atacan al maíz

TIPO DE INSECTOS	CARACTERÍSTICAS	COMBATE
Acaros	Viven en las hojas formando pequeñas colonias, chupan la savia de la planta lo cual provoca que se sequen las hojas.	Para su control se aplican acaricidas como: Carbofenatión, Dimethoato Azinfolmetílico ParatiónMetílico
Trips	Raspan y chupan la savia de los tejidos tiernos se encuentran en el haz y envés de las hojas.	Se asperja la planta con insecticidas como: Malatión, Carbaryl, ParatiónEtilico, Dimethoato y Diazinón
Pulgones	Deforman las plantas ya que provocan una secreción de una mielecilla que favorece cierto tipo de hongos, obstruyen la transpiración y el proceso de fotosíntesis de la planta.	

Continúa Cuadro 1.4

Pulga negra	Este tipo de insecto destruye la plántula masticándola.	Para eliminarlos se utiliza el Malatión, Carbaryl, Mevinfos y Omethoato
Chapulines	Provocan defoliaciones parciales o totales de la planta	Se eliminan con cebos envenenados
Frailecillos	Destruyen el follaje y las espigas	Una forma de eliminarlos es mediante fumigaciones aéreas
Barrenador del maíz	Las larvas se alimentan del follaje y penetran en los tallos	Se utilizan insecticidas sistémicos como son: Dyfonate, Methomyl, Acefate y Carbofuran
Picudos	Perforan el tallo	El control se debe realizar en la primera semana de desarrollo de la planta, se utiliza el Malatión, Carbaryl, Mevinfos y Dimetoato.
Gusano Cogollero	Las larvas se alimentan del envés de la hoja y penetran en el cogollo y destruyen la yema terminal por lo tanto se detiene el desarrollo de la planta se seca y muere	Se utilizan insecticidas como: Clorpirifos, Carbaryl y Metalkamate.
Gusano elotero	Las larvas penetran en el elote y se lo comen	Su control químico es difícil por lo que se controla por fumigaciones aéreas

Referencia: Anónimo, 1983.

En el cuadro 1.5 se pueden observar otras referencias de insectos que se encuentran en el maíz y las humedades relativas óptimas para el desarrollo de los mismos dentro del almacén.

Cuadro 1.5 Humedades relativas óptimas para el desarrollo de insectos

Especie	Humedad relativa %
Oryzaephilus surinamensis (gorgojo aserrado de los granos)	90
Acanthoscelides obtectus	80
Plodia interpunctella, Sitotroga cereatella (palomilla del maíz)	75
Ephestia cautella, Sitophilus oryzae, Sitophilus zeamais (gorgojo del maíz), Sitophilus granarius, Tribolium castaneum, Tribolium confusum,	70

Continúa cuadro 1.5

Oryzaephilus mercator	
Rhyzopertha dominica (barrenillo de los granos)	55

Referencia: Anónimo, 1991.

Combate físico

Secado del grano. Es una práctica eficiente para minimizar la actividad de insectos, ácaros y hongos, se ha comprobado que pocas especies de insectos infestan al grano con un contenido de humedad del 10%. Aproximadamente entre un 13-18% de humedad existe infestación de insectos y con una humedad mayor al 18% predominan hongos y ácaros.

Temperatura. Es el factor de mayor importancia para el desarrollo y reproducción de hongos 36°C e insectos 28°C. Su principal desventaja es el alto costo del equipo y operación.

- Bajas temperaturas. Por medio de este método se incrementa la vida del grano, ya que se disminuye su actividad respiratoria, microbiana e insectil. Existen dos formas de lograr bajas temperaturas: por refrigeración y por aireación.
- Altas temperatura. Temperaturas arriba de 38°C, son desfavorables para muchos insectos en los granos almacenados, pero a pesar de esto existen

insectos resistentes al calor que pueden llegar a reproducirse a una temperatura de 40°C entre los que podemos mencionar *Rhyzopertha dominica* F.; *Tribolium confusum* y *Trogoderma granarium*. Existen otros insectos como el *Acarus siro* L. que sobrevive a temperaturas mayores de 56°C. La temperatura recomendable para eliminar cualquier insecto es de 60°C.

Tierras inertes. Las tierras inertes como tierras diatomeas, bentonite, sílica-aerogel, talco, dolomita, mármol, cal, greda, limo, caolín y fosfato tricálcico representa un método de combate para el control de plagas durante el almacenamiento. El método de acción es por abrasión, absorción y obstruyen el sistema respiratorio del insecto. Entre sus desventajas se encuentra: baja efectividad en condiciones húmedas, provoca abrasión a máquinas y equipo y pueden ser un riesgo de salud para los trabajadores.

Radiaciones. Se pueden utilizar diferentes radiaciones dependiendo del tratamiento, frecuencia, intensidad y tiempo de aplicación de las mismas. Las radiaciones que más se utilizan se encuentran las iónicas, las cuales se pueden utilizar en la forma de radiaciones gama, ultravioleta y rayos x. El mecanismo de acción sobre el insecto provoca daño en el núcleo de su célula y es efectiva en células que están en desarrollo embrionario (huevos de insecto) (González-Alquinzones, 1995).

Combate biológico

El combate biológico puede ser por medio de predadores, sin embargo su uso no es práctico ya que el nivel predator-infestación debe ser alto para que el control sea efectivo. Las bacterias y los virus también pueden utilizarse para el combate de los insectos.

Combate químico

Entre las sustancias químicas que más se utilizan en el manejo de grano almacenado son los siguientes:

Cuadro 1.6 Tipo de pesticidas

PESTICIDAS TIPO	PESTICIDA NOMBRE	OBSERVACIONES
insecticidas	Malatión	Tratamiento de silos, protector, tratamiento superficie del grano, cordón sanitario.
	Piretroides	Tratamiento de silos y combate de insectos.
	Butóxido de piperonilo	Tratamiento de silos y combate de insectos.
	Diclorvos	Combate de insectos.
	Bacillus turingiensis	Combate de larvas de palomillas.
	Metoxicloro	Tratamiento de silos, Cordón sanitario.
	Lindane	Cordón sanitario.
Fumigantes	Diazinón	Cordón sanitario.
	Fostoxín	Como fosfina; combate de insectos.
	Bromuro de metilo	Como bromo inorgánico; combate de insectos.
	Cloropicrina	Indicador de bromuro de metilo

Continúa Cuadro 1.6

	<p>CO₂ Nitrógeno</p> <p>Cianuro de hidrógeno Cianuro de calcio</p>	<p>Atmósferas controladas Atmósferas controladas, liberación rápida de bromuro de metilo</p>
--	---	--

Referencia: González-Alquinzones, 1995.

2. Mohos. Las principales causas que originan estas pérdidas son la carencia de estructuras para almacenamiento y la conservación de las cosechas, la falta de métodos, técnicas y equipo para el manejo de los granos a partir de la cosecha, y sobre todo la falta de información técnica y de personal calificado. Es importante señalar que la humedad contenida en los granos y semillas se distribuye en forma no uniforme no solamente dentro de la masa de grano sino de grano a grano, así como en granos que se encuentran juntos. Alrededor de 25 diferentes especies de hongos que se conocen pueden infectar los granos en el almacenamiento, estos se denominan hongos de almacén y hongos de granos almacenados. El *Aspergillus*, *Fusarium* y el *Penicillium* son los más comunes (se han registrado mas de 60 especies en granos de maíz y derivados) Anónimo (1991).

El *Aspergillus flavus* produce sustancias tóxicas llamadas aflatoxinas, consideradas metabolitos secundarios secretados bajo condiciones específicas de temperatura, humedad y composición del sustrato (González-Alquinzones, 1995). Las aflatoxinas son sustancias con alto poder cancerígeno, teratógeno y mutágeno, y el órgano más afectado es el hígado, alterando la absorción y

metabolismo de las vitaminas, los lípidos y los minerales. Debido a que las aflatoxinas son acumulativas pueden pasar del tracto digestivo a la carne, a la leche y a los huevos de los animales que consumen alimentos contaminados con el consiguiente riesgo que estos lleguen a los consumidores. Una alternativa para inhibir el desarrollo de aflatoxinas es la utilización de urea en una concentración de 0.1, 0.3 y 0.5%, las cuales no causan daño, manteniendo una humedad relativa del 95%. Se recomienda el uso de urea para maíz almacenado por 8 semanas (González, 1986).

Los productos que más frecuentemente se encuentran contaminados con las aflatoxinas son el maíz, la copra y el cacahuate. La prevención de la contaminación del maíz de *Aspergillus flavus* se logra al evitar que el hongo encuentre las condiciones adecuadas para su desarrollo es decir, evitar que el maíz se maneje en contenidos de humedad altos y la temperatura debe ser lo más baja posible durante el almacenamiento. Para el análisis de las aflatoxinas se han desarrollado muy diversos métodos entre los que podemos mencionar cromatografía de capa fina, de columnas, líquida de alta resolución, los de inmuno-ensayo o serológicos, etc. Los hongos de almacén que más daños causan a los granos y semillas requieren humedades relativas superiores al 75 %.

Otro factor que también influye en el desarrollo de los hongos, es el oxígeno, ya que estos microorganismos son aerobios, por lo que bajo condiciones

de bajo contenido de oxígeno en el aire de almacenamiento aproximadamente 1% los hongos ya no se desarrollan (Anónimo, 1991)

A continuación se pueden observar en el cuadro 1.7 la humedad relativa a la cual crecen diferentes hongos tanto en cereales como oleaginosas y la humedad de las materias primas en las cuales se pueden desarrollar.

Cuadro 1.7 Humedades óptimas para el desarrollo de hongos.

Humedad Relativa %	% Humedad del grano			Hongos
	Avena, arroz, cebada, centeno, maíz, sorgo, trigo y triticale	Soya	Cártamo cacahuete girasol	
65-70	13.0-14.0	12.0-13.0	5.0-6.0	Aspergillus halophilicus
70-75	14.0-15.0	13.0-14.0	6.0-7.0	A.restrictus A. glaucus
75-80	14.5-16.0	14.0-15.0	7.0-8.0	A. candidus A.ochraceus, más los de arriba.
80-85	16.0-18.0	15.0-17.0	8.0-10.0	A. flavus, Penicillium, más los de arriba.
85-90	18.0-20.0	17.0-19.0	10.0-12.0	Penicillium, más de los de arriba.

Referencia: Anónimo, 1991.

Para combatir la proliferación de hongos se deben mantener ciertas condiciones que no los favorezcan como son: mantener baja humedad del ambiente y de los granos, baja temperatura de almacenamiento, combinaciones de ambos factores, mantener un conocimiento continuo y

preciso de la condición de los granos y semillas al momento de su recepción y durante su almacenamiento, uso de inhibidores químicos dentro de los cuales podemos mencionar tres métodos: álcalis, ácidos y oxidantes, de estos tres los álcalis son los más eficientes (González, 1986), uso de fungicidas en semillas agrícolas y sacar ventajas de la variabilidad genética que las semillas tienen en relación con su resistencia al ataque de los hongos postcosecha.

Entre los inconvenientes que presentan usar inhibidores químicos, es que son corrosivos, destruyen el poder germinativo de las semillas, imparten olores y sabores desagradables, debido a esto se recomiendan en alimentos para ganado únicamente y no se pueden usar para tratar semillas, sin embargo algunas prácticas que se llevan a cabo en el campo para la descontaminación del grano es mediante el uso de amoníaco ya sea en forma de gas o líquido, el cual puede desinhibir de un 95-98% de las aflatoxinas que contaminan a los cereales (González, 1986).

Actualmente se permite para humanos la ingestión de alimentos como el maíz, contaminados con 20 mg de aflatoxina B.

Las enfermedades fungosas se pueden controlar mediante un adecuado sistema de rotación, uso de semillas sanas, desinfectadas, variedades resistentes y un buen drenaje del suelo.

A continuación se presenta el cuadro 1.8 donde se muestran los síntomas más comunes de las enfermedades fungosas que se desarrollan en el maíz.

Cuadro 1.8 Enfermedades fungosas más comunes del maíz

ENFERMEDAD	SINTOMA
Pudrición de la semilla y de las plántulas	
Carbón de la espiga	Los síntomas aparecen en la espiga, que adquiere un color negruzco por las esporas.
Pudrición de la mazorca	Los granos adquieren un color rosado, rojizo o café oscuro. Los tallos muestran lesiones rojizas y la planta madura prematuramente.
Tizón de la hoja	El daño se muestra en manchas necróticas de la lámina de la hoja, que en estado avanzado presenta un color gris o negro.
Mildiú	Según la especie del patógeno, los síntomas pueden ser clorosis estriada, achaparramiento, manchado de hojas y escoba de bruja. La espiga tiene un desarrollo anormal en forma de roseta.
Carbón de maíz o Huillacoche	Al principio el hongo produce masas blancas de micelio. Estas manchas se tornan negruzcas al madurar las esporas.

3. Roedores que atacan al maíz

Dentro de los roedores se encuentran las ratas, ratones y tuzas los cuales atacan las plantas jóvenes del maíz, entre los más comunes se encuentran los que se describen en el siguiente cuadro:

Cuadro 1.9 Tipos de roedores que atacan al maíz

Tipo de ratas	Tipo de daño	Tipo de combate	Enfermedades que pueden transmitir
Rata de Noruega (Rattus norvegicus)	Contaminación con excremento, pelos y orina.	Cebos envenenados con base en	Peste Tularemia Dermatitis
Rata de los tejados (Rattus rattus)	Roer materiales no comestibles como cables eléctricos	Walfarina, estricnina y sulfato de Tanio	Rickettsiasis Micosis Salmonelosis
Ratón casero (Mus musculus)	Contaminación con excremento, pelos y orina. Los excrementos son pequeños.		Triquinosis

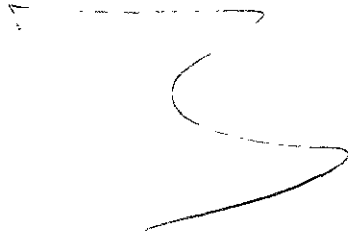
4. Pájaros que atacan al maíz

Son muy importantes en la conservación de granos debido a que lo contaminan con sus excrementos, plumas, ectoparásitos y residuos de nidos. Pueden bloquear los desagües con sus nidos y provocan que el agua entre a las bodegas. Los pájaros comen granos maduros y se pueden eliminar por diversos métodos por ejemplo con cebos envenenados.

El combate de estas plagas es muy difícil debido a que muchos de ellos están protegidos por leyes municipales, estatales y por tratados internacionales como el de los pájaros migratorios, signado por México, Estados Unidos y Canadá. Las plagas más comunes de pájaros se muestran a continuación:

Cuadro 1.10 Plagas más comunes de pájaros

Tipo de pájaro	Tipo de daño	Tipo de combate	Enfermedades que pueden transmitir
Paloma común <i>(Columbia livia)</i>	El ácido de sus residuos causa una permanente oxidación y corrosión en las partes metálicas de las edificaciones	Trampeo con cebo envenenado, repelente de naftalina,	Ornitosis de paloma, Encefalitis viral, Histoplasmosis, Toxoplasmosis.
Pájaro Europeo <i>(Sturnus vulgaris)</i>	Representan un problema en los elevadores de grano en los campos de maíz y árboles.	ultrasonidos, sonidos biológicos, uso de maniquí,	
Gorrion inglés <i>(Passer domesticus)</i>	Se alimentan de semillas, frutas, insectos y plantas.	narcoquímicos, mallas metálicas.	



PROCESO DE ELABORACIÓN DE TORTILLAS

II. PROCESO DE ELABORACIÓN DE TORTILLAS

II.1 CONDICIONES DE PROCESO

El origen de la tortilla se pierde en la más remota historia de nuestro territorio. En náhuatl le llamaban *tlaxcalli*, la cual significa "cosa cocida". Los métodos empleados para la elaboración de tortillas desde épocas prehispánicas en realidad no han sufrido grandes cambios y en la actualidad esta tecnología aún está vigente.

Sin embargo, las condiciones del procesamiento en la obtención del nixtamal varían dependiendo del tipo de escala de producción (doméstica, comercial o industrial); de los hábitos regionales y formas de consumo así como variedad del grano. Estas variaciones pueden considerarse no significativas, si se analiza que siempre existe la relación entre los parámetros involucrados: porcentaje de cal, tiempo de procesamiento, tiempo de reposo y temperatura empleada (Alcántara, 1981).

Tanto en México como en E.U se utilizan diferentes métodos de cocción utilizando como primer paso la nixtamalización. Por ejemplo en el cuadro 2.1 se muestran diferentes condiciones reportadas para el tratamiento alcalino, en el que se observa que la cantidad de cal puede variar del 0.1 al 2%, la temperatura

II. PROCESO DE ELABORACIÓN DE TORTILLAS

II.1 CONDICIONES DE PROCESO

El origen de la tortilla se pierde en la más remota historia de nuestro territorio. En náhuatl le llamaban *tlaxcalli*, la cual significa "cosa cocida". Los métodos empleados para la elaboración de tortillas desde épocas prehispánicas en realidad no han sufrido grandes cambios y en la actualidad esta tecnología aún está vigente.

Sin embargo, las condiciones del procesamiento en la obtención del nixtamal varían dependiendo del tipo de escala de producción (doméstica, comercial o industrial); de los hábitos regionales y formas de consumo así como variedad del grano. Estas variaciones pueden considerarse no significativas, si se analiza que siempre existe la relación entre los parámetros involucrados: porcentaje de cal, tiempo de procesamiento, tiempo de reposo y temperatura empleada (Alcántara, 1981).

Tanto en México como en E.U se utilizan diferentes métodos de cocción utilizando como primer paso la nixtamalización. Por ejemplo en el cuadro 2.1 se muestran diferentes condiciones reportadas para el tratamiento alcalino, en el que se observa que la cantidad de cal puede variar del 0.1 al 2%, la temperatura

de cocimiento desde 76.6°C hasta ebullición y los tiempos de cocimiento/reposo desde 5 minutos hasta 16 horas.

Cuadro 2.1 Diferentes métodos utilizados para el tratamiento alcalino

AUTOR	CANTIDAD DE CAL* (%)	TEMPERATURA DE COCIMIENTO (°C)	RELACIÓN MAÍZ: AGUA	TIEMPO DE COCIMIENTO/ TIEMPO DE REPOSO
ABBAS, H. K Y COL.	2.0	EBULLICIÓN	(A)	5 MIN 12 HORAS
ALARCÓN, A. L Y COL.	1.5	95.0	1:3	40 MIN 14 HORAS
BAZUA, C. D Y COL.	1.0	EBULLICIÓN	1:3	20 MIN 15 HORAS
BEDOLLA, S Y COL.	1.0	EBULLICION	1:3	70 MIN 15 HORAS
BRESSANI, R. Y COL.	1.2	94.0	1:1.2	50 MIN 14 HORAS
CHOTO, C. E. Y COL.	1.0	(A)	1:3	90 MIN 4 HORAS
CHU, N. T Y COL.	(A)	76.6	1:1.5	15-30 MIN
CRAVIOTO	1.0	80.0	1:2	20-45 MIN 10 HORAS
DEL VALLE, F. R Y COL.	1.4-2.0	EBULLICIÓN (100°C)	(A)	50 MIN 10 HORAS
GUERRA, R. Y COL.	1.0	EBULLICIÓN	1:4	(A)
GREEN, J. R. Y COL.	1.0	80.0	1:2	20-50 MIN 12 HORAS
JACKSON, D. S Y COL.	1.0	EBULLICIÓN	1:2.5	20 MIN 16 HORAS
JIMÉNEZ, A. Y COL.	1.5	EBULLICIÓN	(A)	60 MIN 14 HORAS
KHAN, M. N Y COL.	2.0	EBULLICIÓN	1:2	35 MIN
MACHORRO, V. L.	1.0	94	1:3	30 MIN 14 HORAS
MORAD, M. M Y COL.	0.1	EBULLICIÓN	1:1	30 MIN 12 HORAS
ORTEGA, E. Y COL.	1.0	92.0	1:2	50 MIN 16 HORAS
PAREDES LÓPEZ, O. Y COL.	2.0	94.0	1:2	50-90 MIN 14 HORAS
SANDERSON, J. Y COL.	1.6	95.0	1:1.9	90 MIN
SERNA SALDIVAR Y COL.	1.0	(A)	1:3	60 MIN 120 MIN
ULLOA SOSA, M. Y COL.	12.5	(A)	1:1.6	CUANDO SE DESPRENDA EL PERICARPIO

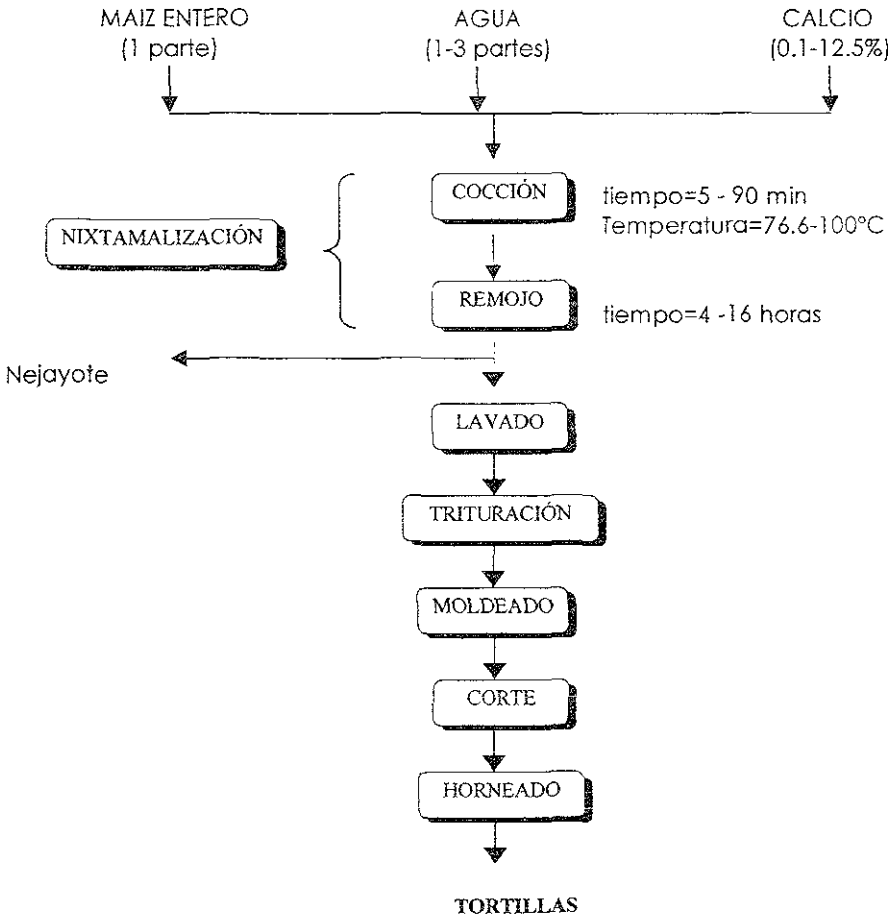
Referencia: Rubín, 1990 y Cabrera, 1983.

Nota: * en base al peso del maíz. (A) no especificado

II. 2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Una descripción generalizada del proceso industrial de elaboración de tortilla es presentada en el diagrama de bloques 2.2 (Juárez,1997)

2.2 DIAGRAMA DE BLOQUES PARA LA ELABORACIÓN DE TORTILLAS



NIXTAMALIZACIÓN: La nixtamalización se divide en dos fases:

1) Cocción alcalina. El cocimiento del maíz tiene la función de hidratar al grano, suavizar el pericarpio, desnaturalizar proteínas y gelatinizar parcialmente el almidón. El tiempo de reposo debe permitir la difusión de la humedad dentro del grano para producir nixtamal hidratado homogéneamente. Este método tradicional es usado desde los tiempos de los aztecas y comienza con la cocción del maíz entero en agua con cal, a una temperatura alta de cocción en un tiempo de 12 a 24 horas, al término de la nixtamalización queda un líquido rico en sólidos llamado nejayote, después del lavado se remueve el pericarpio formándose grumos, los cuales forman la masa de maíz que posteriormente es utilizada para la preparación de tortillas. El maíz de forma industrial es cocinado con cal en un cocedor vertical con agitadores. El grano generalmente es mezclado de 1 a 3 partes de agua y 0.1 a 12.5 % de cal, basado en el peso del grano y cocinado de 5-90 min. en un rango de temperatura de 76.6-100°C.

2) Remojo. El nixtamal es remojado de 4-16 hr en una solución caliente de cal. El remojo del maíz reduce el tiempo de preparación de 80 a 50 min y disminuye un 40% de gasto debido a la poca utilización de energía (Morad,1986).

LAVADO. Después del remojo, el maíz cuando es preparado de forma tradicional es lavado de forma manual y si es por el método industrial es bombeado con el líquido de remojo a los lavadores. El líquido de cocción es

drenado y el nixtamal se lava con agua presurizada. El lavado tiene dos funciones principales en el proceso: 1) Eliminar el pericarpio ya suavizado, el exceso de cal y el agua de cocimiento y 2) Enfriar el nixtamal dependiendo del tipo de cocimiento empleado. Se puede aplicar un mezclado o agitación para mejorar la transferencia de los materiales y de esta forma aumentar la eficiencia de lavado.

TRITURACION Y MOLIENDA. El nixtamal limpio es molido en un metate hasta obtener una masa. En un proceso industrial el nixtamal se descarga en un triturador de piedra donde se produce la masa. El triturador consiste en dos piedras volcánicas o sintéticas que giran radialmente una es estacionaria y la otra gira de 500-700 rpm. El tamaño de partícula de la masa está relacionada directamente por el espacio o la presión de las dos piedras así como el tamaño y la profundidad de las ranuras. Durante la trituración del nixtamal, este es convertido en una masa plástica. Las tortillas son tratadas generalmente con acidulantes y agentes como sorbatos y propionatos para alargar la vida útil. El rango de temperatura de la masa fresca común en la industria cuando sale del molino es de 50-75°C.

MOLDEADO Y CORTE. La masa obtenida del metate se le da forma de pequeñas bolas de masa y en forma manual se moldean en discos que generalmente tienen 20cm de diámetro. En la industria la pasta obtenida es amasada en mezcladoras o extractores para alimentar a la máquina que dará

forma a las tortillas. En esta etapa es donde se reflejan los efectos del cocimiento y molienda. Desafortunadamente en caso de presentarse efectos indeseables, estos no pueden corregir las características del nixtamal o la masa ya elaboradas.

HORNEADO. Las tortillas de forma tradicional son cocinadas en un comal. El horneado en la industria se lleva a cabo a una temperatura de 280-302°C por 30-45 seg, después son enfriadas y empaquetadas. El horneado tiene las funciones de cocer y secar parcialmente la masa, impartir una apariencia ligeramente tostada y desarrollar la textura final de la tortilla. El contenido de humedad de la masa debe ser suficiente para producir el vapor requerido para enfriar la pieza y mantener suficiente humedad residual en la tortilla final. El calentamiento del agua durante el horneado causa gelatinización del almidón y desnaturalización de las proteínas que interaccionan con fibra y grasa creando una estructura que al deshidratarse es responsable de la textura de la tortilla.

II.3 CAMBIOS FISICOQUIMICOS EN LA NIXTAMALIZACIÓN

En el proceso de elaboración de tortillas la nixtamalización es la operación más importante. La palabra **Nixtamalización** proviene del náhuatl derivada de **nexlli** que significa ceniza o cenizas de cal y **tamalli**, masa de maíz.

El posible origen de la nixtamalización comenzó cuando el hombre prehispánico guardó su grano de cosecha para transformarlo en algo que pudiera comer. De esta forma el grano duro y seco se convirtió en una masa con la que se hicieron las primeras tortillas.

Tal vez el primer sistema que se empleó para hacer las tortillas, fue moler el maíz directamente y obtener un polvo (la harina) al cual se le podía agregar agua formando una pasta la cual se cocía fácilmente y además se prestaba, para moldear las tortillas. A pesar de las ventajas que presentaba esta pasta se descomponía con facilidad debido a la oxidación enzimática de las grasas del germen, que producen rancidez, por lo que el hombre prehispánico tuvo que buscar la forma de remover la punta del maíz, puesto que es en esta parte es donde se aloja el aceite que se oxida. Debido a lo anterior se utilizó el fuego para remover los granos por cocción y desprender la punta. Con el paso del tiempo descubrieron que la ceniza producida por la leña utilizada para cocer los alimentos sería de gran utilidad, porque la ceniza (óxido de sodio y potasio) mezclado con agua se convierte en una "lejía" alcalina que ablanda y destruye la cáscara del grano.

En la actualidad esta ceniza es sustituida por la cal viva o apagada que en presencia de agua forma el hidróxido de cal y este producto químico es el más utilizado aún en nuestros días.

Algunas investigaciones antropológicas demuestran que desde el origen de nuestra civilización precolombina el maíz era tratado con cal. En algunas comunidades aún se usan conchas de ostión y caracol como fuente de cal.

El proceso térmico-alkalino trae como resultado el desprendimiento de la cáscara y la suavización del grano con una pérdida parcial de ciertos componentes y pérdida importante de fibra cruda, ocurriendo en forma paralela ciertos cambios fisicoquímicos (López, 1986).

Los lugares donde se presentan mayores cambios por cocimiento son: el pericarpio y la parte del endospermo conocida como aleurona, en donde se observan reblandecimientos muy importantes (Buendía, 1981).

La cocción alcalina y el remojo causan una disolución parcial de la cutícula y las paredes del pericarpio así como, hinchazón y debilitamiento de las paredes de la célula y los componentes de la fibra, lo cual facilita la eliminación del pericarpio (Pomeranz, 1990).

Cambios en el pericarpio

Como la celulosa y la lignina no se hidrolizan con soluciones alcalinas diluidas; estas quedan prácticamente íntegras. Sin embargo, la hemicelulosa que se encuentra en tres cuartas partes del pericarpio es fácilmente hidrolizadas con

álcalis (aproximadamente el 50%). Se considera que el nixtamal se encuentra listo cuando al tomar los granos entre los dedos y aplicar una fuerza el pericarpio se desprende con facilidad (Buendía, 1981).

La célula de aleurona permanece intacta y ligada al endospermo periférico. Las paredes de la célula son parcialmente degradadas y solubilizadas como indicación de la pérdida de fluorescencia en las paredes de la célula del endospermo periférico (Pomeranz, 1990).

Cambios en el endospermo

En las primeras regiones del endospermo córneo se observa hinchamiento en los gránulos de almidón, aumentando el tamaño de estos con la absorción de agua, fenómeno conocido como gelatinización. Cuando una suspensión de almidón se somete a la acción del calor y reactivos químicos apropiados, ocurre un debilitamiento de la red micelar del gránulo y posterior rompimiento de los puentes de hidrógeno que mantienen la estructura. Esto permite una hidratación, hinchamiento y entumecimiento irreversible del gránulo con un subsecuente aumento de viscosidad, cambios que son significativos en las propiedades de la pasta. El aumento de viscosidad durante el enfriamiento, refleja la tendencia del almidón a retrogradarse y este fenómeno proporciona a la masa una textura ideal para manufacturar tortillas (Buendía, 1981).

Aunque las proteínas del endospermo permanecen adheridas a los gránulos de almidón, la cocción alcalina provoca cambios físicos aparentes en los cuerpos de las proteínas (Pomeranz, 1990).

Los cambios físicos más drásticos que ocurren después de la nixtamalización son: gelatinización del almidón y una probable unión de hemicelulosa-calcio-almidón (Vázquez, 1990).

Cambios en el germen

La textura inicial del germen es mantenida durante la nixtamalización, la cual tiene efectos positivos en la calidad de la proteína de todos los productos obtenidos de la masa (Pomeranz, 1990).

La retención del germen en el proceso de elaboración de tortillas es importante nutricionalmente ya que constituye aproximadamente el 12% del peso del grano y es una fracción con alto contenido de lípidos, de fósforo 2.4%, potasio 2.3% y magnesio 1.4%. De los azúcares presentes en el germen aproximadamente el 67% es glucosa y las proteínas se encuentran repartidas en 30% albúminas, 30% globulinas, 2.5% glutelinas y 5% de zeína (Buendía, 1981).

Cambios en las proteínas

La cocción alcalina cambia la solubilidad de la proteína del maíz ya que esta operación y el horneado de la tortilla decrece la solubilidad de proteínas solubles en agua-sal (albúminas y globulinas) y las proteínas solubles en alcohol (prolaminas) e incrementa la cantidad de proteína que no se puede extraer. Otro cambio que se presenta es la distribución del peso molecular de las diferentes fracciones de proteína. Estos cambios químicos son responsables de la baja solubilidad de la proteína y altas cantidades de proteína insoluble en los residuos (Pomeranz, 1990).

Entre los cambios que sufre el maíz destaca el aumento de la disponibilidad de algunos aminoácidos esenciales como lisina, treonina, histidina y metionina. El aumento en la disponibilidad, es debido a que el calcio interacciona con los enlaces disulfuro de residuos de cistina de la fracción proteica glutelina del grano, provocando que el complejo se abra y deje disponibles a los aminoácidos y la fracción zeína se hace menos digerible (Pomeranz, 1990).

Entre los aminoácidos esenciales que sufren una reducción durante la nixtamalización se encuentran: leucina con 21%, arginina 18.9%, cistina 12%, histidina 8.7% y lisina 5.3% y entre los aminoácidos no esenciales se encuentran: prolina 8.7%, serina 7.1% y ácido glutámico 6.3% (Buendía, 1981).

Cambios en el almidón

Aunque los gránulos de almidón están severamente restringidos por la matriz proteica y las paredes de las células, éstos absorben agua y se hinchan durante la cocción y remojo. La susceptibilidad de la hidrólisis del almidón por glucoamilasa se incrementa cuando el maíz tiene una cocción alcalina. Cuando son vistos bajo un campo de luz se observan grupos de gránulos agregados. La superficie de gelatinización provoca que estos se mantengan unidos. Bajo la luz polarizada la mayoría de los gránulos de almidón exhiben birrefringencia. La gelatinización inicial ocurre cuando existe interferencia entre los enlaces híbridos los cuales se debilitan y eventualmente desaparecen en el almidón hinchado. La estructura del gránulo de almidón nativo es parcialmente rota durante la cocción por lo que existe una menor organización en la estructura (Pomeranz, 1990).

Las alteraciones causadas en la cristalinidad del almidón por la cocción, son parcialmente restauradas por la recristalinización durante el remojo. La reasociación de las moléculas de almidón favorece el desarrollo de propiedades reológicas de la masa (Pomeranz, 1990).

Cuando el nixtamal se convierte en la masa ocurre un daño mecánico y térmico debido a la fricción entre el material y el equipo de molienda. En algunos casos la molienda puede incrementar la temperatura de 26 a 52°C.

Aproximadamente del 4-7% de los gránulos de almidón pierden completamente la birrefringencia durante la cocción alcatina, el remojo y la molienda. Muchos de los gránulos de almidón tienen forma irregular y algunos de ellos (del 60-70%) presentan birrefringencia individual. Este pequeño pero significativo cambio en la fracción del almidón de maíz modifica las propiedades de la pasta impartiendo las características de textura característica de la masa (Pomeranz, 1990).

La mayoría de la birrefringencia y la cristalinidad se pierde cuando se da la forma de la masa (discos) y se cocina en forma de tortilla. La combinación del calor (280-302°C) y la alta humedad (51-55%) facilita la gelatinización del almidón. De cualquier modo la gelatinización está incompleta debido al corto tiempo de cocción (20-40 seg). La típica flexibilidad de la tortilla semiplástica es el resultado de estos cambios. El sabor de la tortilla aumenta por las reacciones de oscurecimiento de Maillard, estas ocurren entre azúcares reductores, péptidos y ácidos grasos insaturados.

En el caso en que las tortillas son fritas para producir chips, la mayoría de la humedad se evapora y es reemplazada por aceite, y los gránulos de almidón pierden la birrefringencia y cristalinidad (Pomeranz, 1990).

Cambios en lípidos

Hay poca información sobre el papel de los lípidos durante la nixtamalización. Sin embargo se ha observado una pérdida del 12 al 15% del extracto etéreo en la transformación del maíz en nixtamal. La fracción lipídica en la masa está compuesta por lípidos parcialmente emulsificados localizados en la fase acuosa y los lípidos libres que interaccionan con péptidos y carbohidratos, ambos alteran las propiedades funcionales de la masa (Pomeranz, 1990).

Cambios en las vitaminas

Otro cambio importante es la liberación de vitaminas que se encuentran formando parte de un complejo que resulta difícil de atacar por las enzimas digestivas de monogástricos, de manera que el proceso de nixtamalización aumenta la disponibilidad de las vitaminas. El aumento en la disponibilidad de la niacina trae como consecuencia la aparente ausencia de pelagra en México. (Pomeranz, 1990). En los colorantes, por su alcalinidad, dichas vitaminas intensifican el color de los derivados flavónicos, virando también las antocianinas (Ochoa,1981).

Cambios producidos durante el remojo y cocimiento

Agua y Calcio

El maíz cocinado en una solución de cal absorbe más agua que cuando se cuece solo en agua. Durante la cocción con cal el contenido de humedad del grano es 10-12% y se incrementa hasta el 40-42%. El grano absorbe agua rápidamente durante los primeros 15 minutos de cocción.

En el remojo posterior al cocimiento se incrementa el contenido de humedad del grano del 4 a 7% y se distribuye más el agua por todo el mismo (Pomeranz,1990).

Los iones de calcio son acarreados por el agua hacia la parte superior, el germen y el pericarpio. La absorción del calcio tiene una tendencia similar a la absorción del agua pero es mucho más lenta. La mayoría del calcio es retenido en el germen y el pericarpio. Se ha encontrado aproximadamente 2.9 veces más de calcio en el almidón de granos cocinados con cal que en los granos no tratados (Pomeranz, 1990).

Pérdida de materia seca

La pérdida de materia seca del grano durante la cocción y remojo varía considerablemente, dependiendo del tipo de maíz, de las condiciones y métodos de proceso. El Nejayote de un proceso típico de cocción-remojo consiste en 2.8% de sólidos, de los cuales 60% son solubles y 29% corresponden a las cenizas donde la mayor parte es cal. Se ha reportado que en el proceso comercial de maíz, el total de materia seca perdida es repartida entre las etapas de cocción-remojo (2.8-10.7%) y el lavado (1.6-2.0%); mientras que en un proceso de cocción con vapor (60 mín, 68°C y 8 hrs de remojo), se tiene un total de 8.4% de pérdidas, 70% la cual ocurre durante la cocción alcalina y el resto ocurre durante el remojo.

La solidez del grano afecta la pérdida de materia seca, los granos rotos pierden más sólidos que los granos fisurados. Las diferencias entre la composición química del grano y la masa se pueden visualizar como pérdidas de nutrientes durante la nixtamalización. El pericarpio rico en fibra, contribuye a la pérdida de materia seca. El calor y los altos esfuerzos durante el proceso afectan la pérdida de otros componentes químicos. La pérdida total de almidón, proteína y lípidos en el proceso comercial se encuentra por debajo del 5, 2 y 20% respectivamente. Estos rangos pueden variar cuando se cocinan granos suaves o existen granos rotos (Cuadro, 2.3).

Cuadro 2.3 Pérdida de materia seca y nutrientes en maíz normal y dañado procesado por método tradicional y comercial

	Pérdida (%)
Pérdida de Materia Seca^a	
Método de cocción	
• Cocción tradicional ^b	14.4
• Cocción con vapor ^c	8.4
Tiempo de Cocción	
• Método Tradicional	
Tiempo mínimo	11.0
Tiempo óptimo	12.5
Tiempo máximo	13.0
• Método Comercial	
Tiempo mínimo	7.0
Tiempo óptimo	8.5
Tiempo máximo	9.0
• Cocción a presión	
Tiempo mínimo	8.8
Tiempo óptimo	10.9
Tiempo máximo	11.5
Distribución de la pérdida de Materia Seca^d	
• Cocción con cal	
Disuelta	1.94
Suspendida	1.28
Total	3.22
• Cocción con cal y remojo	
Disuelta	4.69
Suspendida	2.66
Total	1.35
• Lavado	1.86
Pérdida total	9.21
Daño físico del grano de maíz^e	
• Daño Suave	7.75
• Daño Severo	8.85
Pérdida de nutrientes^{d,f}	
• Polisacáridos ^g	53.9
• Extracto etéreo	14.8
• Almidón	2.1
• Proteína	1.4

Referencia: Pomeranz, 1990.

a Pérdidas de materia son porcentajes de materia seca en grano

b Pérdidas de materia seca, incluye la masa que se queda pegada a la piedra del molino.

c Maíz cocinado con cal por 60 min a 68°C y un remojo de 8 hr

d Promedio de 5 diferentes procesos comerciales, excepto la pérdida de grasa la cual es un promedio de 4 diferentes procesos comerciales.

e Promedio de 8 observaciones correspondientes a 3 tipos de maíz tratado con daño físico.

f Porcentajes de los componentes respectivos en maíz crudo.

g Polisacáridos son principalmente de la fracción de fibra.

VENTAJAS DE LA NIXTAMALIZACION

1. Desnaturalización de las proteínas del maíz, especialmente las glutelinas haciéndolas más digeribles debido a su capacidad de solubilizarse en ácidos (pH 2) o en álcalis (pH 12) (Badui, 1990).

2. Las gluteninas están compuestas por lisina y triptófano por lo que al ser tratadas con cal aumenta la disponibilidad biológica de estos dos aminoácidos esenciales (López, 1986).

3. En el maíz la niacina se encuentra en forma de niacinógeno, al ser sometida al proceso de nixtamalización se vuelve disponible al igual que el triptófano considerado precursor de esta vitamina; permitiendo que los consumidores tengan un mayor aporte de la vitamina (Badui, 1990).

4. La hemicelulosa es soluble en soluciones alcalinas concentradas (pH 12.4) provocando su hidrolización y reduciendo la fibra cruda debido a la pérdida parcial del pericarpio obteniéndose una tortilla con textura suave (Bressani, 1962).

5. El contenido de calcio en el grano nixtamalizado aumenta aproximadamente 4.5 veces con respecto al grano no tratado (640 y 140 mg/kg respectivamente). Esto suple más del 50% de las necesidades nutritivas de calcio

que van de 800 a 1200 mg/día dependiendo de la edad, sexo, peso, estatura del individuo (López, 1986).

6. La presencia de algunas sales disminuye la temperatura a la cual se inicia la gelatinización y la proporción en la que se realiza la misma. El almidón del maíz se gelatiniza en presencia de iones calcio o en medio alcalino a temperatura ambiente; estos cambios determinan las principales propiedades mecánicas de la masa de maíz gelatinizado (López, 1986).

7. Durante la cocción y el reposo del maíz tienen lugar cambios físicos y químicos en el grano. Los cambios físicos facilitan la molienda ya que los granos suaves permiten que los molinos de atracción consuman menos energía. Los cambios químicos, como la gelatinización parcial de los almidones del endospermo y la desnaturalización de las proteínas del germen y el endospermo, resultan en una masa moldeable y fácil de manejar (López, 1986).

DESVENTAJAS DE LA NIXTAMALIZACIÓN

1. Pérdida de 3.5 a 4 % en peso del maíz.
2. Disminución global de los aminoácidos.
3. Consumo de hasta 6:1 partes de agua.
4. El proceso dura hasta 20 horas.

II.4 CAMBIOS DE TEXTURA EN LA NIXTAMALIZACIÓN

Vázquez (1990) al describir las condiciones de nixtamalización, menciona que la mezcla agua-maíz-cal no debe hervir ya que de lo contrario, se obtendrá una masa pegajosa. El mismo autor con respecto al germen, propone una hidrólisis para que los lípidos y los ácidos grasos liberados sean absorbidos por el almidón.

Se ha reportado que la dureza del grano puede servir para predecir el tiempo de cocimiento, además se señala que el hidróxido de calcio en solución caliente se disocia mejor que a temperatura ambiente.

Se menciona que las condiciones en el tratamiento de nixtamalización provocan la completa gelatinización de los gránulos de almidón (caracterizada por la pérdida de birrefringencia) proponen la posible unión del ión calcio a las cadenas tanto de hemicelulosa como las de almidón (Vázquez, 1990).

Robles y col (1988) hablan acerca de la poca funcionalidad de las proteínas de maíz y de la verdadera función del almidón en las tortillas. La gelatinización del almidón va a permitir una estructura fuerte de la tortilla esto es con el fin de que tenga una forma definida y también se requiere que sea elástica para que el producto posea los atributos de textura característicos.

Cuando el tiempo de cocimiento que se le da al maíz durante la nixtamalización es muy corto, se obtienen masas muy sueltas que no pueden moldearse sin que se desbaraten, esto es debido a que les falta el gluten del maíz, que liga y da la cohesión entre los residuos celulósicos y el almidón. Por el contrario si se le da un tiempo demasiado largo se obtiene una masa chiclosa que no permite darle la forma a la tortilla, ya que es una masa pegajosa y adhesiva a cualquier superficie con la que se ponga en contacto (Ochoa,1981).

II.5 CAMBIOS DE TEXTURA EN LA TORTILLAS

En la elaboración de las tortillas, parte de los constituyentes químicos del maíz se pierden por dos rutas; 1) pérdida física de los componentes del grano durante el procesamiento y, 2) por su destrucción química.

Una de las principales pérdidas de materia en el proceso de elaboración de tortillas es durante la nixtamalización como se mencionó anteriormente, donde se tienen disminuciones de 12% del peso inicial del grano en maíces blancos y de 8% en maíces amarillos, esto debido probablemente a que los granos blancos tienen un pericarpio más grueso que los amarillos, pero en general principalmente debido a la forma de lavado del nixtamal y a la cantidad de álcali adicionado. Además existe una pérdida de sólidos por la molienda, ocasionado por los residuos que quedan en el molino.

Cuando la masa es convertida en tortilla, los cambios en microestructura son principalmente cuando la intensidad del calor es mayor a 240°C. La tortilla es expuesta al calor por ambos lados y el almidón tiende a gelatinizarse. Sin embargo, existen dos limitaciones 1) la disponibilidad del agua y 2) los tiempos cortos de residencia, en donde el almidón es gelatinizado parcialmente.

Durante la cocción de las tortillas se presenta un cambio importante que es la formación de ampollas, la cual se define como el hinchamiento que se forma en la tortilla por una de las caras, cuando se somete a calentamiento como ocurre durante su cocción, esto es debido al vapor generado en el interior de la masa y que produce que la tortilla se infle.

La mayor formación de ampollas se presenta en tiempos mayores de reposo del nixtamal antes de la molienda (14 hrs) coincidiendo con masas que presentan las mejores propiedades físicas, y en tiempos de reposo cero existe menor formación de ampollas o no se presentan. Todo este comportamiento se atribuye a que la falta de reposo favorece la formación de masas quebradizas con poca o nula cohesividad y/o elasticidad, la cual no permite el desarrollo o la formación de ampolla. La variedad del grano de maíz no influye en la formación de ampollas (Juárez, 1997).

Otro cambio importante en la tortillas se presenta al finalizar la cocción, en la cual se presentan puntos quemados o manchas que se forman en las mismas.

Se pueden atribuir las manchas en las tortillas en base a dos factores:

1. Puntos quemados provocados por altas temperaturas empleadas durante la cocción de la tortilla.
2. Debido a que durante la cocción ocurren reacciones de Maillard de oscurecimiento enzimático, provocada por aditivos que favorecen estas reacciones por contener grupos amino que reducen azúcares durante la cocción y permiten dicho oscurecimiento (Juárez, 1997).

II.6 MÁQUINAS TORTILLADORAS

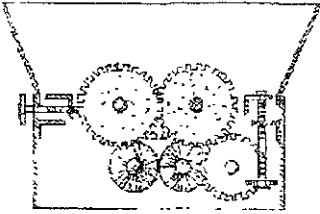
La mayor parte de las tortillas que se consumen en México se elaboran en máquinas tortilladoras que a finales del siglo se empezaron a inventar. Estos inventos todos mexicanos dieron lugar a ingeniosas máquinas que se ejemplifican en la siguiente figura, pero a pesar de ellos no se ha desplazado el gusto por la tortilla hecha a mano.

Los procesos domésticos de la elaboración de la tortilla son básicamente el manual tradicional y el semimanual que se hace con tortilladoras artesanales de bisagra (de madera o metal), llamadas también de aplastón y de bola. Las tortillas hechas completamente a mano tienen dos variantes; unas adquieren su forma circular a partir de una bola de masa o textal que se palmea entre las manos hasta que alcanza el tamaño y el grosor deseado; la segunda se puede

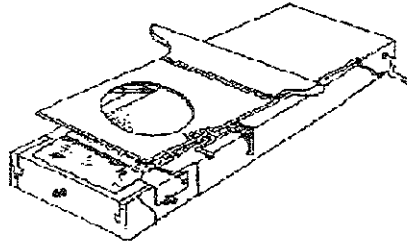
obtener aplanando la masa entre hojas de plátano y similares presionando con la mano sobre una base dura.

La invención de las máquinas tortilladoras ocurre en México, aunque parte sustancial de las máquinas herramientas que la componen, se basa en principios tecnológicos de la Revolución Industrial de Europa Occidental en los siglos XVIII y XIX (Aboites, 1989).

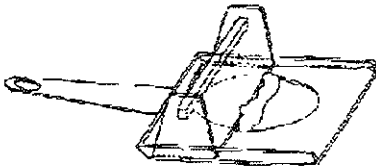
A partir del año 1884 se inventó la primera máquina tortilladora. En 1905 aparece la tortilladora de aplastón que hoy en día todavía es utilizada en los hogares mexicanos. En 1910 se desarrolla la máquina tortilladora con cabezas de rodillos laminados y cortadores de alambre y en 1915 aparecieron las máquinas tortilladoras de cocimiento automático, pero fue a mediados de los años 50's, cuando se diseñaron dos máquinas basadas en el sistema "presión por inyección" que revolucionaron relativamente la producción industrial de tortillas".



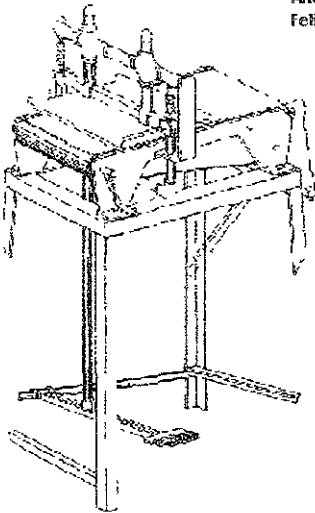
Máquina torilladora de rodillos laminadores inventados por Antonio Boue en 1930



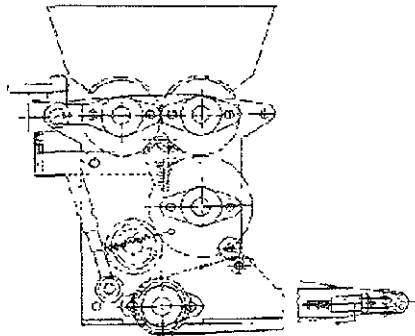
Artefacto para hacer torillas inventado por Salvador Guzmán en 1935



Artefacto para hacer torillas inventado por Felix Robago en 1936



Máquina torilladora manual tipo prensa inventada por Felipe Olmedo 1952



Máquina torilladora Verástegui diseñada en 1954.

Figura 2.1 Diversas máquinas para hacer torillas (Novelo, 1997).

Actualmente, las tortillerías usan principalmente las máquinas patentadas por Fausto Celorio y Oscar Verástegui, que pueden producir, según el modelo, de 3000-10000 tortillas por hora. La máquina Verástegui está compuesta de tres partes: amasadora-refinadora, cabeza y cocedero de producción continua. La amasadora, compacta y refina la masa, fue diseñada buscando mecanizar la función del metate; la cabeza tiene dos rodillos de piedra negra volcánica que inyectan la masa, dándole la presión que se requiere para formar una tortilla compacta. La cortina de masa la corta otro rodillo con cortador y las tortillas crudas son conducidas al cocedero por una banda de malla de alambre.

Sin embargo para 1963 la máquina Celorio se moderniza con una máquina de tortillas completamente automática que amasa, hace tortillas, las cuece y las enfría. En la década de los 80's aparecen otras máquinas como la fortec.

A continuación se muestra en el cuadro 2.4 las diferentes máquinas que se han construido para hacer tortillas.

Cuadro 2.4 Inventores de diferentes máquinas para hacer tortillas.

Fecha de invento	Invento	Patente	Inventor
1905	Aplastados de bolas de masa	4,205	Ramón Benites
1910	Máquina de rodillos para el troquelado de tortillas con alambres despégadores	10,147	Luis Romero-Industrial
1911	Máquinas para fabricar y cocer tortillas	11,891	Luis Romero-Industrial

Continua Cuadro 2.4

1916	Máquina para fabricar y cocer tortillas en horno circular	15,794	La India, S.A
1918	Máquina para hacer y cocer tortillas	17,504	Vito Alessio Roblesy Cenobio León Ingeniero y Mecánico.
1919	Máquina para hacer tortillas	18,063	Enrique M. Espinoza- Agricultor
1920	Máquina Hacedora y cocedora de tortillas	19,180	Ricardo Reyes Mecánico
1921	Máquina para hacer y cocer tortillas		Luis Romero Industrial
1920	Máquina hacedora y cocedora de tortillas	19,628	Alberto S. Olague Mecánico
1947	Máquina para hacer y cocer tortillas	45,792	F.Celorio
1955	Máquina para hacer y cocer tortillas	51,923	Gándara y Celorio Ing. Mecánico e Industrial
1968	Mejoras: chasis cocedor de tortillas	104,748	F.Celorio
1969	Mejoras máquina automática conformadora de galletas, dulces y similares	110,446	F.Celorio
1969	Mejoras en atersador productos alimenticios a base de cualquier tipo de masa	111,900	F. Celorio
1971	Mejoras en máquinas para cocción de productos alimenticios	123,272	F.Celorio
1971	Mejoras en máquinas tortilladoras automáticas	125,047	F.Celorio
1973	Mejoras en chasis cocedor de alimentos	134,231	F.Celorio

III. TEXTURA Y REOLOGÍA

III. 1 TEXTURA

La textura es una forma de medir algunos de los atributos organolépticos de los alimentos y puede considerarse como la medición más importante. Sin embargo en la literatura se han encontrado diferencias en su significado y la forma apropiada en que puede medirse y/o aplicarse en las investigaciones en el campo de los alimentos.

La palabra Textura proviene del latín *textura-téxtere* que significa tejer. Dicha palabra tiene diferentes significados; por ejemplo, los diccionarios la definen como la disposición que tienen entre sí las partículas de un cuerpo (Diccionario Enciclopédico) o como la sensación que produce al tacto una determinada materia (Diccionario Larousse, 1994).

Szczesniak (1963) recalca que para poder definir la textura se requiere un mayor conocimiento de los principios básicos involucrados, además de considerar que esta evaluación no es directa sino que abarca aspectos de un proceso dinámico, percepción visual de la superficie de un producto, comportamiento del mismo durante la manipulación previa a las sensaciones bucales experimentadas durante la masticación y se unifican en el cerebro, para dar una sensación total, que es la que se identifica como textura (Vázquez, 1990).

Según Matz (1962) define a la textura como la percepción de las características físicas de los alimentos por la piel y por los músculos sensores de la cavidad bucal, exceptuando la sensación de temperatura. De acuerdo con Kramer (1973) señala que la consistencia, la viscosidad y la sensación bucal están relacionadas con la textura. Explica que la textura de un alimento está determinada por la disposición que tienen las partículas estructurales y la manera en la cual ésta se percibe fisiológicamente. Las partículas estructurales incluyen tanto las estructuras microscópicas y moleculares como las macroscópicas que pueden ser captadas visualmente (Vázquez, 1990).

Las características de la textura se pueden dividir de acuerdo a sus características en mecánicas, geométricas y composición, entre las cuales se encuentran la humedad y el contenido de grasa de un alimento (Rubín, 1990).

Las características mecánicas se manifiestan como la reacción de los alimentos cuando son sometidos a un esfuerzo (que puede ser la presión por los dientes, lengua y paladar) éstas incluyen diversos parámetros siendo estos considerados como propiedades primarias y secundarias.

Propiedades primarias:

Las propiedades primarias son las que se correlacionan con una propiedad mecánica tal como fuerza, deformación o energía.

- Dureza. Se define como la fuerza necesaria para deformar o romper un material dado (Vázquez, 1990).
- Cohesividad. Se define como la fuerza interna que ejercen las ligaduras internas del alimento (Rubín, 1990). También se entiende como la amplitud de la deformación antes de romperse, debido a la fuerza intermolecular del alimento (Vázquez, 1990).
- Viscosidad. Se define como la resistencia que opone un alimento para fluir (Rubín, 1990).
- Elasticidad. Se define como la capacidad que tiene un alimento para ser deformado cuando se le aplica una fuerza y regresar a su estado normal, cuando la fuerza se deja de aplicar (Rubín, 1990).
- Adhesividad. Se define como el trabajo necesario para vencer las fuerzas de atracción entre la superficie del alimento y la superficie del material que se encuentra en contacto con éste (Rubín, 1990).

Propiedades secundarias:

Las propiedades secundarias son las resultantes de la combinación de las propiedades primarias.

- **Fracturabilidad.** Fuerza con la cual el material se rompe; es el producto de un alto grado de dureza y bajo grado de cohesividad (Vázquez, 1990).
- **Masticabilidad.** Energía necesaria para masticar un alimento a un estado listo para engullirse; es la combinación de dureza, cohesividad y elasticidad de un producto (Vázquez, 1990).
- **Gomosidad.** Energía necesaria para desintegrar un alimento semisólido a un estado listo para deglutirse; es una combinación de baja dureza y alta cohesividad en un producto (Vázquez, 1990).

Las características geométricas se refieren al arreglo de los constituyentes del alimento y se puede percibir en la apariencia del mismo. Dentro de estas podemos mencionar dos tipos : (Rubín,1990 y Vázquez, 1990)

1. Las que se relacionan con el tamaño y forma de partícula, las cuales nos pueden dar una escala de dureza (polvoroso, granular, grumoso).
2. Las que se relacionan con la forma y orientación de la partícula y éstas se pueden referir a la homogeneidad de un alimento o un sistema de varias fases (escamoso, fibroso, inflado, burbujeante).

Las características geométricas y mecánicas pueden ser evaluadas tanto en forma cualitativa así como en forma semicuantitativa.

Los atributos de composición son los que aparentemente indican la presencia de algún componente en el alimento como humedad, grasosidad, harinosidad, etc.

En el cuadro 3.1 se presenta la clasificación de los parámetros de textura en forma resumida y los vocablos populares utilizados.

Cuadro 3.1 Clasificación de los parámetros de Textura y nomenclatura popular

Características Mecánicas

Parámetros primarios	Parámetros secundarios	Vocablos populares
Dureza		Suave Firme Duro
Cohesividad	Quebradizo Fracturabilidad Fragilidad Chiclosidad o Masticabilidad Gomosidad	Desmoronable Crujiente Quebradizo Masticable Harinoso Pastoso Gomoso
Viscosidad		Delgado Viscoso
Elasticidad		Plástico o Elástico
Adhesividad		Pegajoso Adhesivo

Características Geométricas

Tamaño y forma de partículas		Granular o Arenoso
Forma de arreglo de partículas		Fibroso Celular Cristalino

Otras características

Contenido de humedad		
Contenido de grasa	Oleoso	Aceitosidad Grasosidad

Referencia: Szczesniak (1963) citado por Vázquez, 1990.

Existen diferentes formas para medir la textura de un alimento entre las cuales podemos mencionar los siguientes sistemas: empírico, imitativo y fundamental.

Sistema empírico

Son los que miden parámetros, generalmente no muy bien definidos, pero que según la experiencia práctica, están íntimamente relacionados con la textura (Vazquez,1990). En los métodos empíricos se aplica un esfuerzo de cualquier tipo al alimento como compresión, corte, punción, extrusión, flexión y tensión (Anzaldúa-Morales, 1994). Entre los equipos que utilizan el sistema empírico se encuentran los penetrómetros, fibrómetros y texturómetros.

Las pruebas empíricas pueden ser desarrolladas a partir de experiencias prácticas como un método rápido para medir algo relacionado con la calidad de la textura. Estas pruebas se usan arbitrariamente, son definidas como pobres, no son estándares absolutos y son efectivas para un número limitado de alimentos (Bourne, 1994).

Sistema fundamental

Permite medir las propiedades fundamentales como son: viscosidad en fluidos, elasticidad en sólidos, o combinación de éstas en materiales reales (viscoelasticidad). Se basan en modelos reológicos básicos. (Vazquez,1990).

La correlación entre los parámetros obtenidos en este tipo de pruebas y los resultados de evaluación sensorial realizada al mismo producto no es muy alta, ya que se trata de dos propiedades con niveles muy diferentes de variabilidad de los datos numéricos. Con los métodos reológicos-fundamentales es posible evaluar la influencia de modificaciones mínimas a formulaciones alimenticias (Anzaldúa-Morales, 1994).

Los científicos prefieren las pruebas fundamentales debido a que están definidas rigurosamente y son descritas por ecuaciones. Por el contrario los tecnólogos en alimentos utilizan las pruebas empíricas por el ahorro de tiempo, además de considerarse exitosa en la predicción de la opinión del consumidor para medir la calidad de la textura (Bourne, 1994).

Sistema imitativo

Los instrumentos imitativos son aquellos en los que la medida se realiza en condiciones similares a las que actúan simulando la acción de los dedos, manos, dientes y/o boca. Existen instrumentos muy sencillos como el "diente" para medir textura de espagueti y otras pastas hasta instrumentos más complicados (Bourne, 1982).

Sistema ideal

Este tipo de sistema se aplica al control rutinario de calidad mediante una

utilización sencilla, rápida, con buena correlación con los métodos sensoriales, se mide la textura en forma completa, se puede utilizar teniendo un conocimiento exacto de lo que se mide y se puede aplicar a diferentes tamaños de muestra. Este tipo de sistema en la práctica no se utiliza, generalmente se utilizan los sistemas empíricos y fundamentales (Bourne, 1982).

En el cuadro siguiente (3.2) se presenta una comparación entre los diferentes sistemas de medida de la textura de los alimentos.

Cuadro 3.2 Ventajas y desventajas de sistemas de medida de textura en alimentos

SISTEMA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1. Empírico	<ul style="list-style-type: none"> • Buenas correlaciones con base a juicios sensoriales. • Simple. • De rápida respuesta. • Una unidad para diversas propiedades físicas. • Con muestras de gran tamaño se obtienen valores medios representativos. • Aplicable al control rutinario de la calidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Desconocimiento de la base fundamental de la medida • Procedimiento arbitrario • Los resultados no se pueden expresar en otros sistemas de unidades • Las medidas son normalmente puntuales.
2. Imitativa	<ul style="list-style-type: none"> • Buena correlación con los métodos sensoriales. • Duplica las condiciones de la masticación. • Medida incompleta de la textura. 	<ul style="list-style-type: none"> • Desconocimiento del equivalente físico de la masticación. • Mala interpretación en las gráficas que se obtienen. • Restringida a muestras muy pequeñas
3. Fundamental	<ul style="list-style-type: none"> • Se conoce la medida con exactitud. • Propiedades definidas por ecuación. • Unidades de medida conocidas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Escasa correlación con los métodos sensoriales. • Medida incompleta de la textura. • Lenta.

Referencia : (Vazquez,1990 y Bourne,1994)

III.2 REOLOGÍA

PRUEBAS FUNDAMENTALES

Es común que los alimentos presenten comportamientos reológicos complejos de materiales viscoelásticos cuando son expuestos a diversas condiciones de deformación o esfuerzo. Esos modelos viscoelásticos contienen varias combinaciones de elementos de sólidos Hookianos representados por módulos de deformación y elementos de fluido Newtoniano representados por la viscosidad dinámica (Rao y Rizvi, 1986).

El módulo de deformación de un sólido Hooke se obtiene por la relación τ/γ , donde el esfuerzo (τ) es igual a la fuerza por unidad de área y la deformación (γ) es la variación de la dimensión con respecto al valor inicial. Se pueden tener tres tipos de módulos (compresión, corte y volumétrico) los cuales pueden ser calculados para el sólido Hookiano, dependiendo del tipo de fuerza aplicada. Los módulos calculados por la aplicación del esfuerzo de corte de compresión (perpendicular) para el área definida se llaman módulos de elasticidad (E). Los módulos calculados por la aplicación del esfuerzo de corte (paralela al área definida) se conocen como módulo de rigidez (G). Si el esfuerzo es aplicado en todas las direcciones (isotrópicamente) y se obtiene un cambio en volumen por el volumen original, se puede calcular un módulo global (K). Es importante remarcar que para considerar al material bajo deformación constante en la zona de viscoelasticidad lineal es necesario aplicar muy pequeños esfuerzos o someter al

material a muy pequeñas deformaciones (Rao y Rizvi, 1986).

Para evaluar la contribución de la parte fluida se basa en el modelo de Newton, en el que la velocidad de corte es proporcional a la magnitud del esfuerzo de corte aplicado, cuya constante reológica se denomina coeficiente de viscosidad (η). Estos parámetros son muy similares a los módulos de sólidos sometidos a corte Hookianos, pero la variable es la velocidad de corte ($\dot{\gamma}$) (Rao y Rizvi, 1986).

Para evaluar las propiedades viscoelásticas se utilizan diversas pruebas fundamentales, las pruebas más aplicadas a alimentos sólidos o semisólidos pueden ser clasificadas en dos grupos: aquellos que se evalúan bajo condiciones no estacionarias y aquellas que se encuentran bajo condiciones dinámicas.

Como ejemplo de curvas estacionarias podemos mencionar las siguientes :

- 1) Curva de Fluencia "Creep", muestra la deformación como función del tiempo a esfuerzo constante.
- 2) Curva de relajación, muestra el esfuerzo como función del tiempo a deformación constante.

Entre las curvas dinámicas se encuentra :

- 1) Espectro mecánico, muestra los módulos dinámicos G' (módulo elástico) y G'' (módulo viscoso) como función de la frecuencia de la deformación sinusoidal.

En donde el esfuerzo o deformación aplicados pueden ser de corte o de compresión en las dos primeras pruebas, mientras que en el tercer caso son del tipo sinusoidal.

Para los materiales viscoelásticos estos tres tipos de curvas experimentales muestran resultados consistentes, si las pruebas se realizan en condiciones de viscoelasticidad lineal. El módulo y los coeficientes de viscosidad de relajación, Creep y las pruebas dinámicas pueden ser matemáticamente interconvertibles y son independientes de la magnitud o la imposición de esfuerzo o deformación (Rao y Rizvi, 1986).

III.3 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

En la literatura relacionados con el maíz y sus productos se han reportado los siguientes instrumentos de medición. En éstos predominan las pruebas de tipo textural y/o empíricos excepto en las masas de maíz.

- Farinógrafo de Brabender
- Mixógrafo
- Penetrómetro
- Máquinas Universales de Deformación (Instron)
- Extensógrafo de Brabender
- Viscosímetro rotacional
- Viscosímetro de la industria del maíz

- Alveógrafo
- Amilógrafo de Brabender

FARINÓGRAFO

El farinógrafo es un instrumento para comprobar la calidad de la masa. La masa en estudio se amasa en una batidora de palas gemelas, con camisa de agua, accionado por un motor eléctrico suspendido libremente y cuya carcasa se fija a una pluma que registra sus movimientos por medio de un sistema de placas sobre una hoja de papel móvil. El par ejercido sobre el motor por la resistencia de la masa a los movimientos de las palas batidoras produce un movimiento rotatorio a todo el motor y su carcasa, desplazándose un pequeño arco, lo que se refleja en el movimiento de su pluma. La consistencia de la masa se ajusta, variando el agua adicionada, para que la pluma se encuentre siempre en los mínimos valores elegidos. El farinógrafo puede utilizar muestras de 10 microgramos, 50 y 300 gramos y trabaja a velocidades de 62 y 93 r.p.m. En la figura 3.1 se muestra un esquema del farinógrafo (Walker y Hazellon, 1996).

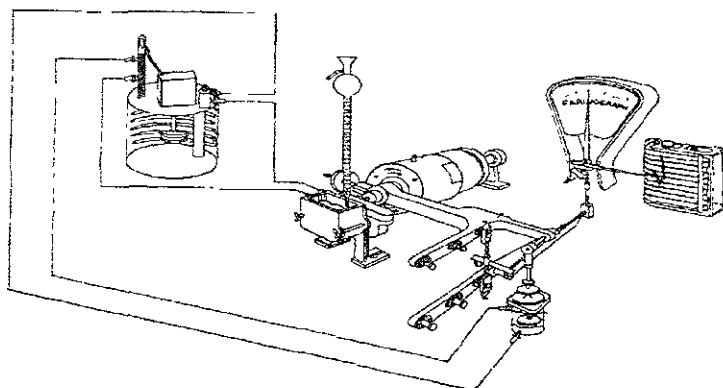


Fig. 3.1 Farinógrafo (D'Appolonia y Kunerth).

Los valores del farinógrafo miden el tiempo inicial (A) cuando la curva intersecta las 500 Unidades Brabender (BU), las cuales indican una absorción rápida del agua. Los tiempos cortos iniciales son resultado del incremento de niveles altos de proteína. El tiempo requerido para alcanzar el punto máximo de consistencia de la masa, antes de cualquier indicio de rompimiento de la masa, es considerado como desarrollo del pico de tiempo (B). Ocasionalmente los farinogramas poseen dos picos. El primer pico se le conoce como pico falso o pico de hidratación y el segundo es considerado como pico verdadero. El tiempo final (C) es el tiempo en el cual la curva llega a la línea de las 500 BU y decrece. Un tiempo final largo indica una harina fuerte. La estabilidad o tolerancia es la diferencia en minutos entre el tiempo inicial y final y es un indicador de la tolerancia de la harina para mezclarse (Walker y Hazelton, 1996).

El tiempo de rompimiento es definido como el tiempo de inicio de mezclado en el cual la curva baja 30 BU del pico de referencia. Con el farinógrafo se puede definir el tiempo óptimo como la cantidad de agua requerida para centrar el pico de una curva en la línea de 500 B.U para una masa (harina- agua).

A continuación se muestra una curva representativa, donde se puede observar la línea de 500 BU mostrando el punto máximo.

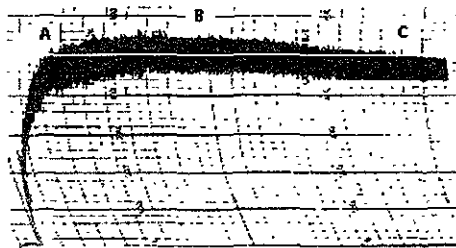


Fig. 3.2 Farinograma (Walker y Hazelton, 1996).

Existe una propuesta de modificación en la que se utiliza el farinógrafo para cuantificar la plasticidad y movilidad o fluidez de la masa de maíz. Esta consiste en variar la velocidad de agitación y obtener diferentes torques, aplicando principios de viscosimetría de mezclado y análisis dimensional a través de los cuales se evalúan índice de viscosidad aparente, involucrando números adimensionales como Reynolds y número de la potencia. La ecuación que define el índice de velocidad aparente es la siguiente (Cuevas y Puche, 1986).

$$\mu_{ap} = \frac{Tg_c}{KND^3}$$

Donde:

μ_{ap} = Índice de viscosidad aparente

T= Torque

g_c = Constante de Newton 9.8 kg ·m/Kgf· s²

D= Diámetro del agitador 0.03695 m

N= Velocidad de rotación (velocidad máxima de 200 r.p.m.)

K= 161.4 (relación constante del Número de potencia y el Número de Reynolds en la región laminar)

MIXÓGRAFO

El mixógrafo fue diseñado como una alternativa de una imitación de la acción de mezclado. En el diseño original se demostró que al mezclar harina de trigo-agua se obtienen masas a 88 rpm en la figura siguiente se presenta un Mixógrafo (Walker y Hazelton, 1996).

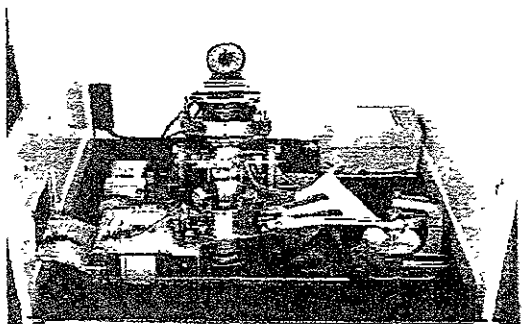


Fig. 3.3 Mixógrafo (Walker y Hazelton, 1996).

Las curvas que se obtienen del mixógrafo constan de 2 partes una ascendente y otra descendente. Se pueden definir 5 valores; pico tiempo (T), pico alto (H), Desarrollo (D) ascendente o debilitamiento (W) o inclinación descendente y el ángulo creado en el desarrollo y el debilitamiento. Como se muestra en la siguiente figura.

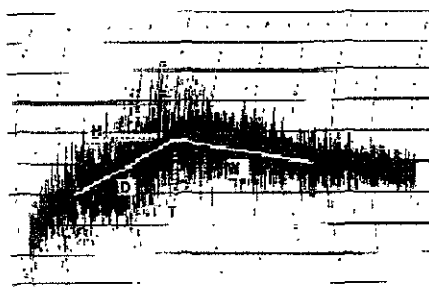


Fig. 3.4 Curva típica de un mixógrafo (Walker y Hazelton, 1996).

La curva pico tiempo está determinada por el contenido y calidad de la proteína y la absorción de agua. Las masas con proteínas fuertes de trigo producen curvas con largos tiempos de mezclado y valores altos en los picos. La absorción en el mixógrafo es más subjetiva que la absorción en el Farinógrafo.

PENETRÓMETRO

Existen varios tipos de penetrómetros uno de ellos consiste en dejar caer una aguja dirigida por un tubo guía sobre la muestra y se mide su penetración.

Bourne (1966) menciona que en las pruebas de penetración, actúan dos tipos de fuerzas simultáneas: las de cizallamiento a lo largo del perímetro del punzón que penetra, y la de compresión en el área del mismo. Utilizando dos series de punzones, una de área constante y otro de perímetro variable, midiendo con ellos materiales con diferentes características, obteniendo datos que permitan establecer la expresión de la resistencia a la penetración medida con el penetrómetro, en función de los coeficientes de cizallamiento y de compresión del material y de las dimensiones del punzón.

La prueba de punción mide la fuerza necesaria para picar o penetrar en un alimento. La prueba se determina por las siguientes características (Rubin, 1990):

1. La medición de una fuerza por el instrumento.
2. La penetración del punzón en el alimento que causa una alteración irreversible.

3. La profundidad a la que penetra el punzón y que se mantiene generalmente constante.

El rango de utilidad de este instrumento es limitado; si la muestra es excesivamente dura, la penetración es demasiado pequeña para medirla con precisión; si el producto es demasiado blando la aguja no cesa de penetrar.

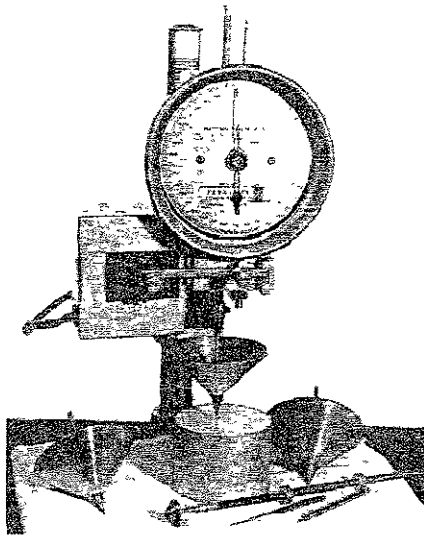


Fig. 3.5 Penetrómetro (Bourne, 1982).

También puede medirse la penetración de un producto plástico con un cono impulsado por un peso constante o por un motor. Las lecturas pueden verse afectadas por la superficie del cono, el ángulo del mismo, la energía cinética y el tiempo de penetración. En la siguiente figura se muestra un penetrómetro típico (Muller, 1977).

MÁQUINA UNIVERSAL DE DEFORMACIÓN

Estos instrumentos están diseñados para medir una gran variedad de textura mediante la utilización de diversos dispositivos intercambiables que permiten evaluar en condiciones estandarizadas la resistencia de los productos a distintos tipos de fuerza: compresión, cizallamiento, extrusión, corte, etc. (Vázquez, 1990).

Los más conocidos son el "Texture Analyzer TA-XT2", el "Food Technology Comparison Texture Test System", también conocido como el "Kramer Shear Press", otros texturómetros muy utilizados son: el "Instron Universal Testing Machine", y el "Ottawa Texture Measuring System".

Bourne (1968 y 1974) adaptó la Máquina Universal de Pruebas Instron para efectuar un análisis de perfil de textura, desde entonces se han desarrollado diferentes texturómetros automatizados en los que se obtienen curvas más fáciles de interpretar. El análisis de perfil de Textura puede efectuarse tanto en alimentos sólidos como semisólidos y fluidos. Los texturómetros actuales además de efectuar la prueba típica del Análisis de Perfil de Textura, efectúan múltiples pruebas (penetración, corte, extrusión, determinaciones puntuales de dureza, adhesividad, fuerza de gel, etc.), además se han incluido diferentes dispositivos de prueba como son: cilindros, placas, conos, agujas, esferas, cuchillitas, navajas, alambres de corte, dispositivos especiales de corte y doblado. Además otros instrumentos empíricos como las prensas de cizalla (celda Kramer, dispositivo de Warner-Bratzler, celda Ottawa, etc) que se utilizan en función del tipo de prueba y

de las características de la muestra.

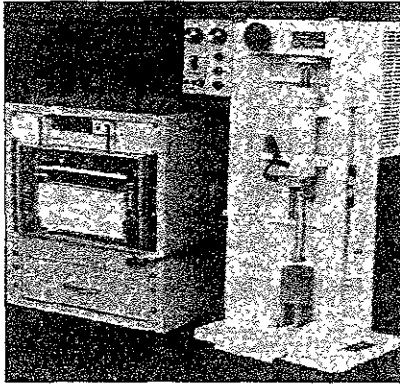


Fig. 3.6 Sistema de medición de textura con celda Offawa (Bourne, 1982).

Kramer en 1961 desarrolló la Kramer Shear Press, en la que el alimento se coloca en una caja metálica rectangular cuyo fondo y tapa están formadas por una serie de rejillas a través de las cuales pasa una serie de hojas movidas por un pistón a una velocidad previamente seleccionada. El pistón se mueve por un sistema hidráulico que actúa en una conexión con una bomba eléctrica. La resistencia del alimento al cizallamiento se puede medir como fuerza máxima, con un dial incorporado al aparato o mediante registro eléctrico de la curva fuerza-distancia.

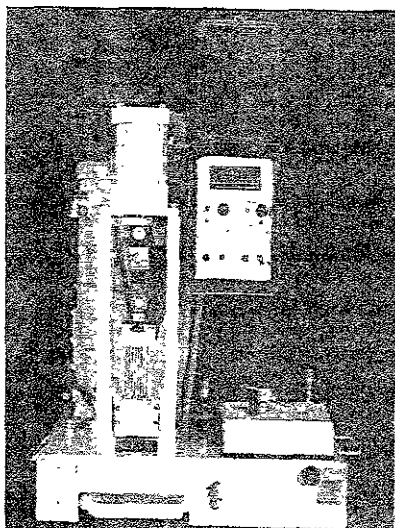


Fig. 3.7 Sistema de medición de textura con celda Kramer (Bourne, 1982).

Los texturómetros se componen de las siguientes partes:

1. La pieza que se pone en contacto con el alimento, que puede ser: punzón, hoja cortante, cono, aguja, serie de hojas de cizallamiento, etc.
2. El sistema mecánico que origina el movimiento de las piezas que se ponen en contacto con los alimentos.
3. Un sensor que detecta la resistencia del alimento a la fuerza aplicada.
4. Sistema registrador que proporciona las curvas fuerza-resistencia o fuerza-tiempo o las de energía gastada mediante un integrador eléctrico.

Cuando se utiliza la Máquina Universal de Deformación (Instron) para pruebas de punción se tienen tres tipos básicos de curvas. En A la fuerza tiene un incremento continuo después del punto máximo; B la fuerza se mantiene después del punto máximo, y en C la fuerza decrece después del punto máximo. La fricción del alimento con el punzón a lo largo de la penetración, generalmente incrementa la fuerza después del punto máximo, pero en ocasiones no existe fricción, por tanto la fuerza disminuye o se mantiene constante después del punto máximo (Rubin, 1990).

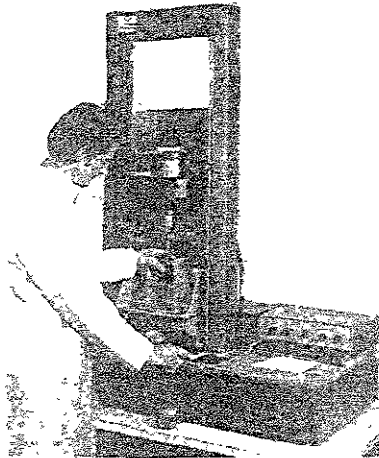


Fig. 3.8 Máquina Universal de Deformación (Instron) modelo 1132 (Bourne, 1982).

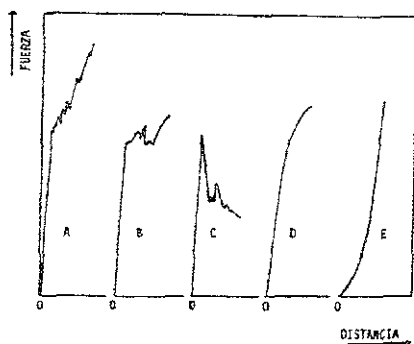


Fig. 3.9 Diferentes curvas que se presentan en una prueba de punción

(Rubín,1990)

La determinación de la fuerza de compresión-extrusión consiste en aplicar una fuerza a un alimento hasta que este fluya a través de una salida, la cual puede estar en forma de uno o más orificios o aberturas que se encuentren en la celda de prueba, generalmente la fuerza máxima requerida para complementar la extrusión del alimento es medida y usada como un índice de la calidad de la textura del alimento (Rubin,1990).

Una determinación sencilla puede ser donde el alimento se coloque en un recipiente metálico abierto por la parte superior en donde un punzón apropiado a la forma del recipiente baja y hace presión en el alimento hasta hacerlo fluir a través del espacio entre el punzón y el recipiente (Rubin,1990). Para la determinación de la fuerza de compresión-extrusión se utiliza la curva típica fuerza-distancia es como se muestra en la figura 3.10. De A-B el alimento es deformado y comprimido hasta empacarlo, de forma que el espacio se disminuya al mínimo conforme descende el émbolo pero sin que el alimento se

rompa. A partir del punto B el alimento comienza a romperse. En el punto C el alimento continúa rompiéndose y comienza a fluir a través de los espacios libres, este proceso continúa hasta el punto D donde el émbolo o punzón de compresión cambia de dirección y la fuerza cae hasta cero. El punto C da la fuerza máxima necesaria para comenzar el proceso de extrusión, de C-D se muestra la fuerza necesaria para continuar la extrusión (Rubin, 1990).

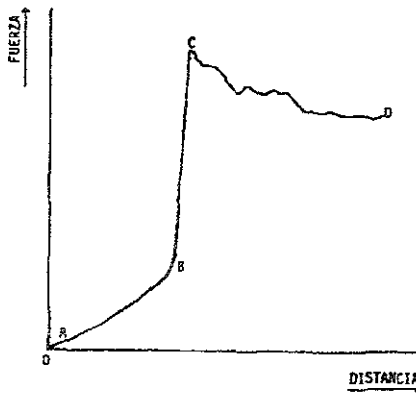


Fig. 3.10 Curva de compresión-extrusión (Rubin, 1990).

La forma y magnitud de la curva de compresión- extrusión depende de la elasticidad, viscoelasticidad, viscosidad y el comportamiento del alimento durante la ruptura, tamaño de muestra, grado de deformación, temperatura y tipo de celda para dicha determinación (Rubin, 1990).

EXTENSÓGRAFO

El extensógrafo mide la extensibilidad de las masas o la resistencia a la extensión. Las masas son mezcladas en un farinógrafo con una absorción normal, se moldea una pieza de masa dentro de un cilindro. Después de un periodo de descanso se extiende la masa por medio de un gancho esto se puede ver por medio de una gráfica en la cual el tiempo de rendimiento se representa como extensión en el eje de las x y resistencia a la extensión en el eje de las y . En la siguiente figura (3.11) se muestra un extensógrafo (Walker y Hazelton, 1996).

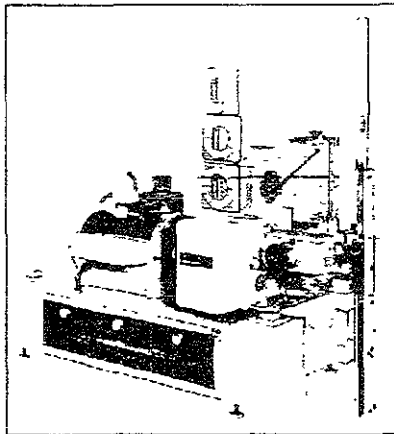


Fig. 3.11 Extensógrafo (Walker y Hazelton, 1996).

La evaluación en el extensograma se mide generalmente con las siguientes mediciones como se muestra en la siguiente figura:

1. Resistencia a la extensión (R) expresada en BTU y medida 50 milímetros después de la curva inicial

2. Extensibilidad es la longitud de la curva (L) en milímetros
3. El valor de la fuerza en el área bajo la curva (A)

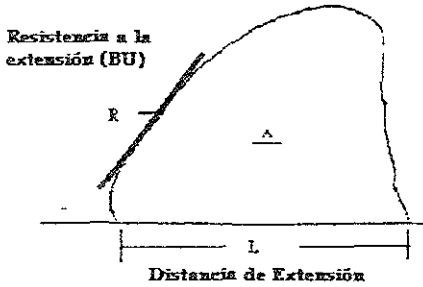


Fig. 3.12 Curva clásica de un extensógrafo (Walker y Hazelton, 1996).

La proporcionalidad de la figura se obtiene por la división de la resistencia entre la extensibilidad. La combinación de una buena resistencia a la extensión y el resultado de una buena extensibilidad es una de las propiedades deseables en las masas (Walker y Hazelton, 1996).

VISCOSÍMETRO ROTACIONAL

En los viscosímetros rotacionales se mide la resistencia al flujo, por medio de una agitación, la cual es una indicación de la viscosidad de los alimentos (Glicksman, 1969).

La principal ventaja del viscosímetro rotacional es que la medida de la viscosidad puede hacerse continuamente en periodos extensos, bajo condiciones

de cizallamiento constante, por lo que los cambios de viscosidad con el tiempo pueden seguirse fácilmente (Glicksman, 1969).

En los fluidos No Newtonianos donde la viscosidad aparente varía con la velocidad de cizallamiento o esfuerzo puede ser estudiada en condiciones experimentales controladas y así poder definir completamente sus propiedades reológicas (Glicksman, 1969).

Existen tres tipos de viscosímetros rotacionales que son usados ampliamente; el tipo "cono-plato", cilindros concéntricos y placas paralelas. En los viscosímetros "cono-plato" y placas paralelas, el fluido es deformado en pequeños espacios entre el cono y el plato y el esfuerzo cortante se calcula con la medida de torque. En los viscosímetros de cilindros concéntricos o de placas paralelas el fluido es cizallado en el espacio anular entre el recipiente y el cilindro agitado.

En el campo de los hidrocoloides, el viscosímetro Brookfield es el más utilizado y la mayoría de los datos reportados en viscosidad de gomas son obtenidos en estos instrumentos, aunque se desconoce con exactitud la velocidad de corte promedio (Glicksman, 1969).

Los instrumentos usados ampliamente son el Viscosímetro Mac-Michael, Viscosímetro Stormer, Amilógrafo Brabender y el Viscosímetro de las industrias del maíz. Algunos de estos instrumentos pueden no ajustarse para operar a las velocidades de cizalla y son limitados para los valores en estudios de materiales

no newtonianos que uno requiere (Glicksman, 1969).

VISCOSÍMETRO DE LA INDUSTRIA DEL MAÍZ

Los dos instrumentos usados ampliamente para medir la viscosidad de pastas de almidón son el Amilógrafo Brabender y el Viscosímetro de la fundación de Investigación de las Industrias del Maíz. Cada una de esas unidades han sido diseñadas para medir la viscosidad de las pastas de almidón. Las curvas de viscosidad son similares a las obtenidas con cada uno de los instrumentos pero no son directamente comparables entre los dos por las características de los mismos (Glicksman, 1969).

El viscosímetro de la Fundación de Investigación de las Industrias del Maíz (CIRF) también es usado para determinar los efectos de varios factores en la cocción del almidón y los cambios resultantes en las pastas de almidón durante el enfriamiento. Este viscosímetro está diseñado para usarse como herramienta de investigación en la determinación de las aplicaciones de productos de almidón para usos específicos industriales (Glicksman, 1969).

Este instrumento contiene una cámara interna con un baño de agua, el cual permite controlar la temperatura durante la experimentación. El almidón debe ser hidratado y escurrido en la cámara la cual tiene una propela montada que se regula y permite medir los cambios de viscosidad (Glicksman, 1969).

ALVEÓGRAFO

Es un diseño para la medición de la resistencia al extender una capa delgada de harina-agua-sal con un nivel de hidratación constante. Actualmente se aplican en todos los tipos de harinas de trigo, incluyendo las que se utilizan en panadería. Este aparato se utiliza para ajustar el grado de hidratación de la masa. A continuación se presenta una figura de un alveógrafo (Walker y Hazelton, 1996).

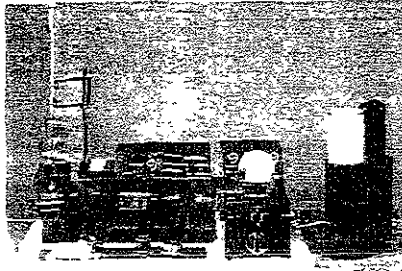


Fig. 3.13 Alveógrafo (Walker y Hazelton, 1996)

Una masa rígida es preparada en el alveógrafo en su sistema de mezclado, la cual utiliza una cuchilla sinusoidal para mezclar y extruir la masa en una hoja uniforme. Este proceso es similar a un efecto de laminado, redondeado y moldeado como un proceso de horneado. En el alveógrafo 5 discos individuales son cortados de la lamina de masa y se les permite un relajamiento de 20 min. Después de la relajación cada disco es sujetado sobre un mecanismo, en donde una válvula inyecta aire debajo del disco a una velocidad constante creando una burbuja. La presión dentro de la burbuja es registrada hasta que ocurre la

ruptura, dando como indicación la resistencia a la deformación de la masa (Walker y Hazelton, 1996).

La forma de medición del promedio de la curva incluye el ajuste de la altura del pico ($P=H \times 1.1$), longitud de la curva (L) y suministro de trabajo (W). El valor de P se representa por medio de la tenacidad de la masa, resistencia elástica y también predice la habilidad de retención de gas en la masa. La letra L describe la extensibilidad de la masa y predice las características de manipulación de la misma. El valor de W es la cantidad de trabajo requerido para la deformación de la masa y se describe como el cocimiento intenso de la harina. Una harina débil resulta de un valor bajo de P y W, generalmente con un valor largo de L. Valores altos de P y W con pequeños o medios valores de L indican fuertes harinas (Walker y Hazelton, 1996).

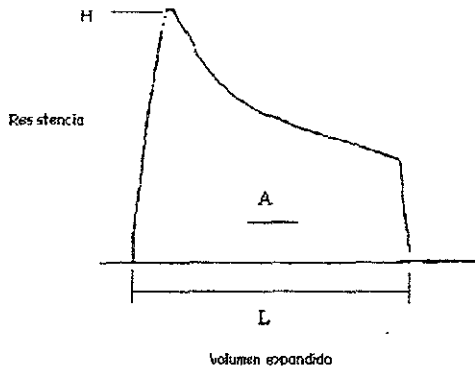


Fig. 3.14 Curva típica de un aiveógrafo (Walker y Hazelton, 1996).

La relación P/L (proporción de la curva de configuración) sirve como un índice para saber la cantidad y calidad de la proteína. Por ejemplo un alto valor de P y un corto valor de L podría denotar una masa muy elástica (Walker y Hazelton, 1996).

AMILÓGRAFO DE BRABENDER

Es un instrumento que se utiliza para estudiar la viscosidad de los líquidos y su relación con la temperatura, es esencialmente un viscosímetro de torsión en el cual una suspensión es calentada uniformemente a velocidad constante. En un recipiente cilíndrico de acero inoxidable que es calentado por resistencia eléctrica a través de un baño de aire, con un termómetro regulador; entra en la suspensión permitiendo control del calentamiento por las resistencias y el enfriamiento por medio de un serpentín con agua fría, lo que produce un calentamiento uniforme en todos los puntos del fluido; conforme aumenta la viscosidad de la pasta se ejerce torsión sobre un eje que contiene 8 agujas fijas, la cual transmite a un mecanismo electrónico y a su vez a un graficador de donde se obtiene una curva de viscosidad contra tiempo-temperatura de calentamiento de la pasta a lo largo de la prueba (Sánchez, 1993).



Fig. 3.15 Amilografo (Shuey y col, 1980)

DETERMINACIÓN DE LA FUERZA DE COMPRESIÓN-EXTRUSIÓN

La determinación de la fuerza de compresión-extrusión consiste en aplicar una fuerza a un alimento hasta que este fluya a través de una salida, la cual puede estar en forma de uno o más orificios o aberturas que se encuentren en la celda de prueba, generalmente la fuerza máxima requerida para complementar la extrusión del alimento es medida y usada como un índice de la calidad de la textura (Rubin,1990).

Una determinación sencilla consiste en colocar el alimento en un recipiente metálico abierto por la parte superior en donde un punzón apropiado a la forma del recipiente baja y hace presión en el alimento hasta hacerlo fluir a través del

espacio entre el punzón y el recipiente (Rubin,1990).

Una curva típica fuerza-distancia en la determinación de la fuerza de compresión-extrusión es la figura 3.16. De A-B el alimento es deformado y comprimido hasta empacarlo, de forma que el espacio se disminuya al mínimo conforme desciende el embolo pero sin que el alimento se rompa. A partir del punto B el alimento comienza a romperse. En el punto C el alimento continua rompiéndose y comienza a fluir a través de los espacios libres, este proceso continua hasta el punto D donde el embolo o punzón de compresión cambia de dirección y la fuerza cae hasta cero. El punto C da la fuerza máxima necesaria para comenzar el proceso de extrusión, de C-B se muestra la fuerza necesaria para continuar la extrusión (Rubin, 1990).

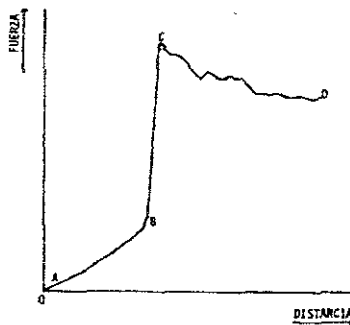


Fig.3.16 Curva de compresión-extrusión (Rubín,1990)

La forma y magnitud de la curva de compresión- extrusión depende de la elasticidad, viscoelasticidad, viscosidad y el comportamiento del alimento durante la ruptura, tamaño de muestra, grado de deformación, temperatura y tipo de celda para dicha determinación (Rubin, 1990).

**PROPIEDADES REOLÓGICAS Y
TEXTURALES DEL MAÍZ, MASA Y
TORTILLA**

IV. PROPIEDADES REOLÓGICAS Y TEXTURALES DEL MAÍZ, MASA Y TORTILLA

IV.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA

Las tortillas son consideradas como un producto importante en la dieta de nuestro país por ser fuente de calcio y fósforo, sin embargo el porcentaje que aporta varía de acuerdo a la materia prima utilizada y proceso de elaboración. Debido a que existen muchos tipos de tortillas en el mercado y considerando que las tortillas de maíz amarillo son las de mayor consumo en México por su sabor característico, a continuación se presenta únicamente como ejemplo, la composición química de grano de maíz, masa y tortilla, realizando una comparación de maíz amarillo con maíz blanco.

Cuadro 4.1 Composición Química de maíz, masa y tortilla (100g)

	Maíz Amarillo	Masa tratada con cal (maíz amarillo)	Tortilla de maíz amarillo	Maíz Blanco	Masa tratada con cal (maíz blanco)	Tortilla de maíz blanco
Proteína	8.3 g	4.40 g	4.60 g	7.9 g	3.50 g	5.90 g
Carbohidratos	69.6 g	38.50 g	45.30 g	73.0 g	31.80 g	47.20 g
Fibra	12.20 g	3.40 g	2.09 g	12.20 g	3.40 g	4.47 g
Humedad	13.8	62.20	47.50	10.6	62.20	42.40
Grasas totales	4.8 g	2.20 g	1.80 g	4.7 g	1.90 g	1.50 g
Saturados totales	0.6 g	0.20 g	0.20 g	0.60 g	0.20 g	0.10 g
Monosaturados (linoleico)	1.3 g	0.60 g	0.50 g	1.30 g	0.50 g	0.40 g
Poliinsaturados (linoleico)	2.50 g	1.20 g	0.90 g	2.50 g	1 g	0.80 g
Calcio	158 mg	88 mg*	196 mg*	159 mg	70.0 mg	108 mg*
Fósforo		91 mg	382 mg	-	91.0 mg	111 mg
Hierro	2.3 mg	1.70 mg	2.60 mg	2.3 g	1.60 mg	2.50 mg
Retinol	16 µg	6.0 µg	20 µg	1 µg	-	20 µg
Tiamina	0.34 mg	0.17 mg	0.15 mg	0.36 mg	0.13 mg	0.17 mg
Riboflavina	0.08 mg	0.05 mg	0.05 mg	0.06 mg	0.04 mg	0.08 mg
Niacina	1.6 mg	0.8 mg	1.0 mg	1.9 mg	0.60 mg	0.90 mg
Energía	350 kcal	189 kcal	214 kcal	362 kcal	154 kcal	224 kcal

Referencia: Anónimo, 1996.

En el cuadro 4.1 se puede observar que en la tortilla existe una mayor concentración de calcio, debido a la incorporación del mismo durante la nixtamalización. Sin embargo, este aumento es diferente dependiendo del tipo de maíz utilizado. La masa obtenida del maíz amarillo contiene mayor proporción de calcio que la obtenida con maíz blanco.

También se observa una disminución del porcentaje de lípidos en los subproductos y productos, esto se relaciona a que durante el proceso de nixtamalización existe una pérdida del 12-15% del extracto etéreo debido a una acción solubilizante sobre los mismos (Ochoa, 1981); así mismo, se detectan pequeñas pérdidas en minerales, vitaminas y algunas proteínas que llegan a solubilizarse en el agua del nejayote.

Por otra parte, se confirma la presencia de niacina disponible en masa y tortilla debido al proceso de nixtamalización, de aquí que el porcentaje registrado en la composición del maíz aumente cuando se transforma en tortilla.

También se observa una reducción de fibra cruda del grano de maíz, causada por la hidrólisis de la hemicelulosa en soluciones alcalinas concentradas durante el proceso. Además de la pérdida parcial del pericarpio, que repercute al obtener una tortilla suave.

IV.2 PROPIEDADES TEXTURALES DEL GRANO DE MAÍZ

Existen pocos datos experimentales concernientes a la evaluación de la dureza del grano de maíz. En el cuadro siguiente se presentan los datos y las condiciones de proceso proporcionados por Rubín (1990). En este estudio el objetivo fue evaluar el grano de maíz por medio de tres pruebas las cuales son: Resistencia a la compresión-extrusión, Resistencia al corte y Fuerza de penetración; utilizando para dichas mediciones una Máquina Universal de Deformación (Instron) empleando diferentes aditamentos como son cuchillas triangulares, celda Kramer y punzón de punta plana.

Cuadro 4.2 Dureza del grano de maíz

MAÍZ BLANCO	MAÍZ AMARILLO	CONDICIONES	OBSERVACIONES
PRUEBA DE RESISTENCIA AL CORTE			
-	81.80 Kgf/g σ 29.44 C.V 36%	La prueba de resistencia al corte se realizó con una Máquina Universal de Deformación (Instron) modelo 1130 con cuchillas triangulares. Condiciones: - Celda de carga: 500 kg - Velocidad del cabezal: 20cm/min - Velocidad del papel: 5 cm/min	Se analizaron variedades de maíz blanco, Toluca, Criollo, Cacahuazintle y Palomero Como maíz amarillo se analizó uno obtenido de CONASUPO
PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN-EXTRUSIÓN			
40.26 Kgf (5 gramos) σ = 4.37 C.V=10.8% 35.80 Kgf (20 gramos) σ = 4.98 C.V= 14%	39.34 Kgf (5 gramos) σ =5.16 C.V=13.11% 36.46 Kgf (20 gramos) σ = 3.59 C.V= 9.8%	La prueba de resistencia a la compresión-Extrusión se realizó en una Máquina Universal de Deformación (Instron) modelo 1130 con la celda Kramer. Condiciones: - Celda de carga: 500 kg. - Velocidad del cabezal: 20 cm/min - Velocidad del papel: 5cm/min	

Continúa .. cuadro 4.2

PRUEBA DE FUERZA DE PENETRACIÓN			
1mm 10.33 Kgf/g $\sigma = 3.41$ C.V = 33%	1mm 11.99 Kgf/g $\sigma = 3.42$ C.V = 28.5%	La prueba de fuerza de penetración se realizó en una Máquina Universal de Deformación (Instron) modelo 1130 con punzones de punta plana: 1mm, 2mm y 3mm de diámetro para maíz amarillo y 1mm para maíz blanco. Condiciones: - Celda de carga: 500 kg - Velocidad del Cabezal: 10 cm/min - Velocidad del papel: 10 cm/min - Límite de escala de fuerza: 50 kg	
	2mm 14.79 Kgf/g $\sigma = 4.67$ C.V = 31.5%		
	3mm 15.05 Kgf/g $\sigma = 6.06$ C.V = 40.2%		

σ = Desviación estándar
C.V = Coeficiente de variación.
Referencia: Rubín, 1990.

Los resultados de este estudio son los siguientes:

1) El método para medir la resistencia al corte presenta la desventaja de que el grano tiene que ser sujetado con los dedos para mantenerlo firme en el tiempo en el que se aplica la fuerza para cortarlo, obteniéndose un coeficiente de variación alto 36%.

2) En la determinación de la resistencia a la compresión-extrusión propuesta, se observa un coeficiente de variación menor que con la prueba de fuerza de corte inferior al 15%; sin embargo, el resultado depende de la cantidad de muestra

utilizada. Además, la celda no tiene sensibilidad para diferenciar la textura entre dos variedades, ya que tanto el maíz amarillo como blanco presentan una textura similar sin mostrar diferencias significativas entre muestras.

3) En la prueba de fuerza de penetración se utilizaron 3 punzones de diferente diámetro de 1, 2 y 3 mm; en esta prueba se confirma que a medida que aumenta el diámetro del punzón, se aumenta la fuerza necesaria para la penetración. Con el diámetro de 1mm se obtiene una desviación estándar menor correspondiente a 3.42; con 2 mm la desviación estándar es de 4.67 y con 3 mm se obtiene la mayor desviación estándar de 6.06. El autor concluye que es mejor utilizar el punzón de 1mm porque presenta una menor desviación estándar y mayor reproducibilidad de los resultados. Además con este punzón se logra detectar las diferencias significativas entre muestras. Sin embargo los datos presentan un C.V entre 28.5% y 33%.

En la literatura se encuentran otros datos relacionados con la dureza del grano reportado como el índice de perlado. Este método consiste en una perladora de cebada adaptada con un cepillo de alambre en la cual se coloca una cantidad de muestra del grano y se perla durante un minuto. Se realiza un posterior cribado, se pesa lo que queda en la malla y se aplica la siguiente formula: % de dureza - (peso de grano que no paso por la malla) x 5. (Ochoa, 1989). En condiciones estándares el índice de perlado de maíz oscila alrededor de 26% (Gómez, 1991).

IV.3 PROPIEDADES TEXTURALES EN NIXTAMAL

El grano de maíz al ser sometido al proceso de nixtamalización a altas temperaturas y alcalinización presenta una textura menos firme, mostrando un ablandamiento característico.

En el estudio realizado por Rubín (1990) en granos de maíz nixtamalizados, se determinó la dureza a través de una fuerza de compresión-extrusión, utilizando una Máquina Universal de Deformación (Instron) y como aditamento una celda Kramer. Los resultados se pueden observar en el Cuadro 4.3.

Cuadro 4.3 Dureza de maíz nixtamalizado

MAÍZ BLANCO (kgf/g)	MAÍZ AMARILLO (kgf/g)	CONDICIONES	OBSERVACIONES
9.61 $\sigma = 0.73$ C.V= 7.5%	10.17 $\sigma = 0.92$ C.V =9%	La prueba de compresión-extrusión se realizó con una Máquina Universal de Deformación (Instron) modelo 1130 con la celda de Kramer. Condiciones: - Celda de carga. 500 Kg - Velocidad del cabezal: 10 cm/min - Velocidad del papel: 10 cm/min - Límite de escala de fuerza: 50Kg	Para ambas pruebas se utilizó maíz nixtamalizado proporcionado por un molino ubicado en el Distrito Federal

σ = Desviación estándar

C.V = Coeficiente de variación.

Referencia: Rubín, 1990.

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta prueba se obtiene una

pequeña desviación estándar (0.73 en maíz blanco y 0.92 en maíz amarillo) y un coeficiente de variación menor al 10%. El análisis de varianza así como el método de Análisis de comparación múltiple de Duncan mostró diferencias significativas entre ambas variedades, en un intervalo de confianza del 5%. El autor concluye que este método es confiable, reproducible y tiene sensibilidad la técnica porque permite diferenciar la textura en 2 variedades de maíz.

Dichos datos mostrados en la tabla precedente concuerdan con los valores obtenidos también por Rubín (1990) en grano de maíz, ya que el grano de maíz amarillo es más duro en ambas pruebas. Esto es probablemente debido a que posea mayor contenido de proteínas que el maíz blanco.

IV.4 PROPIEDADES TEXTURALES EN PASTAS DE HARINA DE MAÍZ

Por otra parte, se han realizado estudios texturales en pastas (mezclas de harina de maíz nixtamalizadas y agua a bajas concentraciones) como métodos indirectos de evaluación de la gelatinización del almidón.

Molina y col (1977) en estudios de obtención de tortilla a partir de harina instantánea incluyeron en el proceso una operación simultánea cocción-secado de una pasta de harina de maíz, agua e hidróxido de calcio en un secador de tambor. Ellos proponen evaluar la máxima viscosidad amilográfica Brabender como una medida de la consistencia de pastas a 14%. Determinaron también la

absorción de agua y valor de sedimentación de la harina como se muestra en el cuadro siguiente (4.4), en donde compararon dos muestras de harinas comerciales A y B, una muestra de harina obtenida en el secador de tambor y una muestra de pasta de harina de maíz blanco obtenida por el método tradicional.

Para determinar la viscosidad amilográfica se utilizó un Viscoamilógrafo Brabender modelo AV-10 utilizando una muestra de 60g (14% base húmeda). La capacidad de absorción de agua se determinó en un Farinógrafo Brabender con una muestra de 300g (14%) a una tensión estándar de 300 BU (máxima resistencia). El valor de sedimentación se obtuvo por el método propuesto por Zeleny.

Los resultados muestran que se obtienen harinas similares al método tradicional con el método de cocción-secado propuesto. En contraste, las muestras comerciales de productos similares fueron estadísticamente diferentes al método tradicional y al método propuesto.

Cuadro 4.4 Características fisicoquímicas de masa de maíz cocida en casa con maíz blanco reportados por Molina y col (1977)

	Pasta de maíz blanco	Harina instantánea comercial A	Harina instantánea comercial B	Pasta de maíz secado en tambor
Máxima viscosidad (B.U)	400	700	580	388
Absorción de agua (ml %)	111	90	88	115
Valor de Sedimentación Zeleny (ml)	9	37	24	9

Johnson y col (1980) evaluaron la factibilidad de usar mezclas maíz-sorgo en la elaboración de tortillas, a través de pruebas químicas, físicas y texturales en granos y pastas. En el estudio se utilizaron los granos de sorgo y de maíz perlado, los cuales fueron sometidos a un tratamiento de micronización (proceso de intercambio de calor seco utilizando flama de gas e infrarrojos a través de un rodillo de acero corrugado) durante 20-30 segundos a nivel laboratorio. En el tratamiento aplicado se observó un cambio de densidad de 62 Lb/bushel a 32.5 Lb/bushel en el sorgo perlado y de 56 a 23 Lb/bushel en el maíz perlado.

Los autores determinaron el grado de gelatinización del almidón por medio de la pérdida de birrefringencia. En un viscoamilógrafo Brabender evaluaron la temperatura en donde se observa un cambio de viscosidad considerable, en el inicio de la curva, así como el pico de máxima viscosidad en pastas preparadas

al 14%(peso seco) con 40 ml de agua destilada por muestra. Se midió también la susceptibilidad enzimática, a través de una digestión con amiloglucosidasa. La glucosa fue cuantificada usando un procedimiento enzimático con hexoquinasa en un sistema Technicon AutoAnalyzer II. El máximo de agua absorbida por los polvos fue determinado por la hidratación y centrifugación (15 minutos a 764 rpm), y el cambio en peso fue registrado en porcentaje.

Cuadro 4.5 Análisis de las muestras de maíz propuesto por Johnson y col (1980)

Muestra	Humedad (%)	p.H	Máxima agua absorbida (%)	Pérdida Birrefringencia (%)	Temperatura del incremento inicial de la viscosidad (°C)	Pico de viscosidad o punto máximo de viscosidad (B.U)	Susceptibilidad enzimática (mg glucosa/g)
Harina de maíz comercial	11.0	6.8	236	29.4	75.2	660	600
Máiz blanco micronizado	10.8	6.3	404	37.9	64	495	1132
Sorgo perlado micronizado	9.9	6.6	333	38.2	70.2	515	985

Referencia: Johnson y col, 1980.

Como se muestra en el cuadro anterior, la micronización causa mayor gelatinización del almidón que el proceso comercial para hacer tortillas (usando harina de maíz comercial), ya que en ambas micronizaciones, del sorgo perlado y del maíz, se observan pérdidas significativas de birrefringencia, además los granos micronizados son más susceptibles al ataque enzimático por lo que presentan mayor gelatinización que los comerciales.

La diferencia en el máximo de agua absorbida de las muestras de harina de maíz comercial fueron relacionadas directamente con el grado de gelatinización.

Los gránulos de almidón parcialmente o completamente gelatinizados absorben más agua que los gránulos nativos. La habilidad para absorber agua afecta la cantidad de agua necesaria para elaborar la masa y a su vez influye en la textura y la rollabilidad de la tortilla, así como en el rendimiento de la misma.

Los autores explican que los resultados del viscoamilógrafo, soportan los valores obtenidos de la birrefringencia y la susceptibilidad enzimática. Los granos micronizados tienen mayor cantidad de almidón gelatinizado que la harina de maíz comercial. Lo anterior es observado en el registro de una menor temperatura del incremento inicial de la viscosidad indicando que una mayor cantidad de almidón es gelatinizado. Sin embargo, la gelatinización ocurre en el inicio de la prueba proporcionando un pico de menor viscosidad.

En otro estudio, Gómez y col (1986) evaluaron los cambios del almidón ocasionados por la cocción, remojo, trituración y freído en maíz y subproductos. Las muestras de maíz, maíz cocinado, nixtamal, masa, tortilla y tortilla chips fueron sometidos a un tratamiento de molienda con etanol al 96%. Las suspensiones fueron fraccionadas por centrifugación en sólidos disueltos y particulados (3000g x 20 minutos). La fase de etanol fue desechada, el residuo se secó a 50°C por 30 minutos y el resto molido en un molino de café. La técnica empleada para evaluar la consistencia fue medida a través de la viscosidad aparente en un viscosímetro comercial (Rapid ViscoAnalyzer). Esta se evaluó en 30g de suspensiones al 15%, las cuales se calentaron de 50 a 95°C, se cocinaron 4

minutos a 95°C y se enfriaron de 95 a 50°C.

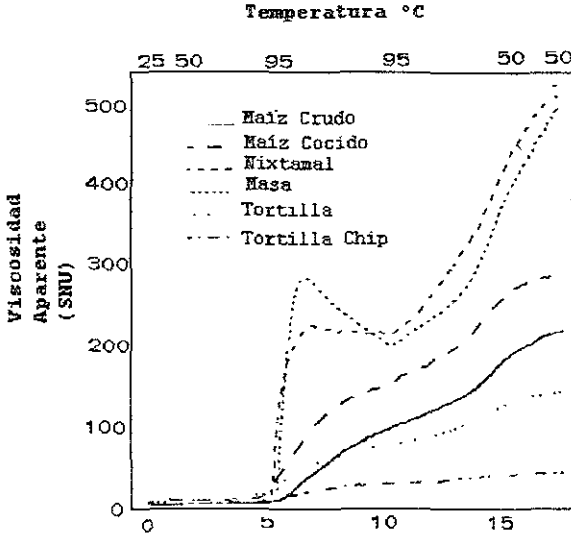


Fig 4.1 Viscogramas de pastas de maíz crudo, cocido, nixtamal, masa, forilla y tortilla chip (Gómez y col,1986).

En la figura 4.1 se muestra que los viscogramas obtenidos de dispersiones de nixtamal y masa son significativamente diferentes comparados con los de maíz crudo y maíz cocido, tortilla y tortilla chips. Al observar la gráfica de maíz crudo y maíz cocido, no se visualiza un pico de viscosidad a 95°C. El hinchamiento y gelatinización del almidón son restringidos ya que los gránulos se encuentran bloqueados dentro de las células del endospermo. El nixtamal y la masa si presentan un pico de viscosidad a 95°C. Durante el cocimiento, el nixtamal fue más resistente al rompimiento manteniendo una viscosidad constante. Mientras que la viscosidad de la masa disminuyó debido al cizallamiento. Ambas muestras

incrementaron la viscosidad en el enfriamiento. Las pastas de tortilla y tortilla chips desarrollan baja viscosidad durante el calentamiento y cocción. La viscosidad de las pastas de tortilla aumenta durante el enfriamiento, por el contrario la viscosidad de la pasta de la tortilla chip no presenta cambios durante el enfriamiento, justificado por una interacción entre amilosa y lípidos (por el frío) que reduce el potencial de dispersión del almidón.

Twillman y col (1988) midieron el efecto de la adición de monoglicéridos en la textura de pastas de maíz, masa y tortillas. Los monoglicéridos estudiados fueron de monoestearina, monopalmitina y monomiristina (0.2% y 0.4%), los cuales se compararon con un control.

Las pastas se prepararon al 10% y se midió la consistencia a través de un amilógrafo por el método ZZ-10 del AACC (1983). Los resultados de los viscoamilogramas son presentados en el cuadro 4.6 y fueron analizados por el método ANOVA. Los investigadores observaron que todas las pastas que contienen monoglicéridos presentan picos más altos de viscosidades que el control ($P < 0.05$). Además las pastas que contienen 0.4% de monoglicéridos presentan picos mayores que las pastas al 0.2% ($P < 0.05$).

Cuadro 4.6 Valores del Viscoamilógrafo para dispersiones pastas de harina de maíz-agua

Monoglicéridos Añadidos	Pico de Viscosidad (BU) ^b	Temperatura de la muestra (°C)	Viscosidad a 50°C (BU) ^b
Control	437	72.5	807
Monomiristina			
0.2%	550	76.3	990
0.4%	498	79.0	1000
Monopalmitina			
0.2%	512	74.8	963
0.4%	548	76.2	995
Monoestearina			
0.2%	517	73.5	977
0.4%	535	72.4	995

^b Unidades Brabender

Referencia: **Twilman y col, 1988.**

Se observaron diferencias significativas en la temperatura de cocción entre los distintos tratamientos. Las pastas con monomiristina tienen las temperaturas más altas de cocimiento seguidas de monopalmitina y monoestearina.

Tradicionalmente los emulsificantes se utilizan en tortillas de trigo y raramente son adicionados en tortillas de maíz, debido a lo anterior existen pocos estudios como este referentes a la adición de monoglicéridos como emulsificantes, sin embargo se ha encontrado que estos proporcionan a las masas extensibilidad, tolerancia al mezclado, elasticidad y absorción de agua, lo cual en el producto final (tortillas) producen suavidad y rollabilidad.

Finalmente, los autores concluyen que la adición de todos los

monoglicéridos en los sistemas incrementa la consistencia (B.U) significativamente ($P<0.05$) a 50°C comparadas con el control. Hay diferencias significativas ($P<0.05$) entre los tratamientos por la cantidad de monoglicéridos; con 0.4% de monomiristina se tiene el mayor efecto seguido de monoestearina y monopalmitina.

Case y col (1992), investigaron los efectos de la gelatinización sobre las propiedades mecánicas texturales en productos extruídos. Se obtuvieron Pellets de harina de trigo, almidón de trigo, harina de maíz y almidón de maíz, en una planta piloto utilizando extrusores de doble tornillo. El almidón fue gelatinizado del 20 al 100%. La cocción final del producto se realizó en aceite a 196°C .

Las muestras se prepararon en un mezclador con una humectación previa de 18-24 horas antes de la extrusión, utilizando un contenido de humedad de 28% para harina de trigo y 35% para harina de maíz, almidón de maíz y almidón de trigo. Para cada una de las muestras se utilizaron diferentes extrusores. Se realizó un arreglo factorial tomando como variables la temperatura del barril, velocidad del tornillo y velocidad de alimentación, este arreglo fue desarrollado para variar el grado de gelatinización durante la cocción por extrusión. La temperatura del barril varió en un rango de $60-120^{\circ}\text{C}$, la velocidad del tornillo entre 50-175 r.p.m y la velocidad de alimentación en tres niveles de 5, 10 y 15 kg/hr.

La textura fue medida en una Máquina Universal de Deformación (Instron)

modelo 1122, Instron Corp; Canton, M.A equipado con una celda Kramer modelo CS-1 Food Technology Corp. Rockville, MD.

Cuadro 4.7 Condiciones para la determinación de textura en cada una de las muestras analizadas

Muestra	Condiciones
Las muestras utilizadas fueron de 2g con un contenido de humedad 28% (base seca) para harina de trigo y 35% (base seca) para harina de maíz, almidón de maíz y almidón de trigo	<p>La prueba de textura se realizó con una Máquina Universal de Deformación (Instron) modelo 1122 equipado con la celda kramer modelo CS-1.</p> <p>Condiciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Celda de carga 500 kg - Velocidad del cabezal de 100 mm/min - Velocidad del papel de 1000 m/min - Límite de escala de fuerza de 50 kg

Referencia: Case y col, 1992.

Se obtuvieron curvas de fuerza-deformación a una velocidad de cabezal de 100mm/min y una velocidad de papel de 1000mm/min. Se determinaron los parámetros texturales de la fuerza de ruptura (pk) o fuerza máxima en el pico y la energía total (trabajo) (Ef) evaluada como área bajo la curva. La variación en forma y espesor fue considera en los cálculos del esfuerzo y deformación a la ruptura. La altura de ambos picos (cm) y el área (cm²) del pico (1) fueron medidos. La altura de los picos fue expresada en kgf. Se realizaron tres replicas evaluadas en días diferentes.

De acuerdo con los resultados obtenidos, los productos intermedios mostraron un aumento en el volumen global y una disminución en la densidad conforme incrementa la gelatinización, así como una mayor facilidad a desmoronarse. Por el contrario, los productos con un grado de gelatinización bajo, fueron delgados y débiles después del hinchamiento.

En lo que respecta al efecto de la temperatura de extrusión, se obtuvo una mayor expansión a temperaturas altas y por lo tanto una mayor gelatinización. Los productos extruídos a bajas temperaturas además de presentar una baja gelatinización fueron delgados. En cuanto a la densidad global, ésta disminuye conforme aumenta el grado de gelatinización (Fig. 4.2), observando un efecto mayor cuando la densidad es inferior a 300 kg/m^3 (pendiente más pronunciada). La mínima densidad obtenida para todos los productos en este estudio no fue menor a 100 kg/m^3 , excepto en el almidón de maíz al 75% de gelatinización.

Los autores observaron que las diferencias entre las características físicas y texturales son mayores dependiendo de los niveles de gelatinización.

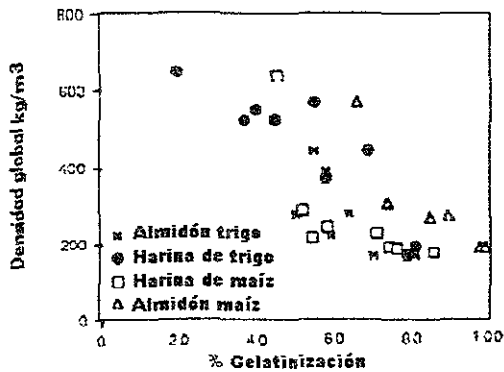


Fig 4.2 Relación entre la densidad global y el porcentaje de gelatinización (Case y col, 1992).

Al graficar la fuerza de ruptura obtenida en las curvas de fuerza-deformación contra el porcentaje de gelatinización (Fig.4.3) se observa una tendencia parabólica en los cuatro productos estudiados.

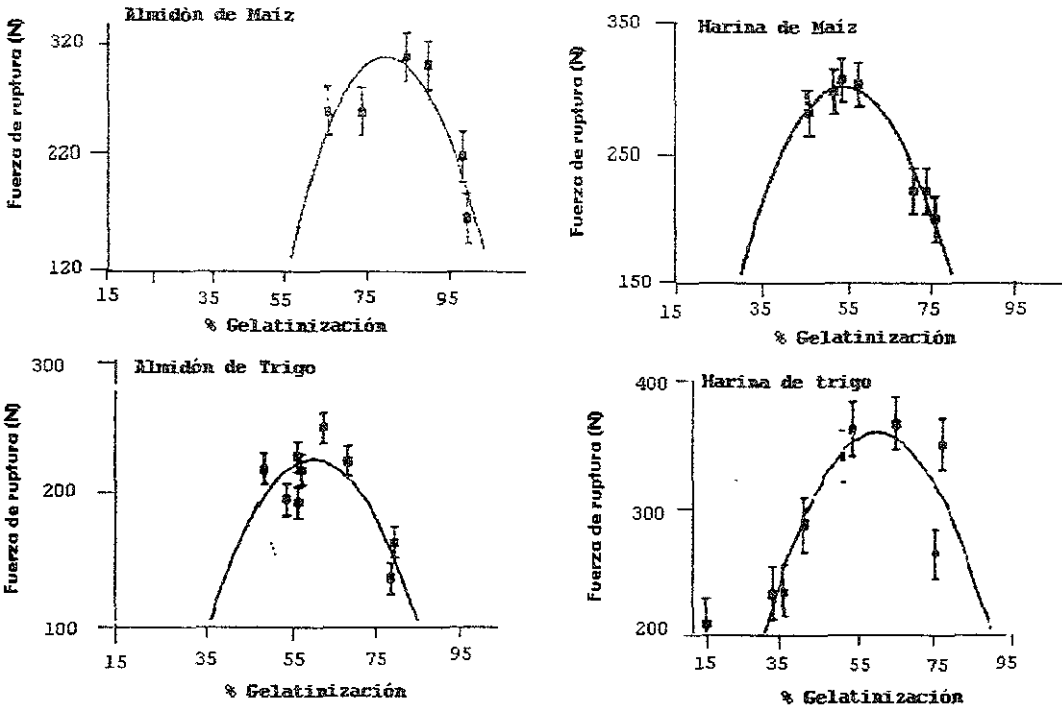


Fig. 4.3 Gráficas de Fuerza-deformación contra porcentaje de gelatinización (Case y col, 1992)

Dos teorías pueden construirse con estos datos, la primera explicación se basa en la disminución de la densidad; es posible que una vez que disminuye a 300 kg/m^3 , las dimensiones de la pared estructural y la porosidad presentan cambios significativos como el aumento en la gelatinización. Debido a estos cambios macroestructurales, la fuerza de ruptura disminuye con el aumento de la gelatinización. La segunda explicación, se basa en la posibilidad de que las dimensiones de la pared estructural no sufren cambios significativos al aumentar la gelatinización; sin embargo, una mayor gelatinización reduce la fuerza de los materiales con los cuales esta conformada la estructura. Aunque solo ocurre una

expansión adicional pequeña, ocurren otros cambios dentro de los materiales con el aumento de la gelatinización, provocando un debilitamiento en la estructura molecular.

Los autores proponen un modelo para poder correlacionar la densidad y la deformación, que involucran la energía total de ruptura (E_f) y la fuerza de ruptura (P_{kf}), en donde la deformación corresponde a la longitud de la línea base de la curva de fuerza-deformación hasta la fuerza de ruptura, equivalente a la relación E_f/P_{kf} .

Al graficar la densidad global en función de E_f/P_{kf} se observa una dependencia inversa muy importante hasta un valor de densidad de aproximadamente 170 kg/m^3 , donde la relación E_f/P_{kf} continua aumentando. Este cambio se observa en la figura 4.4.

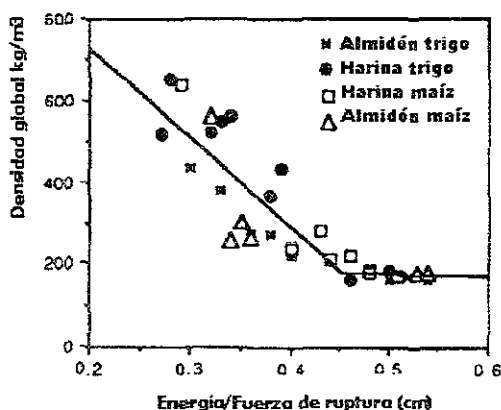


Fig. 4.4 Relación de la densidad global con la medida de la textura en proporción a la energía total de la fuerza de ruptura (Case y col, 1992).

Ellos atribuyen a la degradación o a la dextrinización de amilosa y amilopectina que ocurre durante la extrusión, la disminución de la fuerza de ruptura (Fig.4.3) y el aumento del valor Ef/Pkf (Fig. 4.4) en la zona en donde la densidad no presenta grandes cambios (alta gelatinización).

La relación de Ef/Pkf también fue graficada contra el porcentaje de gelatinización del almidón para cada material obteniendo una excelente correlación. Los datos de cada uno de los productos fueron evaluados por medio de una análisis de varianza y de regresión, en todos los casos se encontró una dependencia lineal, por lo que el grado de gelatinización puede predecirse utilizando la ecuación obtenida. La respuesta del porcentaje de gelatinización para dicha ecuación fue similar para harina de trigo, almidón de trigo y harina de maíz, estos datos se pueden observar en la figura 4.5.

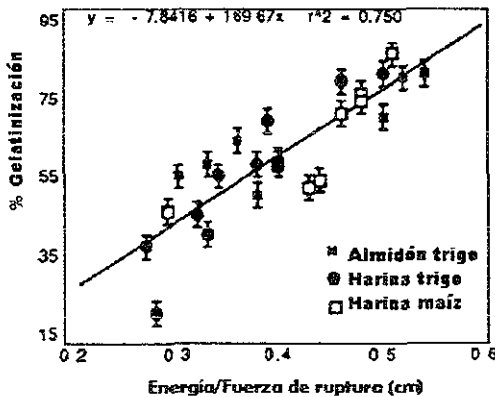


Fig.4.5 Gráficas de regresión del porcentaje de gelatinización contra la relación de la energía total entre la fuerza de ruptura (Case y col,1992).

Finalmente en el cuadro 4.8 se muestra como los productos extruídos requieren diferentes condiciones de extrusión para alcanzar los mismos niveles de gelatinización. En este mismo cuadro se observa que las muestras de almidón requieren menor calor y potencia consumida o energía para alcanzar el grado de gelatinización que las de harina de maíz y harina de trigo, esto es probablemente debido a la falta de proteína, lípidos, salvado y otros componentes en los almidones que se encuentran en la harina. Estos componentes pueden actuar sometiéndose al calor y absorbiéndolo y pueden limitar el agua disponible para la gelatinización. Presumiblemente estos componentes protegen al almidón y el resultado es un bajo grado de gelatinización.

Cuadro 4.8 Registro de los parámetros corridos en la extrusión y el grado de gelatinización

Producto	Temperatura de las zonas del barril (°C)						Contenido de humedad (%)	Velocidad (r.p.m.)	Velocidad de alimentación (kg/hr)	Porcentaje de gelatinización (%) ^b
	1	2	3 ^a	4 ^c	5	Molde				
Harina de trigo	51	62	68	NA	65	95	28	175	15	55 ± 3
Almidón de trigo	26	29	44	36	26	56	35	126	3	55 ± 3
Harina de maíz	30	70	85	55	74	65	35	150	10	54 ± 1
Harina de trigo	64	80	95	NA	67	110	28	200	15	86 ± 1
Harina de maíz	38	83	112	104	74	85	35	125	5	86 ± 1

Continúa Cuadro 4.8

Aimión de maíz	32	31	52	48	58	68	35	109	2.5	85 ± 1
-------------------	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	--------

A = zonas de cocción

B = Significa ± desviación estándar.

Referencia: Case y col, 1992.

IV.5 PROPIEDADES TEXTURALES EN MASA

Para la evaluación de la textura de la masa de maíz nixtamalizada se encuentran reportadas diversas pruebas estandarizadas o no estandarizadas, que tratan de evaluar diferentes propiedades como la consistencia de la masa, a través de métodos de extrusión, utilizando un mezclador Brabender o midiendo la adhesividad de la pasta.

Rubin (1990) también realizó un estudio sobre la textura de masa de maíz determinando en esta prueba la fuerza de compresión-extrusión en dos celdas: 1) celda de extrusión inversa y 2) celda Ottawa utilizando dos aditamentos a) laminas y b) orificios. El tamaño de muestra elegido fue de 400g y el autor no especifica la forma de la muestra utilizada ni el número de cuchillas en las celdas.

Cuadro 4.9 Textura en masa de maíz

MAÍZ BLANCO kgf/g	MAÍZ AMARILLO kgf/g	CONDICIONES
PRUEBA COMPRESIÓN-EXTRUSIÓN CON CELDA DE EXTRUSIÓN INVERSA		
0.236 $\sigma = 0.013$ C.V.=5.5%	0.209 $\sigma = .003$ C.V= 1.4%	Esta prueba se realizó con una Máquina Universal de Deformación (Instron) modelo 1130 con la Celda de Extrusión Inversa

Continúa cuadro 4.9

PRUEBA COMPRESIÓN-EXTRUSIÓN CON CELDA OTTAWA		
celda de láminas 0.059 $\sigma = .003$ C.V.=5%	Celda de láminas 0.072 $\sigma =.003$ C.V=4.1%	Esta prueba fue realizada en una Máquina Universal de Deformación (Instron) con Celda de compresión-extrusión Ottawa con dos diferentes aditamentos celda de láminas y celda de orificios. Condiciones de operación: - Celda de carga reversible: 500 Kg. - Velocidad del cabezal: 10 cm/min. - Velocidad del papel: 10cm/min. - Límite de escala de fuerza: 50 Kg.
celda de orificios 0.05 $\sigma =0$	celda de orificios 0.086 $\sigma =0$	

σ = Desviación estándar

C.V = Coeficiente de variación

Referencia: Rubín, 1990.

De acuerdo a los resultados reportados en el cuadro anterior, se observa poca concordancia en los dos métodos propuestos; con la celda de extrusión inversa, la textura de la masa obtenida con maíz amarillo es menor que la textura obtenida del maíz blanco contrariamente con la celda Ottawa, donde la textura del maíz amarillo es mayor. Se confirmó que a menor temperatura mayor resistencia a la compresión y extrusión. Comparando los resultados de ambas muestras en la celda de extrusión inversa por el método de Análisis de varianza y por medio del Análisis de comparación múltiple de Duncan, se determinó que no hay diferencias significativas entre muestras.

Contrariamente, los resultados reportados con la celda de compresión-extrusión Ottawa, por medio del análisis de varianza se observa que la textura de la masa es diferente en ambas variedades de maíz por los dos tipos de aditamentos. El Análisis de comparación múltiple de Duncan confirmó una

diferencia significativa en un intervalo de confianza del 5% entre los dos tipos de maíz. El autor concluyó que ambas celdas son sensibles ya que pueden detectar las diferencias entre las muestras estudiadas.

En el estudio realizado por Cuevas y Puche (1986) se evaluó el comportamiento reológico de masa de maíz utilizando también un Farinógrafo Brabender. Las variables independientes utilizadas fueron la temperatura, velocidad de mezclado y concentración. Como variable dependiente se determinó la consistencia bajo las siguientes condiciones: 30, 50 y 70°C, velocidad 60, 90 y 120 r.p.m y una composición de 35 y 40% de harina en la masa. Estos autores agruparon en números adimensionales los factores que afectan la agitación y mezclado de la pasta para definir una viscosidad aparente, utilizando la densidad del material, la velocidad de rotación del agitador o mezclador, el torque medido, así como los factores geométricos del impulsor. En el siguiente cuadro se muestran los resultados obtenidos con las tres variables antes mencionadas.

Cuadro 4.10 Parámetros de consistencia e índice de viscosidad aparente de masas de maíz de 60/40 y 65/35 de harina precocida evaluados en una Farinógrafo Brabender reportados por Cuevas y Puche, (1986).

TIPO DE MUESTRA H ₂ O/HARINA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (r.p.m.)	CONSISTENCIA BRABENDER (BU)	INDICE DE VISCOSIDAD APARENTE (Kg/ms)	CONDICIONES
60/40	30	60	280	67.40	Se prepararon las muestras con harina comercial Se utilizaron 100g de masa para el farinógrafo, Se mantuvo a temperatura constante Se mezcló a alta velocidad durante 10 min con la posición del torque 1:1
65/35	30	60	165	39.72	
60/40	50	60	270	64.99	
65/35	50	60	165	39.72	
60/40	70	60	300	72.22	
65/35	70	60	225	54.16	
60/40	30	90	290	46.54	
65/35	30	90	180	28.89	
60/40	50	90	295	47.34	
65/35	50	90	195	31.29	
60/40	70	90	320	51.35	
65/35	70	90	240	38.51	
60/40	30	120	315	37.91	
65/35	30	120	180	21.66	
60/40	50	120	315	37.91	
65/35	50	120	200	24.07	
60/40	70	120	260	43.37	
65/35	70	120	250	30.09	

La masa con 35% de harina se le llamó 65/35 y la masa con 40% de harina se le llamó 60/40.

En el cuadro (4.10) se muestra que el mezclado a alta velocidad proporciona una mayor consistencia en la masa. Sin embargo, el índice de viscosidad aparente calculado disminuye cuando se aumenta la velocidad de mezclado.

La diferencia de consistencia entre las mezclas 60/40 y 65/35 de masa es mayor sobre todo a bajas temperaturas. El resultado del análisis de varianza en la consistencia de masa de maíz en el Farinógrafo Brabender indica que todas las variables dependientes antes mencionadas presentan una diferencia significativa

en un nivel de significancia del 5%. Sin embargo, tienen un coeficiente de variación de 0.48% por lo tanto la variación es muy pequeña.

Se llegó a la conclusión de que la masa de maíz presenta un comportamiento No newtoniano de tipo reofluidizante. Sin embargo el efecto de la temperatura de cocción en la viscosidad aparente de la masa de maíz no sigue la tendencia típica de la mayoría de los líquidos a altas temperaturas; la viscosidad de la muestra aumentó con la temperatura (probablemente debido a la gelatinización del almidón presente). Durante las pruebas se observó que la pegajosidad aumenta con la temperatura, siendo la masa de 70°C la más pegajosa. El autor no especifica como midió la pegajosidad en las muestras.

Al igual que otros productos alimenticios, se observa que entre más concentrada la masa ésta presenta una mayor consistencia. El efecto de una rápida agitación con respecto a la viscosidad aparente fue mayor para la masa 60/40 debido a que está más concentrada.

En un estudio realizado por Ramírez-Wong y col (1993) se propuso evaluar la textura de la masa con diferentes porcentajes de humedad, por medio de una prueba de compresión-tensión, la cual se realizó en una Máquina Universal de Deformación (Instron) modelo 1112 y una prueba de adhesividad en un aparato propuesto (MSD). En el primer método, la masa fue puesta entre dos platos de acero inoxidable. El tamaño de la muestra fue de $5 \pm 0.05\text{g}$ en forma de esfera

la cual fue aplastada por un contenedor cilíndrico de plástico de 31mm de diámetro y 6 mm de longitud. El disco de masa fue puesto entre los dos platos de acero. El plato de arriba se mantuvo estacionario y el plato inferior se podía mover hacia arriba o hacia abajo a una velocidad constante de 0.5 cm/min, el plato superior se encuentra unido a una celda de carga de 1000lb. Las fuerzas de compresión- tensión fueron registradas con la velocidad de papel de 10cm/min. Los autores reportaron la dureza, definida como la fuerza de compresión máxima por unidad de área; el trabajo de compresión evaluado como el área (1) bajo el primer pico; la adhesividad, definida como la fuerza máxima de tensión o el trabajo de tensión área (2) y la relación de Fuerza Máxima de compresión con respecto a la Fuerza Máxima de tensión llamado Factor Compresión-tensión, así como la relación de sus respectivos trabajos.

El aparato de textura propuesto (MSD) está basado en un sistema utilizado por Maseca, S.A que consiste en dos barras rectangulares lisas fabricadas en aluminio, sostenidas por un extremo con un tornillo, que permite mover la barra superior hacia arriba. La separación entre placas es de 1.2 cm, en éste se miden la longitud de la masa adherida a la barra superior. El porcentaje de adhesividad es reportado como los cm de masa adherida / 15 cm x 100. La muestra utilizada fue de 175 ± 0.1 g , se le dio la forma cilíndrica con las dimensiones de 15 cm de largo y 3 cm de diámetro. Al ser puesta la masa entre las dos barras se obtuvo un bloque de masa de 42 ± 2 g . Considerando tres tipos de masa se observaron los siguientes comportamientos:

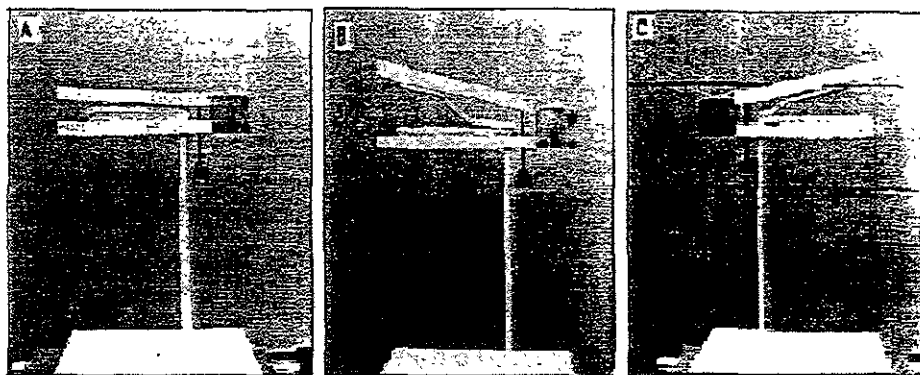


Fig.4.6 Características texturales de masas de maíz evaluadas con un aparato mecánico de adhesividad. A. Masa dura (no adhesivo, 0-12%) B. Masa óptima (10-35%) C. Masa Adhesiva o pegajosa (73-100%)

La composición química del maíz utilizado en este estudio fue de: 12.4% humedad, 76.0% almidón, 10.3% proteína y 1.3% cenizas, fue cocinado con 1% (p/p) en solución de cal en una marmita de vapor por 55 minutos a 100°C y se remojo por 14 horas a temperatura controlada. El nixtamal lavado se molió en un molino de piedra. Para evitar la generación de calor excesivo se le agregó agua (250-450 ml). La masa de maíz se dividió en tres partes y se obtuvieron tres masas con distintas humedades, poniéndose en bolsas de plástico para que no perdieran la humedad. La prueba se hizo con masa que fue preparada 140 ± 8 minutos después.

A continuación se presenta una curva típica obtenida con el primer método, donde se comparan pastas con 3 intervalos de humedad, obteniéndose claramente diferencias en textura.

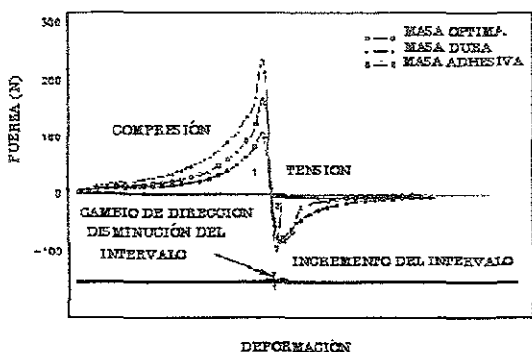


Fig 4.7 Curva típica de fuerza-distancia obtenida en una Máquina Universal de Deformación (Instron) por medio de la prueba de Compresión-tensión (Ramírez-Wong y col, 1993).

En el cuadro 4.11 se resumen en función del contenido de humedad los valores de dureza, adhesividad y factor de compresión-tensión así como el porcentaje de adhesividad obtenido con el MSD. Los autores concluyeron que la masa debe tener suficiente cohesividad para estar junta y formar la tortilla. La masa con adhesividad por debajo de un rango óptimo tiene valores grandes de dureza mientras que la masa con valores más grandes que los óptimos presenta una consistencia suave pero muy adhesiva. Los valores óptimos de adhesividad cuantificados en una Máquina Universal de Deformación (Instron) correspondientes al 10-35% en el MSD son 0.01-0.03 N.m de adhesividad, 8.5×10^4 y 1×10^5 Pa de dureza y un factor de compresión-tensión entre 2.4-2.7. En este estudio se encontró que existe una correlación negativa entre el porcentaje de adhesividad medida en el MSD y la dureza medido en el (Instron) ($r=-0.90$), y entre el porcentaje de adhesividad (MSD) y

el factor de compresión-tensión ($r=-0.88$) contrariamente a la correlación positiva obtenida del porcentaje de adhesividad (MSD) y la adhesividad obtenida en el Instron ($r=0.76$), como era de esperarse.

Cuadro 4.11 Evaluación de la Textura en masa

Humedad de la masa (%)	Adhesividad de la masa (N.m)	Adhesividad de la masa (%)	Dureza (Pa)	Factor Compresion Tensión	Condiciones	Observaciones
56.8 ± 0.5	0.038	8.1	102,825	2.52	Esta prueba fue realizada en una Máquina Universal de Deformación (Instron) modelo 1112 con 2 platos de acero con diámetro de 6.9 cm. Condiciones: - Celda de carga: 1000lb	La masa tiene apariencia dura
58.8 ± 0.5	0.059	52.4	71,426	2.07	- Velocidad del cabezal: 0.5cm/min - Velocidad del papel 10cm/min	La masa presenta las características óptimas
60.4 ± 0.5	0.078	84.4	49,900	1.76		La masa presenta demasiada adhesividad

Referencia: Ramírez-Wong y col, 1993.

Lobeira y col (1998), realizaron un estudio sobre los métodos de evaluación de las propiedades de hidratación y de mezclado de harina de maíz nixtamalizada, utilizando para dichas evaluaciones un Viscosímetro, un Consistómetro y un Mixógrafo. Se utilizaron diferentes muestras de harina de maíz comercial nixtamalizada para elaborar tortillas y tacos con diferentes tamaños de partícula que van de 125 a 840 μm . Se establecieron 3 diferentes contenidos

de humedad que van de 51 al 58%.

El efecto del contenido de humedad se midió en un mixógrafo y se evaluó de manera subjetiva las propiedades de maquinabilidad. Las lecturas de dureza subjetiva fueron relacionadas con la consistencia máxima de mezclado. En la lectura del mixógrafo se pueden observar tres estados los cuales son:

- 1) Hidratación de la harina de maíz nixtamalizada
- 2) Desarrollo de la cohesividad en la cual se observa una curva ancha y alargada en la consistencia máxima
- 3) La masa se hace adhesiva, provocando una curva baja y angosta.

Durante el sobremezclado un excesivo cizallamiento aplicado a la masa, produce daños físicos en el almidón, lo cual provoca adhesividad en el desarrollo de la misma. En el mixógrafo (NSI-33R, National Mig, Co Lincoln) se registraron la máxima consistencia (BU) A, el tiempo en el que se alcanza la máxima consistencia (min) B, el tiempo para desarrollar la adhesividad (min)D y la cohesividad en (BU)C. Como se puede observar en la fig. 4.8 y se encuentra resumido en los cuadros 4.12 y 4.13.

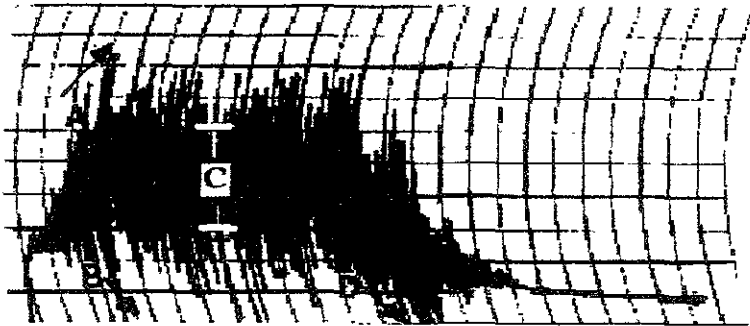


Fig 4.8 Mixograma típico de harina de maíz nixtamalizada donde se muestra la consistencia máxima (A), tiempo para la máxima consistencia (B), cohesividad (C), y el tiempo de adhesividad (D).

La harina de para tortilla identificada como 4 y harina para taco identificada como 3 fueron hidratadas y mezcladas a velocidad uno durante 5 minutos en una batidora Hobart 19-L, se hicieron tres masas con diferentes humedades. Las masas fueron reposadas por 15 minutos y se evaluaron subjetivamente durante el proceso de laminado y corte para los parámetros de adhesividad, dureza, pegajosidad y maquinabilidad usando una escala de evaluación subjetiva de 1 a 5 siendo 1= bajo y 5= alto

Cuadro 4.12 Evaluación subjetiva del efecto del contenido de humedad sobre las propiedades texturales y de maquinabilidad de la masa de maíz

Muestra	% Humedad	Dureza	Cohesividad	Adhesividad	Maquinabilidad
Harina de maíz para Tortilla 4	51.0	4.5	2.4	1.2	2.6
	54.5	3.8	3.7	1.6	4.2
	58.0	2.1	4.9	2.8	4.4
Harina de maíz para Taco 3	51.0	4.6	2.4	1.6	2.7
	54.5	3.6	3.7	2.0	4.0
	58.0	3.0	4.4	2.8	4.0
LSD ^a		0.43	0.51	0.97	0.71

a. Diferencia significativa (P<0.05)

Referencia: Lobeira y col,1998.

En los resultados obtenidos se puede observar que el mixógrafo es capaz de diferenciar entre varias etapas de la preparación de la masa. El incremento del nivel de humedad de 51 a 58% causa un aumento en la cohesividad, adhesividad, maquinabilidad y por consecuencia disminuye la dureza. La lectura de la dureza describe la consistencia de la mezcla, el incremento del nivel de humedad disminuye la altura del mixograma y por lo tanto el valor de la dureza. Al incrementar el nivel de humedad se incrementa la adhesividad de la masa y se disminuye el tiempo en el que el mixógrafo determina la adhesividad.

Cuadro 4.13 Efecto del contenido de humedad en el mixógrafo sobre las características de la harina de maíz nixtamalizada^a

Muestra	% Humedad	Consistencia Máxima ^b	Tiempo de consistencia máxima ^c	Tiempo de la adhesividad ^c	Cohesividad ^b
Harina de maíz para Tortilla 4	51.0	55.0	4.9	12.0	50.0
	54.5	45.0	1.9	7.6	31.7
	58.0	39.3	1.3	1.9	11.7
Harina de maíz para Taco 3	51.0	65.0	7.6	12.0	65.0
	54.5	50.0	2.4	8.2	50.0
	58.0	38.0	1.6	2.3	17.7
LSD ^d		0.7	0.2	0.7	2.8

^a Análisis realizado por triplicado.

^b Unidades del mixograma (% según su escala)

^c Tiempo recorrido en minutos.

^d Diferencia significativa (P < 0.05).

Referencia: Lobeira y col, 1998.

Los resultados de este estudio muestran que la masa con bajo contenido de humedad del 51% puede reducir la movilidad y textura firme, dando como resultado mixogramas altos y anchos.

En la primera etapa de hidratación de las partículas es en la cual se produce un incremento en la fuerza, por lo tanto se desarrolla la cohesividad en la masa y se alcanza una máxima consistencia. Finalmente la masa desarrolla adhesividad y sobremezclado la cual produce una curva baja y angosta. Harinas con alta capacidad de absorción producen masas gruesas ligadas incrementando la viscosidad o consistencia.

Con un alto nivel de humedad del 58% la masa se lubrica y plastifica, produciendo una textura suave reduciendo la consistencia de mezclado visto en el mixograma y presentando una lectura subjetiva de la dureza.

El exceso de agua en el sistema incrementa el nivel de humedad reduciendo el torque durante la mezcla y produciendo masas suaves con una consistencia baja; y con la cohesividad se presentan mixogramas bajos y angostos.

Para poder evaluar la fluidez se utilizó un Consistómetro Bostwick CSC Scientific y para la determinación de la viscosidad se utilizó un Viscosímetro (Rapid Visco Analyzer 3C Newport Scientific) con una velocidad del calentamiento de 10°C/min; con los cuales se analizaron las características de los productos de maíz nixtamalizados con un 22 a un 24% de sólidos, presentándose los resultados en el cuadro 4.14.

Cuadro 4.14 Determinación de viscosidad y consistencia en productos de harina de comercialnixtamalizados evaluados a 24 y 22% de sólidos

Muestra de harina de maíz comercialnixtamalizada para la elaboración de tortillas	Viscosidad RVA (cp) ^b		Distancia recorrida en el consistómetro (cm) ^c
	Inicial	Máxima	
Harina para Tortilla A	1,600	4,530	12.1+0.15
Harina para Tortilla B	2,970	7,360	7.0+0.10
Harina para Tortilla C	595	1,515	16.2+1.04
Harina para Tortilla D	2,170	5,430	8.9+0.06
Harina para Tortilla E	410	1,185	22.5+0.15
Harina para Tortilla F	1,330	2,040	9.2+0.29
LSD ^d	401	480	

a Valor que significa un análisis por triplicado.

b Evaluación con 24% de sólidos en suspensión.

c Evaluación con 22% de sólidos en suspensión. Media ± desviación estándar

d Diferencia significativa (P < 0.05).

Referencia: Lobeira y col,1998.

Finalmente los autores encontraron que las lecturas del consistómetro tienen una correlación significativa con el valor de la viscosidad aparente inicial cuantificada en el Viscosímetro, obteniendo las siguiente regresiones $r = -0.84$ y $r = -0.72$ y con la máxima viscosidad $r = -0.74$ y $r = -0.67$ en la evaluación de las pastas con 24 y 27% de sólidos, respectivamente.

Lo y col (1999), proponen evaluar el comportamiento reológico de masa hecha con harina de maíz comercial para la producción de alimentos extruídos. Se utilizaron tres métodos reológicos; flujo estacionario, compresión entre placas lubricadas (flujo extensional biaxial) y determinación de las propiedades

viscoelásticas lineales de la masa de maíz cocida, con el objeto de desarrollar modelos que describan las funciones materiales de la masa de maíz cocida como una función de velocidad de cizalla/ velocidad de deformación biaxial/frecuencia, según sea el caso.

Los autores utilizaron tres muestras con diferentes características; la muestra No.1 fue de una cosecha de un año anterior y fue molida, la muestra No.2 se obtuvo de una nueva cosecha y la muestra No.3 consiste en el maíz de la muestra No.2 pero almacenada por 90 días y preparada igual que las demás. El maíz se molió y a 40g se le agregó agua para preparar las suspensiones con 70% de contenido de humedad. Después de que el agua se añadió al maíz molido se puso en un contenedor para ser mantenido en un baño de agua a 70°C. La muestra maíz-agua fue mezclada continuamente a 70°C aproximadamente 10 minutos. A esta temperatura el almidón se gelatinizó parcialmente, como resultado de una cocción parcial. La pasta fue puesta en un contenedor cilíndrico de aluminio lubricado (50.8 mm de diámetro y 22.3 mm de altura). Antes de las pruebas, las muestras se dejaron reposar por 5 minutos en un cuarto a temperatura para liberar el esfuerzo residual producido durante la preparación de la muestra.

En el método de compresión entre placas lubricadas, la masa fue puesta entre dos placas paralelas de aluminio (lubricadas con aceite vegetal). Las placas tienen el mismo diámetro que las muestras de masa (50.8mm), las cuales

fueron sometidas a una deformación uniaxial a una velocidad de deformación constante (0.1-5 mm/s) usando un Texturómetro (Texture Analyzer System, TA-XT2). Las muestras fueron comprimidas 12-18 mm (60 al 90% de la altura inicial) a 22°C. Los parámetros de las pruebas (velocidad de extrusión y porcentaje de esfuerzo) fueron seleccionadas basados en rangos instrumentales de operación. La relación fuerza-distancia fue registrada automáticamente por un sistema de computadora.

Los resultados del método de flujo estacionario, se obtuvieron al insertar un huso espiral en la muestra en un viscosímetro Brookfield (HB-DVIII). La velocidad del huso rotacional varía de 10 a 60 r.p.m. en un tiempo de prueba total de un minuto. El rango de la velocidad rotacional fue escogido siguiendo las sugerencias del fabricante. El comportamiento de cada muestra fue representado en una curva clásica de esfuerzo de cizalla contra velocidad de cizalla.

Las propiedades dinámicas de las muestras de la masa cocida fueron medidas con un Reómetro Haake (CV 20) en un sistema plato-plato. La distancia entre los platos fue de 1mm y el diámetro de 41.7 mm. Las medidas se tomaron en la región lineal de viscoelasticidad.

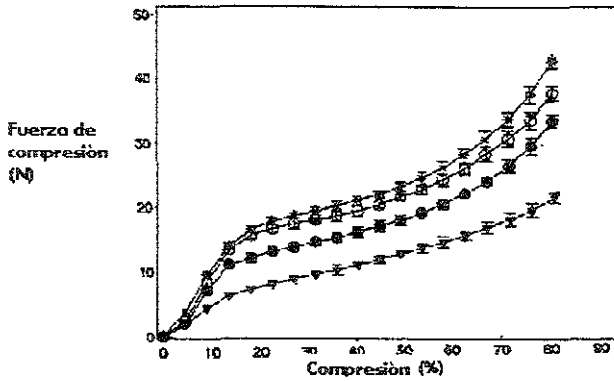


Fig. 4.9 Fuerza de compresión contra el porcentaje de compresión a diferentes velocidades (Harina No.3) ▼ 0.1 mm/s, ● 0.5 mm/s, ○ 1 mm/s, * 5 mm/s

Al aplicar la técnica de placas lubricadas se observó que a una velocidad baja (0.1 mm/s) el rango lineal obtenido es grande como se muestra en la figura 4.9. También se observó que la muestra se fractura más fácil cuando la velocidad de las placas lubricadas es alta (5 mm/s). Los mismos resultados fueron observados en otras muestras de maíz. Basándose en lo anterior, se escogió 0.1 mm/s como la velocidad de la prueba a 60% de compresión para la evaluación de los comportamientos.

En la figura 4.10 se representa el comportamiento de las 3 muestras bajo condiciones de compresión de las placas lubricadas. Estas gráficas muestran que después de un periodo corto del régimen transitorio aproximadamente de $0.003s^{-1}$, las curvas alcanzan una relación lineal en la escala log-log. El régimen lineal indica que la diferencia del esfuerzo normal y la velocidad de deformación

biaxial sigue una relación de tipo de la ley de la potencia. Los datos dentro del régimen lineal fueron utilizados para la obtención de las constantes reológicas (K_b y n). Los autores mencionan de que K_b y n fueron obtenidas utilizando la técnica de regresión lineal múltiple con el software plot IT (programa científico MI). Estas constantes se encuentran involucradas en la relación de esfuerzo normal :

$$N = K_b E_b^n$$

Donde:

N = Diferencia de esfuerzos normales

K_b = coeficiente de consistencia biaxial (Pa.sⁿ)

n = índice de comportamiento de flujo

E_b = velocidad de deformación biaxial (m)

La velocidad de deformación biaxial se obtiene a partir de la siguiente ecuación.

$$E_b = \frac{1}{2H(t_0)} \frac{dH(t)}{dt}$$

Donde:

$H(0)$ = la altura inicial de la muestra

t_0 = tiempo

H = altura

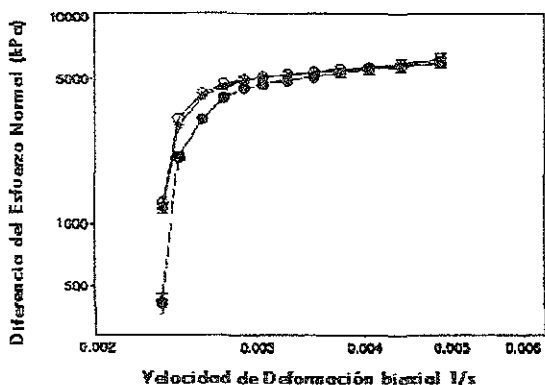


Fig. 4.10. Diferencia del esfuerzo normal (N) contra la Velocidad de Deformación

Biaxial. * Harina No.1, ● Harina No.2 ○ Harina No.3

El cuadro 4.15 incluye los valores calculados de los parámetros reológicos de los materiales evaluados en términos de la diferencia del esfuerzo normal ($N = K_b E_b^n$). Un valor bajo de diferencia del esfuerzo normal representa una viscosidad extensional baja para una velocidad de deformación biaxial dada. La alta viscosidad de la masa cocinada es expresada por la magnitud del coeficiente de consistencia (K_b). A velocidades de deformación más grandes de 0.0035^{-1} , la masa cocinada con el maíz No.1 presenta la consistencia más baja ($K_b = 4.63 \times 10^7 \text{ Pa.s}^n$) mientras el producto obtenido con maíz No.2 presenta la consistencia más alta ($K_b = 9.75 \times 10^7 \text{ Pa.s}^n$). Estos resultados indican el periodo de envejecimiento del maíz y pueden provocar una diferencia en la viscosidad aparente final de la masa. Por otro lado, el valor del índice de comportamiento de flujo indica el comportamiento reofluidizante durante la deformación biaxial.

El maíz No. 1 fue mas pseudoplástico que el maíz No. 2 y No. 3.

Cuadro 4.15 Comportamiento elongacional biaxial de la Harina de maíz cocida (70%b.s)

Harina de maíz	Modelo $N = K_b \varepsilon (n/b)$	n
	$K_b \text{ (Pa.s)}^n$	
No. 1	4.63×10^7	0.38
No.2	6.61×10^7	0.44
No.3	9.75×10^7	0.52

Referencia: Lo y col, 1999.

La prueba de flujo de cizalla estacionaria, también mostró un comportamiento pseudoplástico que sigue la relación de ley de la potencia en el rango estudiado de velocidad de cizalla (0-40 s^{-1}), como se muestra en la Fig. 4.11. Sin embargo, el comportamiento de las muestras no presentó diferencias significativas entre las mismas.

Cuadro 4.16 Comportamiento de la masa de maíz cocida (70% humedad) en condiciones estacionarias.

Modelo $\sigma = K\dot{\gamma}^n$		
Harina de maíz	$K_b = \text{(Pa.s)}^n$	n
1	$1.59 \times 10^3 \text{ (a)}$	0.30
2	$1.77 \times 10^3 \text{ (a)}$	0.30
3	$1.65 \times 10^3 \text{ (a)}$	0.30

Referencia: Lo y col, 1999.

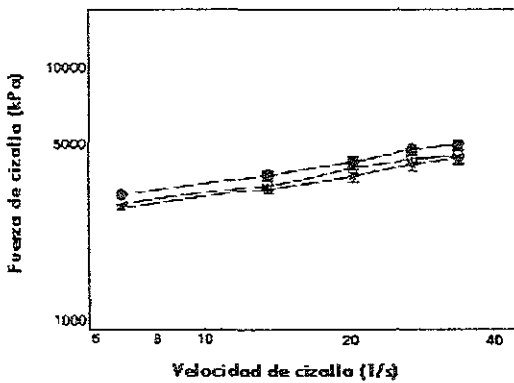


Fig.4.11 Esfuerzo de cizalla y velocidad de cizalla de la masa de maíz cocida en condiciones estacionarias

* Harina No.1, ● Harina No.2, ○ Harina No.3.

En lo que respecta a la evaluación de las propiedades viscoelásticas, se determinaron; la viscosidad dinámica η' , el módulo de pérdida G'' y el módulo de almacenamiento G' , los cuales se muestran en función de la frecuencia (0.5-10s⁻¹) en las Fig 4.12, 4.13 y 4.14 respectivamente. Todas las muestras de maíz tienen valores más altos del módulo de pérdida cuando se compara con el módulo de almacenamiento lo que sugiere que, las muestras de masa tienen mayor comportamiento de fluido (comportamiento viscoso dominante) que de material sólido (comportamiento elástico) en el rango de frecuencia estudiado. La masa de maíz No.2 tiene el valor más alto de viscosidad dinámica como se muestra en el cuadro 4.17 con una $\eta = 510$ Pa.s. Sin embargo, la diferencia entre las muestras no es estadísticamente significativa. La viscosidad dinámica de los materiales estudiados pueden describirse por:

$$\eta' = \eta_0 \omega^{n-1}$$

Donde:

ω = Velocidad angular

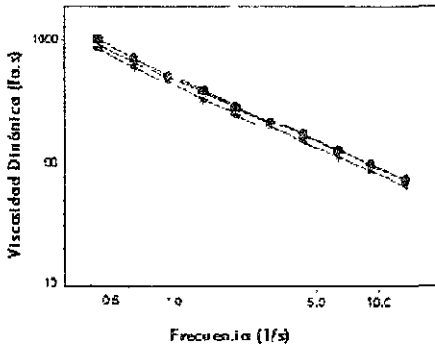


Fig.4.12 Viscosidad dinámica, η , de la masa de maíz cocida

* Harina No.1, ● Harina No.2, ○ Harina No.3.

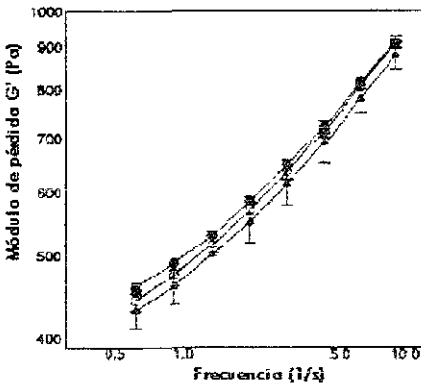


Fig.4.13 Módulo de pérdida, G'' de la masa de maíz cocida.

□ Harina No.1, ● Harina No.2, ○ Harina No.3

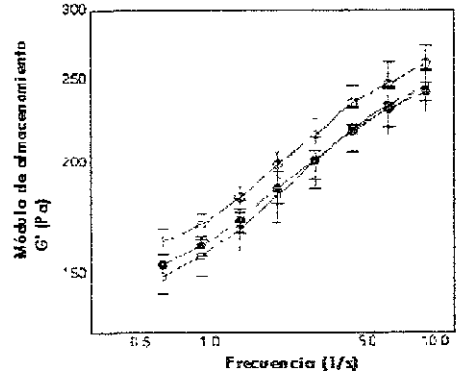


Fig.4.14 Módulo de almacenamiento, G' de la masa de maíz cocida.

○ Harina No.1, ● Harina No.2, ▲ Harina No.3

Cuadro 4.17 Comportamiento de la masa de maíz cocida (70% humedad) en condiciones dinámicas

Harina de maíz	Modelo $\eta' = \eta'_0 W^{n-1}$ η'_0 (Pa.s)	n
No. 1	436	0.28
No.2	510	0.26
No.3	482	0.29

Referencia: Lo y col, 1999.

Lo y col (1999), concluyeron que las masas de maíz cocidas muestran diferencias significativas solo en las propiedades de compresión entre placas lubricadas, pero no en las pruebas reológicas estacionarias y dinámicas. Bajo las condiciones específicas de este estudio la masa cocinada presenta el comportamiento de un fluido pseudoplástico bajo el flujo de extensión biaxial y pseudoplástico bajo condiciones estacionarias de flujo de cizalla.

Los resultados reológicos obtenidos son atribuidos a las diferencias en tamaño y distribución de partículas, lo que puede contribuir a las diferencias de las propiedades de flujo extensional biaxial de las muestras No.2 y No.3 ya que éstas tienen porcentajes más altos de partículas finas que el maíz No.1. Los porcentajes altos de partículas gruesas en el maíz No.1 pueden explicar el porqué se obtiene una menor viscosidad en la masa. Además en un estudio previo, el microscopio electrónico reveló que el maíz No.2 y No.3 tienen altos niveles de gránulos de almidón comparado con el maíz No.1.

Existen a la fecha los pocos estudios reportados relacionados con la textura

de masas. Padua y col (1984), determinaron la viscosidad, consistencia, dureza y adhesividad de la masa obtenida a partir de harina de maíz precocida comercial utilizadas en la preparación de Arepas. Evaluaron el efecto que se presenta al incrementar el tiempo de cocción sobre las propiedades reológicas, químicas y físicas de las masas (elaboradas con harina de maíz precocida). Las variables que se estudiaron fueron tiempo de reposo, nivel de agua adicionada, tiempo de mezclado, tamaño de partícula y tiempo de cocción.

Es importante remarcar que Padua y Whitney en 1982, propusieron un método de compresión de masa en forma de un cilindro corto entre placas paralelas, en donde se demuestra que la masa de maíz se comporta como un fluido del tipo del plástico de Bingham ($\tau = \tau_0 + \mu_p \gamma$), cuando su humedad es mayor al 53%, el tiempo de mezclado superior a 15 minutos y un tiempo de reposo de 12 hr. Sin embargo, en el presente estudio proponen evaluar la consistencia de manera muy diferente, probablemente debido a que obtienen una desviación estándar muy grande de los parámetros de Bingham con el método originalmente propuesto.

Para evaluar la viscosidad se preparó en 50ml de agua con 25 % de masa de Arepa a 30°C y escurrida manualmente por 30 segundos para obtener una suspensión homogénea. La viscosidad fue medida en un cuarto a temperatura de 23°C en un Viscosímetro Brookfield modelo RVT usando la aguja No. 5. Las lecturas fueron tomadas después de un minuto de rotación en cada velocidad.

En la figura 4.5 se observa la viscosidad de la masa disminuye en función de la velocidad de rotación en los diferentes lotes estudiados.

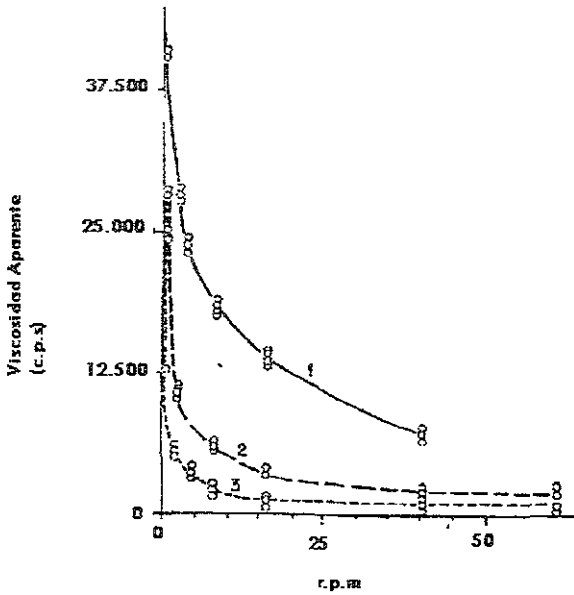


Fig. 4.15 Curvas de viscosidad de la masa de Arepa hecha de diferentes lotes de harina de maíz comercial precocida (Padua y col, 1984).

Para evaluar la consistencia se utilizó un Farinógrafo Brabender a temperatura constante de 30°C, que funciona a una velocidad de mezclado de 40 r.p.m. durante 2 min. La masa de Arepa se cocinó en diferentes tiempos, se liofilizó y se pulverizó (malla No. 80). Para evaluar el efecto del incremento del tiempo de amasado en la masa de Arepa se utilizó un amilógrafo, se dispersó la harina en agua destilada con un mezclador, la preparación fue transferida a un recipiente del amilógrafo y los amilogramas fueron determinados con un cartucho de 350 cm.g y un ciclo de calentamiento normal. La capacidad de hidratación de la

masa de Arepa se hizo bajo el mismo procedimiento.

Debido a que la adición de agua forma grandes grumos e impide obtener una masa uniforme, la consistencia de la masa fue medida con el siguiente procedimiento: 200 +/- 0.1 g de harina dispersada en 500 g de agua a 30°C, se escurrió el agua de la masa por un minuto y se vertió en el recipiente del Farinógrafo mezclando durante 10 minutos a 30°C a una velocidad de 63 r.p.m.

Los amilogramas de las pastas preparadas con la masa de Arepa en diferentes tiempos de cocimiento se observan en la (Fig. 4.16).

Los amilogramas no mostraron los picos relacionados con la gelatinización del almidón. Se observó una disminución sustancial de la consistencia a 95°C con el incremento en el tiempo de cocción.

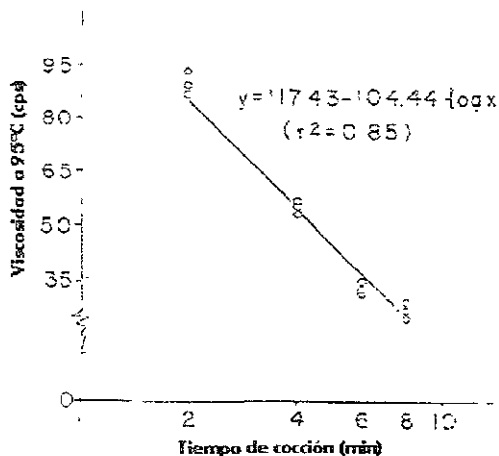


Fig. 4.16 Viscosidad de una suspensión acuosa de masa cocida de Arepa en diferentes tiempos (Padua y col, 1984).

La adhesividad y dureza se midió a través de un perfil de textura en una Máquina Universal de Deformación (Instron) utilizando una celda de 453.59 kgf. Las condiciones utilizadas fueron velocidad del cabezal de 12.7 cm/min. y velocidad de papel de 25.4 cm/min. Se pesaron 200 g de masa en forma de discos de 3 cm de grueso y 9 ± 0.2 cm en diámetro y comprimida en un 20% con un émbolo de acrílico teniendo un área de 158.36 cm², sin embargo esta área los autores no mencionan si es de contacto o si se refiere a las dimensiones del émbolo.

En la figura siguiente (4.17) se puede observar un trazo directo de la curva fuerza-distancia obtenida directamente de la Máquina Universal de Deformación (Instron). El pico más alto en el ciclo de compresión se define como dureza. El área negativa es definida como adhesividad y representa el trabajo necesario

para empujar el émbolo compresor en la muestra.

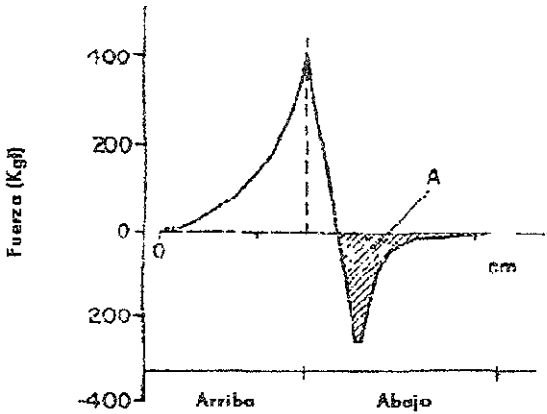


Fig. 4.17 Perfil de dureza y adhesividad de la masa de Arepa

A = adhesividad (Padua y col, 1984).

De acuerdo con los resultados obtenidos del efecto del tiempo de mezclado en la adhesividad de la masa de Arepa, los autores observaron que la adhesividad incrementa sustancialmente como resultado del tiempo de mezclado (Fig. 4.18). Después de 6 minutos de mezclado la masa se vuelve pegajosa y fácilmente moldeable, probablemente debido al incremento de almidón libre.

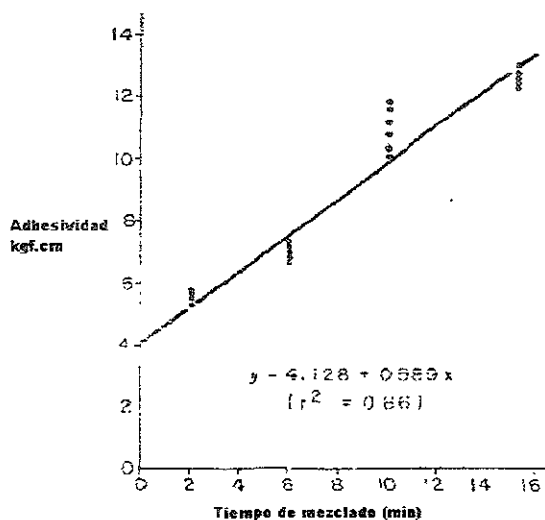


Fig.4.18. Efecto del tiempo de mezclado sobre la adhesividad de la masa de Arepa (Padua y col, 1984).

Para determinar el efecto del tiempo de reposo en la adhesividad de la masa se mezcló por 2 minutos en el recipiente del Farinógrafo. Durante el reposo la adhesividad fue medida en intervalos regulares como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 4.18 Efecto del tiempo de reposo en la adhesividad de la masa de Arepa (Padua y col,1984)

Tiempo de reposo(min)	Adhesividad (Kgf/cm)	Condiciones
0	7.4 ± 0.8	Farinógrafo Brabender durante 2 minutos.
10	5.5 ± 0.4	
20	4.8 ± 0.3	
60	4.1 ± 0.2	
120	4.0 ± 0.1	

Referencia: Padua y col, 1984.

En cuanto al efecto del tiempo de reposo sobre la adhesividad, se observó que se presenta una reducción importante de 25.6% en los primeros 10 minutos, seguida de reducción de 12.6% después de 10 minutos, y finalmente después de 20 minutos en reposo no hubo reducción significativa en la adhesividad. Además, las características de manejo de la masa pueden mejorarse simplemente dejando la masa en reposo después del mezclado con agua y antes de dar forma a las Arepas.

Al evaluar también el efecto del porcentaje de agua añadida en la masa a través de los parámetros de dureza y adhesividad, se observa que la adhesividad más baja es obtenida con la masa preparada al 65% de agua añadida, presentando las características de suavidad y difícil manejo para ser moldeada. Por otra parte, la masa preparada al 50% de agua añadida, presentó resequedad, dureza y poca adhesividad por lo que era imposible darle forma. Se puede considerar una masa con características aceptables aquella que contiene entre 55-60% de agua añadida.

Cuadro 4.19 Efecto del % de agua añadida en la dureza de la masa de Arepa (Padua y col, 1984)

% Humedad	Dureza (Kgf)	Condiciones
50	161.5 ± 2.7	Máquina Universal de Deformación (Instron) Celda de 453.59 Kgf Velocidad del cabezal: 12.7 cm/min. Velocidad de la hoja: 25.4 cm/min. Cilindro de acrílico con un área de 158.36 cm ²
55	126 ± 1.2	
60	69.2 ± 1.0	
65	23.2 ± 1.8	

Referencia: Padua y col, 1984.

La adhesividad de la masa además, presenta una relación lineal inversa con el contenido de agua añadida de la misma, como se observa en la siguiente figura.

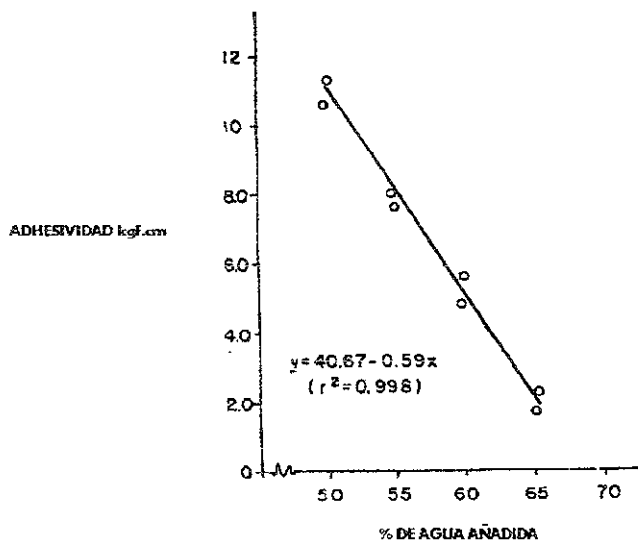


Fig. 4.19 Efecto del % de agua añadida en la masa sobre la adhesividad (Padua y col, 1984).

En cuanto la dureza de la masa se observó también una disminución en

función del nivel de agua añadida (50-65%).

Para medir la rigidez de la masa se utilizó también Máquina Universal de Deformación (Instron) con una velocidad de cabezal de 5.08 cm/min, y una velocidad de papel de 30.48 cm/min, con un émbolo de acrílico (área 68.5148 cm²) para comprimir los discos. Se determinó el módulo de elasticidad E, que es la relación esfuerzo entre deformación dentro del rango elástico del material y fue utilizado para evaluar la rigidez de la masa de Arepa cocida. Esto fue calculado con la siguiente relación:

$$E = \frac{F/A}{\Delta l/l}$$

Donde:

F = La Fuerza aplicada.

A = El área transversal de la muestra.

$\Delta l/l$ = Deformación debida a la fuerza aplicada.

l = Longitud inicial de la muestra.

El efecto del tiempo de cocción sobre la rigidez (E) (obtenido como el máximo valor del módulo de elasticidad) se muestra en la fig. 4.20. Se observa que la rigidez incrementa linealmente con el tiempo de cocción. Después de cocer la Arepa durante 2 minutos se formó una pared elástica alrededor del producto, pero en el interior permanece cruda y como resultado la Arepa

presenta características adhesivas. Después de 5 minutos de cocción, se perdió la adhesividad y la Arepa se hizo elástica.

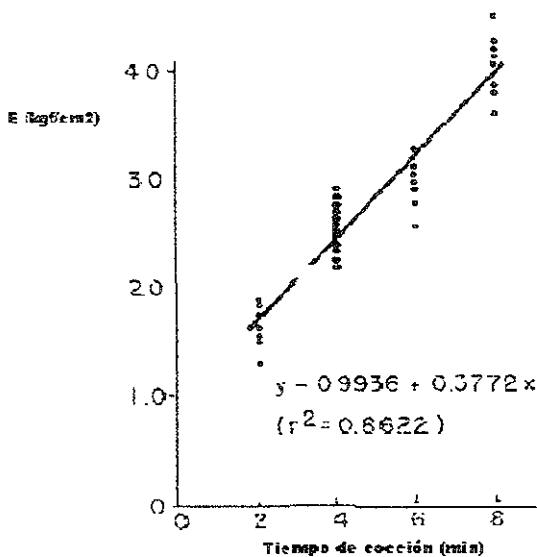


Fig. 4.20 Efecto del tiempo de cocción sobre la rigidez de la masa de la Arepa (Padua y col, 1984).

En el cuadro siguiente (4.20) se muestra el efecto del tiempo de cocción en la gelatinización del almidón medido con el reactivo glucoamilosa y O-toluidina en masa de Arepa. El análisis estadístico demostró que no hay diferencias significativas en la gelatinización de las diferentes muestras. Aparentemente el cambio en rigidez que se obtiene en el cocimiento no es debido al incremento de la gelatinización del almidón.

Cuadro 4. 20 Efecto del tiempo de cocción sobre la gelatinización

Tiempo de cocción (min)	Gelatinización (%)
0	85.7 ± 3.1
2	87.2± 4.0
4	86.7± 4.1
6	85.0± 6.2
8	99.8 ± 0.1
10	98.2 ± 1.7

Referencia: Padua y col, 1984.

Finalmente, debido a que la masa de maíz precocida usada para hacer Arepa tiene una distribución de tamaño heterogéneo aproximadamente 75.5% del total es retenido por arriba de la malla No. 60, la muestra de la harina fue molida hasta que el 60.7% fuera retenido en la malla No. 80. La reducción en tamaño de partícula provocó cambios drásticos en las características físicas de la masa, que pueden observarse en el cuadro siguiente.

Cuadro 4.21 Efecto del tamaño de partícula sobre las propiedades físicas de harina y masa de Arepa precocida

Muestra	Adhesividad (Kgf/cm)	Viscosidad ^e (Cps)	WAI ^a	Consistencia (BU) ^b
A ^c	5.4±0.8	6.850±800	4.1±0.1	277.0±3.5
B ^d	9.0±2.0	17.620±1.000	4.0±0.1	405.0±7.0

a WAI= Índice de absorción de agua

b BU= Unidades Brabender

c Aproximadamente 75.5% del total es retenida por arriba de la malla No.60

d Aproximadamente 60.7% del total es retenida por arriba de la malla No.80

e Viscosímetro Brookfield RVT Aguja No 5

Referencia: Padua y col, 1984.

Al evaluar el efecto de la disminución del tamaño de partícula en las propiedades físicas, se observa que la viscosidad, la consistencia y la adhesividad se incrementan como resultado de la reducción en el tamaño. El índice de absorción de agua disminuye insignificativamente por las fracciones finas de harina (Padua y col, 1984).

Twillman y col (1988) estudiaron el efecto de los monoglicéridos; monoestearina, monopalmitina y monomiristina (0.2% y 0.4%) en la masa, a través de parámetros texturales obtenidos en una Máquina Universal de Deformación (Instron) modelo 1122. La velocidad de cabezal fue de 100 mm/min. y velocidad de papel de 200 mm/min. En la prueba se utilizó un émbolo (66.5 cm²). Se pesaron muestras de 200 g y se moldearon con las siguientes dimensiones 3 cm (grosor) x 7cm (largo) x 8 cm (ancho), las cuales se comprimieron al 20%. Después de un minuto el émbolo se retiró de la masa y se obtuvieron dos picos resultantes.

El pico 1 representa la firmeza de la masa, mientras que el pico 2 refleja la adhesividad, tal como se muestra en la Fig. 4.21. El pico 2 fue más pequeño y la determinación del área es más difícil, en este caso solo se reporta el área del pico(1) ya que fue más sensible a las diferencias, así como pico mayor (promedio), fuerza en kilogramos (cuadro 4.21).

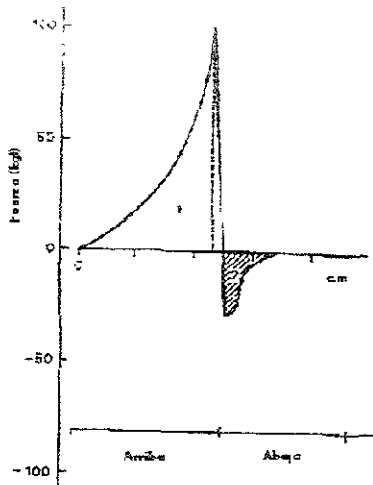


Fig. 4.21 Perfil de Dureza y Adhesividad de masa de harina de maíz (Twilman y col, 1988).

Los autores concluyen que generalmente todos los monoglicéridos disminuyen la adhesividad en la masa, la cual se corrobora en el manejo de la misma. El control fue el más adhesivo a pesar de que no observan diferencias significativas. La adicción de 0.4% de monoglicéridos provoca una masa firme comparado con la adición de 0.2% de monoglicéridos. La monoestearina y la monopalmitina fueron insignificativamente más efectivos que la monomiristina a ambos niveles, a pesar de que las diferencias no son significativas. La masa control tendió a ser más suave que los otros tratamientos. Estas masas tienen alta tolerancia para mezclarse y son menos susceptibles a romperse. La adición de monoglicéridos como emulsificantes, proporciona a las masas extensibilidad, tolerancia al mezclado, elasticidad y absorción de agua, lo cual en el producto

Cuadro 4.22 Valores de Máquina Universal de Deformación (Instron) para masa de maíz

Monoglicérido Adicionado	Pico 1 Area Pico (cm ²)	Pico 2 Altura de pico (kgf)
Control	26.7	10.4
Monomiristina		
0.2%	38.8	6.0
0.4%	31.3	5.6
Monopalmitina		
0.2%	31.6	6.0
0.4%	32.7	6.4
Monoestearina		
0.2%	31.0	7.6
0.4%	32.3	6.4

Referencia: Twillman y col, 1988.

IV.6 PROPIEDADES TEXTURALES EN TORTILLAS

En el estudio realizado por Rubín (1990) se propone utilizar dos diferentes métodos para evaluar la textura en tortillas obtenidos con maíz blanco y amarillo. Se empleó la Máquina Universal de Deformación (Instron) en ambas pruebas, las cuales son: 1) Fuerza de corte, utilizando como aditamento cuchillas de corte triangulares y 2) Fuerza de compresión-extrusión utilizando como aditamento la celda Kramer. En el cuadro siguiente se presentan las condiciones de la prueba y los resultados obtenidos.

Cuadro 4.23 Textura de las tortillas

TORTILLA DE MAIZ BLANCO (Kgf/g)	TORTILLA DE MAIZ AMARILLO (Kgf/g)	OBSERVACIONES
PRUEBA DE RESISTENCIA AL CORTE		
1.03	1.2	Para la prueba de fuerza de corte se empleo el Texturómetro Universal Instron modelo 1130 utilizando como aditamento cuchillas de corte triangulares. Condiciones: - Celda de carga: 2 kg - Velocidad de cabezal: 20 cm/min - Velocidad de papel: 10cm/min La tortilla se enrolló de forma tal que quedaran de 9-10 capas de tortilla a una temperatura de 30-40°C y con una humedad de 39-41%.
PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN-EXTRUSIÓN		
4.04	8.86	Se utilizó para la fuerza de compresión-extrusión el Texturómetro Universal Instron modelo 1130 utilizando como aditamento la celda Kramer.. El autor no menciona el numero de cuchillas. Condiciones: - Celda de carga. 500kg -Velocidad de cabezal: 10cm/min - Velocidad de papel: 10cm/min - Límite de escala de fuerza: 200Kg. Las tortillas se cortaron en 4 secciones de 6x6 cm cada una.

Referencia: Rubin, 1990.

De acuerdo con los resultados en tortillas de maíz blanco y de maíz amarillo tanto en la prueba de fuerza de corte, como al tacto con los dedos y al morder las tortillas, se detecta que ambas presentan una textura diferente, al realizar el análisis de varianza comparando ambas variedades se observan diferencias significativas, sin embargo con la prueba de Análisis de comparación múltiple de Duncan no presenta diferencias significativas; lo cual indica que este método no es sensible para detectar las diferencias, a pesar de que los resultados son repetitivos. La temperatura y la humedad son factores muy importantes en esta

determinación ya que a menor temperatura y humedad, la fuerza necesaria para cortar la tortilla es mayor, además de que no se puede enrollar y se rompe.

En la determinación de fuerza de compresión-extrusión se utilizaron tortillas a temperatura ambiente debido a que no fue necesario enrollarla. Se utilizaron cortes de 2, 4, 6 y 8 secciones de tortilla, cada sección es de 6x6 cm y se acomodaron una sección encima de otra. La fuerza de compresión para las secciones mencionadas fueron 5.98, 7.01, 8.09 y 9.14 N respectivamente; encontrándose que se puede trabajar mejor con tortillas de 4 secciones ya que se obtiene una menor variación. En el método de análisis de varianza se presenta una diferencia significativa al comparar ambas muestras, confirmada por el método de Análisis de comparación múltiple de Duncan, en un intervalo de confianza de 5% encontrándose que las tortillas de maíz blanco son más suaves que las de maíz amarillo.

Por otra parte Johnson y col, (1980) determinaron la textura en tortillas en la que se sustituyó maíz por sorgo micronizado. Se utilizó una Máquina Universal de Deformación (Instron) modelo 1122. Las condiciones de operación: velocidad de papel de 100 mm/min, límite de escala de fuerza 10 N, velocidad de cabezal 50 mm/min. Se propuso un cilindro de 0.95cm de diámetro el cual se bajo a velocidad constante para perforar la tortilla. El área bajo la curva del pico de fuerza calculado y relacionado como el trabajo necesario para perforar las tortillas.

Estas investigaciones llegaron a la conclusión de que es posible sustituir sorgo en un 20% para la elaboración de la tortilla no afectando las propiedades texturales de la misma. Se observó que existe un incremento en la extensibilidad de la masa y la rollabilidad de la tortilla al sustituir harina de sorgo en la harina de maíz comercial., estas observaciones hechas por los investigadores no están sustentadas en pruebas específicas solo de forma visual. Sin embargo, la técnica de perforación propuesta fue insensitiva a los cambios texturales observados visualmente.

En otros estudios como el de Rizley y Suter, (1977) en donde también se proponen mezclas de sorgo y maíz como alternativa para sustituirlas en tortillas hechas 100% de maíz. Las propiedades mecánicas de las tortillas fueron medidas por medio de pruebas de tensión utilizando una Máquina Universal de Deformación (Instron) modelo 1122 con el cual se simula el enrollado de tortillas.

Esta prueba modificada se basa en la medida de la fuerza de tensión por medio de un aparato diseñado por Ralph Waniska. Las muestras utilizadas se mantuvieron a una velocidad de deformación constante de 50 mm/min y sus dimensiones fueron: 2 cm de ancho x 0.23 cm de grosor. Las gráficas x-y fueron usadas para elaborar curvas fuerza-deformación como se muestra en la figura 4.22. Los valores de fuerza y deformación indican resistencia a la tensión y elasticidad respectivamente ; y los puntos a considerar son:

1) Esfuerzo de tensión.- Valor de la fuerza aplicada sobre el área expresado en N/cm²

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Donde:

F= Fuerza aplicada (N)

A= Área transversal de la muestra (cm²)

2) Deformación relativa.- Debida a la fuerza aplicada.

$$E = \frac{\Delta L}{L}$$

Donde:

ΔL = Cambio de longitud debido a la fuerza

L = Longitud de la muestra original (cm)

3) En este experimento el área de sección transversal es relativamente constante de 0.48 ± 0.0048 cm².

4) La longitud de la muestra original fue 2 cm (constante) y el valor de la deformación fue proporcional al estiramiento.

5) Punto de cedencia en la curva de fuerza-deformación en donde hay incremento en la deformación pero con disminución o sin cambio en la carga.

6) El punto de inflexión de la curva exhibe un cambio en la dirección. En la tortilla coincide con el punto de cedencia.

7) El área bajo la curva fuerza-deformación medido en fuerza máxima y sirve como índice de trabajo requerido para producir una deformación, como se muestra en la siguiente figura:

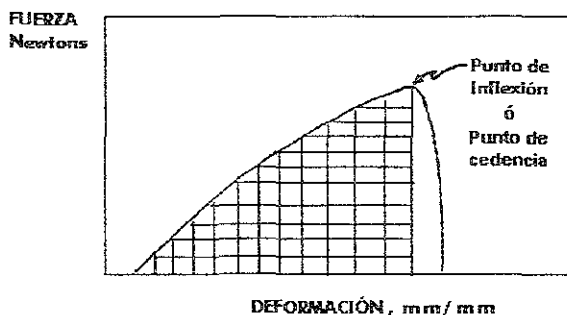


Fig 4.22 Curva Fuerza-Deformación para Tortilla (Rizley y Suter, 1977).

Cuadro 4.24 Características texturales de tortillas en pruebas de tensión de sorgo con endospermo intermedio y endospermo córneo^{a b}

	Endospermo Intermedio (K-60)	Desviación Estándar	Endospermo Córneo (SC-301)	Desviación Estándar
Fuerza (N) máxima	2.12**	0.181	2.46**	0.250
Deformación En la fuerza máxima (mm)	6.24	0.454	5.29	0.921
Area bajo la curva fuerza-deformación (cm ²)	21.04	3.79	18.15	14.08
Humedad (peso base seca) (%)	103.64**	2.71	96.30**	6.11

^a Los valores de rendimiento y el punto de inflexión son los mismos

^b Los valores determinados de la curva fuerza-deformación del punto de rendimiento

**P < 0.01

Referencia: Rizley y Suter, 1977.

Las tortillas elaboradas con endospermo córneo presentan valores de fuerza más altos que las tortillas elaboradas con endospermo intermedio. Las diferencias no fueron significativas entre la deformación y trabajo entre los dos tipos de endospermo como se puede observar en la tabla anterior.

En este mismo estudio se realizaron pruebas de tensión en tortillas de maíz y sorgo en diferentes intervalos de almacenamiento 2, 4, 8, 16, 32 y 64 horas. La determinación de humedad para cada muestra se hizo de acuerdo al AACC 1962. Se hicieron 10 réplicas hechas para cada prueba de tensión y se analizaron estadísticamente.

Cuadro 4.25 Análisis de los resultados de tensión en tortillas de maíz y sorgo (TAM-670) en diferentes periodos de almacenamiento.

MASA	HORA	FUERZA MAXIMA (N)	DEFORMACION (mm)	AREA BAJO LA CURVA FUERZA-DEFORMACION (cm ²)	CONTENIDO DE HUMEDAD (BASE SECA) (%)
MAIZ	2	3.27	5.35	25.37	99.92
	4	3.64	5.29	30.20	102.81
	8	4.13	4.73	29.05	98.01
	16	6.04	4.36	38.46	96.96
	32	6.65	3.83	38.62	88.70
	64	7.15	3.92	41.62	90.98
SORGO (TAM-670)	2	4.42	6.51	45.71	92.56
	4	4.93	5.89	45.90	93.68
	8	5.73	5.20	45.46	89.64
	16	7.23	4.69	49.00	90.17
	32	8.31	4.14	53.90	73.42
	64	9.20	4.15	57.36	84.74

Referencia: Rizley y Suter, 1977.

Las tortillas con sorgo TAM-670 presentaron más fuerza y extensibilidad que las de maíz comercial. Los valores de fuerza son significativamente diferentes entre el maíz y el sorgo en todos los periodos de prueba. La deformación fue mayor en

sorgo a 2, 32 y 64 horas. Únicamente los valores altos fueron obtenidos a las 4 y 8 horas de almacenamiento y no muestra diferencias significativas con la prueba a las 16 horas.

El trabajo requerido para producir deformación en pruebas de tensión fue mucho mayor para las tortillas de sorgo que para las tortillas de maíz como lo indica el área bajo la curva de las curvas de fuerza-deformación.

El contenido de humedad incrementó en ambos productos entre las 2 y 24 horas, después hubo un descenso entre las 16 y 32 horas. Un incremento en la humedad fue observado en ambos a las 64 horas. Los valores de humedad en el sorgo fueron menores que el maíz.

Al término de la experimentación Rizley y Suter, (1977) concluyeron que los granos de sorgo con endospermo intermedio y córneo pueden producir tortillas similares que las hechas de maíz. Las pruebas de tensión indican que la textura de los productos de sorgo con endospermo intermedio puede ser superior que la de maíz. Las tortillas de sorgo tienen más fuerza y elasticidad y por lo tanto rollabilidad y flexibilidad. El trabajo requerido para la deformación y ruptura para las tortillas de sorgo fue mayor que la de maíz.

Otras pruebas reportadas en la literatura acerca de tortillas elaboradas con maíz-sorgo fueron realizadas por Choto y col, (1985). Se utilizó maíz híbrido

amarillo de grado alimenticio. Se hicieron mezclas maíz-sorgo y se determinó el porcentaje de calcio, cocción y tiempo de remojo. La prueba de textura se hizo con una Máquina Universal de Deformación (Instron) modelo 1122 usando una celda CS-1 tipo Kramer. Los autores no dan detalles de cómo expresan la textura que reportan ni del tamaño y forma de muestra.

Las mezclas maíz-sorgo que se hicieron fueron las siguientes 75:25, 50:50 y 25:75 y se compararon con tortillas hechas 100% de maíz y sorgo.

Cuadro 4.26 Comparativo de textura en maíz amarillo y sorgo

MAÍZ AMARILLO (%)	SORGO (%)	TEXTURA (N)
100	0	449
75	25	443
50	50	443
25	75	396
0	100	502

Referencia: Cholo y col, 1985.

Los valores de textura para 100% de maíz amarillo, 75% maíz amarillo, 25% sorgo y 50:50 maíz y sorgo no son significativamente diferentes. Las tortillas hechas 100% de sorgo tienen los valores más altos. Los valores bajos de textura fueron las tortillas hechas con 25% de maíz amarillo: 75% de sorgo. Las tortillas con textura suave fueron las de 25% maíz amarillo: 75% de sorgo y 50:50 presentan el mismo valor de textura que se puede considerar como aceptable.

Dentro de la misma investigación se realizó una variante en cuanto al sorgo y este se perió en diferentes porcentajes. Las tortillas se prepararon usando sorgo descortezado al cual se le quitó el 5, 11 y 15% del peso seco del grano, como se puede observar en el siguiente cuadro.

Cuadro 4.27 Textura medida con diferentes porcentajes de sorgo

SORGO (%)	TEXTURA (N)
Entero	502
Perlado	
5	404
11	477
15	711

Referencia: Choto y col, 1985.

La textura de las tortillas hechas de sorgo perlado (5 y 11%) fue similar al de las tortillas hechas de sorgo entero. La textura de las tortillas con 15% de sorgo perlado fue mucho más firme.

Durante la experimentación observaron que es necesario optimizar el tiempo de cocción para minimizar el problema de pegajosidad en la masa.

Bedolla y col (1983) reportan este comportamiento en valores mayores de 11%. En este estudio se coció con baja concentración de álcali, se limitó la cantidad de agua y se utilizaron tiempos cortos de cocción sugeridos por el mismo autor. La masa producida tuvo propiedades de manejo aceptable. El tiempo de cocción fue crítico, un incremento en el mismo puede ser el causante de la pegajosidad en la masa.

Cuadro 4.28 Textura en Tortillas con mezcla maíz y sorgo perlado

MAIZ AMARILLO (%)	SORGO 15% PERLADO	TEXTURA (N)
100	0	449
75	25	258
50	50	212
25	75	254
0	100	712

Referencia: Choto y col, 1985.

Choto y col (1985) concluyeron que la textura de tortillas con mezclas maíz-sorgo perlado son más suaves que las tortillas hechas 100% maíz y 100% sorgo perlado, por lo tanto se recomiendan mezclas maíz-sorgo.

Bedolla y col, (1983), realizaron también un estudio de textura de tortilla en mezclas de sorgo-maíz como alternativa de uso. La experimentación se realizó con muestras de maíz blanco dentado Asgrow 403W, Maíz híbrido amarillo dentado Asgrow 404, sorgo blanco Funks G766W, sorgo rojo TAM-680, sorgo blanco CS3541, sorgo rojo A399 x T x 430.

Se utilizó para la medición de textura una Máquina Universal de Deformación (Instron) modelo 1122 con celda Kramer, para simular el mecanismo de masticación de los humanos. Las tortillas después de cocidas, fueron empacadas en bolsas de plástico y almacenadas a 25°C por periodos por arriba de 48 horas. Para la experimentación se utilizaron tiras de tortilla 50 cm², los cuales se colocaron en la Celda Kramer con una velocidad de cabezal de 50 mm/min y una celda de carga 454kg. Se ocuparon las tiras de tortilla y se colocaron 5 tortillas con estas mismas dimensiones en la celda Kramer. La textura fue expresada como el pico máximo en Newtons. El efecto de la adición de sorgo puede observarse a continuación.

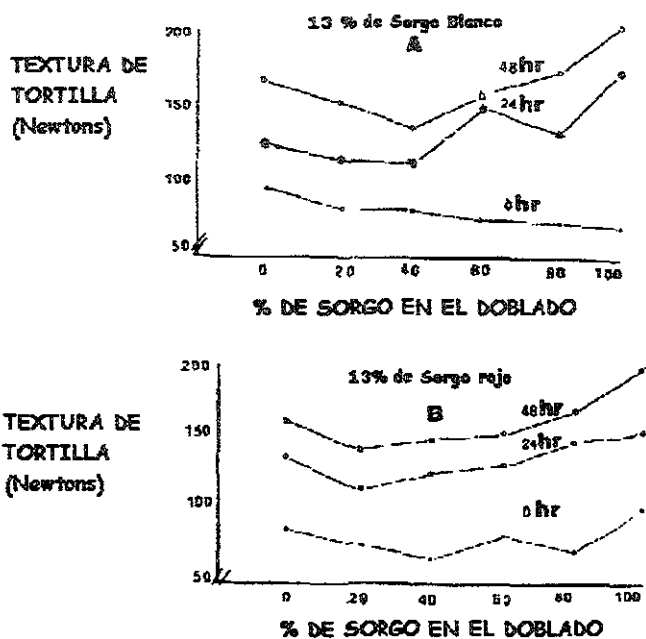


Figura 4.23 Efecto del almacenaje en la textura de tortillas de mezclas de sorgo blanco perlado y maíz (Bedolla y col, 1983).

En las tortillas recién elaboradas (cero horas de almacenamiento) que fueron hechas de maíz blanco y sorgo perlado, el doblado fue más fácil que con las tortillas hechas de maíz blanco. El sorgo rojo o blanco (13% sorgo blanco perlado) sustituido por arriba del 80% en la masa de maíz no afecta la textura de las tortillas de 24-48 horas de almacenamiento.

A partir de esta investigación se concluyó que las tortillas de sorgo blanco no perlado fueron más suaves que las tortillas de maíz blanco. La remoción del pericarpio del sorgo perlado causa una significativa reducción en el tiempo de cocción y mejora el color y aceptabilidad de la tortilla. De acuerdo con las

pruebas sensoriales el sorgo rojo puede reemplazarse al 80% por maíz amarillo o blanco. El sorgo perlado blanco puede reemplazarse en mayor porcentaje pero el color no es aceptable.

Twillman y col (1988) midieron el efecto de la adición de monoglicéridos en la textura de la tortilla. Se utilizaron las mismas condiciones reportadas en la sección de propiedades texturales de pastas (página 121).

Para la evaluación de la textura se utilizó una Máquina Universal de Deformación (Instron) modelo 1122 con una celda de multicuchillas Ag. Canadá se considera como un instrumento para medir la textura (corte/cizalla) de las tortillas.. La velocidad de cabezal fue de 100 mm/min. y velocidad de papel de 200 mm/min. La textura fue expresada como el pico de fuerza máximo.

De acuerdo con los resultados de las pruebas realizadas por los autores encontraron pocas diferencias en el tamaño del pico entre los diferentes tratamientos. El día 0, el control presentó una textura significativamente más firme que los demás productos excepto en la tortilla que contiene 0.2% de monopalmitina, el cual fue significativamente más firme que la tortilla que contiene 0.4% de monoestearina. En el día 1 al 3 el control se hizo más firme, pero la media de los resultados fue significativamente diferente en algunos casos (tortilla con 0.2% y 0.4% de monoestearina en el día 4).

Las tortillas que contienen monoestearina fueron generalmente más suaves, especialmente al principio del almacenamiento en refrigeración. Después del almacenamiento a -20°C , las tortillas que contienen 0.2% de monopalmitina, 0.2% de monomiristina y 0.4% de monoestearina tuvieron un resultado significativamente bajo comparado contra el control. Con todos los tratamientos de monoglicéridos generalmente al principio son más suaves que el control.

Iturbe y col, (1996) realizaron un estudio con harina de maíz Maseca añadiendo α amilasa fúngica con el propósito de hidrolizar la amilopectina y evitar que ésta se asocie a los gránulos de almidón gelatinizados causando retrogradación en el almacenamiento durante el proceso de congelación. Para evaluar la textura se utilizó un Analizador de Textura TA-XT2, el lote fue congelado por 96 horas y el segundo se sometió a 6 ciclos de congelación-descongelación a -12°C , ya que en estas condiciones ocurre la retrogradación y se comparó con un control.

Los parámetros medidos fueron dureza, chiclosidad y esfuerzo requerido para penetrar la tortilla, sin especificar el tipo de punzón utilizado.

Cuadro 4.29 Efecto del tratamiento enzimático en Tortillas

Parámetro de textura		Control	Tratamiento con amilasa
Dureza (Kg)	Fresca	2.36	1.98
	almacenada	2.87	1.69
	congelada-	2.84	2.00
	descongelada -12°C, 6 ciclos		
Chiclosidad	Fresca	2.24	2.56
	almacenada	3.17	2.01
	congelada-	4.04	2.40
	descongelada -12°C, 6 ciclos		
Esfuerzo (dinas/cm ²)	Fresca	7.41	7.60
	almacenada	8.87	5.28
	congelada-	12.55	8.52
	descongelada -12°C, 6 ciclos		

Referencia: Iturbe y col, 1996.

En todos los casos el tratamiento enzimático modificó los parámetros texturales con diferencias significativas en todos los niveles al compararse con el control, particularmente se redujo la dureza. El tratamiento enzimático también tiende a reducir el esfuerzo requerido para penetrar la tortilla. No se encontraron diferencias significativas en las medidas texturales de las tortillas recién hechas y las tortillas tratadas enzimáticamente, incluso después del almacenamiento bajo condiciones controladas.

Suhendro y col (1998 A) propusieron la técnica de doblado en tortillas utilizando un método objetivo de rollabilidad para evaluar las diferencias físicas y texturales de muestras comerciales. Se utilizó un texturometro TA-XT2 con un aditamento de acrílico para medir la rollabilidad, midiendo la fuerza necesaria para enrollar una tortilla, tal como se muestra en la siguiente figura 4.23.

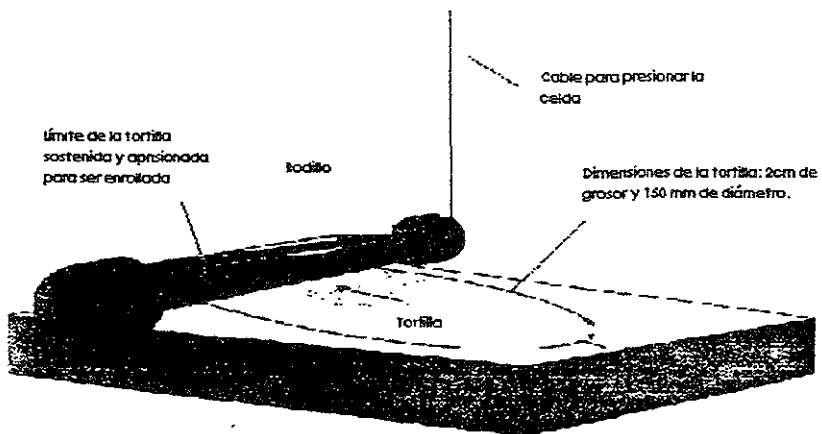


Fig. 4.24 Esquema del aparato para medir la rollabilidad objetiva en las tortillas (Suhendro y col, 1988 A)

Las evaluaciones objetivas de rollabilidad para tortilla se expresan en unidades de fuerza, la cual es definida como la fuerza necesaria para enrollar una tortilla en el cilindro, y como el trabajo (N.m) requerido para enrollar la tortilla que se mide como el área bajo la curva. La curva típica de rollabilidad se muestra a continuación. Los resultados se encuentran resumidos en el cuadro 4.30.

Cuadro 4.30 Propiedades físicas y texturales de torillas comerciales

Muestra ^a	Diámetro (cm)	Peso (g)	Grosor (cm)	Humedad (%)	pH	Evaluación Objetiva Fuerza (N)	Evaluación Objetiva Trabajo (Nm x 10 ⁻³)
1	14.0	15.9	1.24	38.2	10.6	0.20	9.1
2*	13.5	20.3	1.56	48.3	5.2	0.34	7.7
2**	13.5	18.6	1.67	44.5	5.5	0.27	10.8
3	13.4	19.2	1.64	45.8	5.0	0.22	8.2
4	14.4	24.3	1.76	48.6	5.6	0.28	11.8
5	13.9	21.8	1.78	43.1	10.9	0.32	12.7
6	13.5	24.9	1.79	46.6	9.5	0.31	13.0
7	14.4	27.4	1.87	44.6	5.5	0.38	18.5
8*	14.4	27.4	1.87	47.5	5.0	0.65	37.9
8**	13.3	25.5	1.89	48.6	4.9	0.33	14.5
9	14.6	29.5	1.92	46.8	4.6	0.90	37.2
10 ^o	14.5	30.0	1.97	46.5	4.7	1.10	52.3
10 ^{oo}	14.5	29.4	2.04	45.3	5.0	0.40	18.8
11	13.9	24.9	1.98	45.7	5.5	0.81	41.4
12	13.7	28.7	2.15	47.4	5.6	0.52	23.8
CV ^b	3.4	18.0	12.2	3.1	1.8	8.10	9.0

a Muestra de torilla con el mismo número y diferente símbolo son de distintas bolsas

b Coeficiente de Variación

Referencia: Suhendro y col. 1998 A.

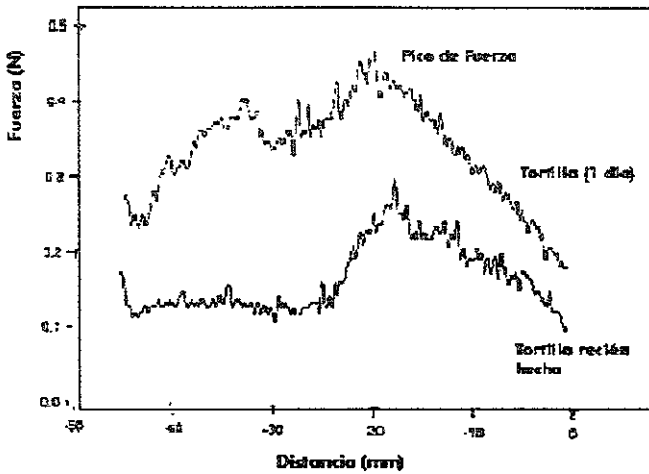


Fig 4.25 Curva Típica de rollabilidad para tortilla (Suhendro y col, 1998 A).

La técnica de doblado detecta la diferencia de textura entre las tortillas comerciales. Las tortillas comerciales con los números 1 y 3 fueron las que necesitaron menor fuerza para doblarse, en contraste con los números 9 y 10° donde la fuerza aplicada para doblarse fue mayor.

Los autores concluyen que la técnica de doblado es reproducible y extremadamente sensible a las variaciones de textura de las muestras comerciales ya que presenta un coeficiente de variación para los parámetros de fuerza y trabajo inferior al 10%.

Suhendro y col (1998 A) también estudiaron el efecto del espesor y tiempo de almacenamiento en tortillas hechas a nivel laboratorio los resultados son mostrados a continuación.

Cuadro 4.31 Medición de rollabilidad en tortillas en diferentes tiempos de almacenamiento

Grosor de la tortilla ^a	Tiempo de almacenamiento (hr)	Rollabilidad Objetiva	
		Fuerza (N)	Trabajo (Nm x 10 ⁻³)
Delgada	0	0.17	4.84
	1	0.26	9.59
	3	0.39	18.88
Gruesa	0	0.15	5.40
	1	0.35	15.65
	3	0.59	30.46
LSD		0.04	3.20

^a Observaciones por tratamiento.

^b Análisis de varianza diferencia significativa ($P \leq 0.05$)

Referencia: Suhendro y col, 1998 A.

El trabajo y fuerza de enrollado aumentan con el tiempo de almacenamiento, especialmente durante las primeras 24 horas de almacenamiento, mientras que la rollabilidad subjetiva no fue sensitiva a cambio de textura observadas en las primeras 24 horas.

El espesor de tortillas no afecta el valor de rollabilidad objetivo en las tortillas frescas, sin embargo, afecta la rollabilidad cuando han sido almacenadas por más de 24 horas.

A través de un análisis estadístico por el método de Pearson, los autores observaron una muy buena correlación entre el trabajo y fuerza de enrollado (0.98), así como una correlación negativa entre la rollabilidad de ambos parámetros y la medida subjetivamente (-0.82).

En otra de las investigaciones de Suhendro y coi (1998B) proponen estudiar el efecto del espesor y el tiempo de almacenamiento en tortillas comerciales con una prueba de doblado. Para lo cual, los autores utilizaron un texturómetro TA-X12 con dos guillotinas, una de ellas corta de forma vertical y la otra de forma horizontal, se calibraron a 50mm de distancia de la plataforma. La separación horizontal entre la muestra y la guillotina se mantiene constante.

En la figura siguiente se muestra un esquema del aparato propuesto, y en la figura 4.26 una curva típica del resultado.

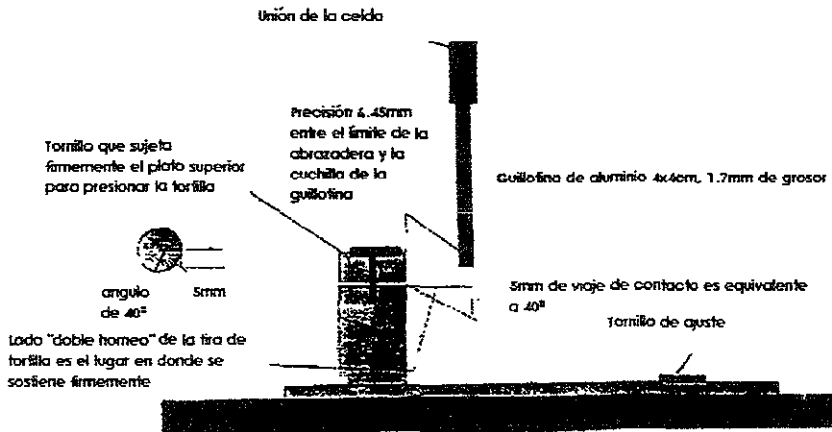


Fig. 4.26 Aparato para medir la textura en tortilla a través de una prueba de doblado (Suhendro y coi, 1998 B).

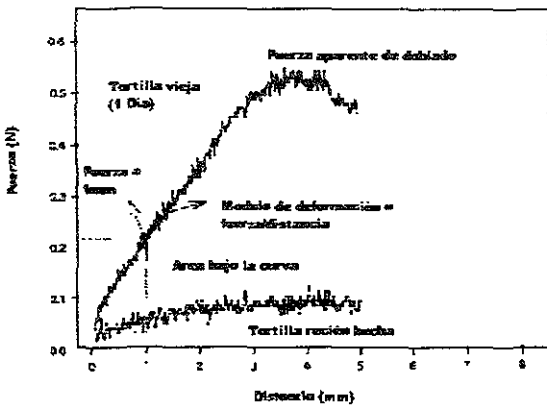


Fig. 4.27 Curva típica de doblado para tortillas recién hechas y tortillas viejas (Suhendro y col, 1998 B)

En general, observaron que las tortillas comerciales varían significativamente en textura, las tortillas más gruesas son menos enrollables que las tortillas delgadas. La fuerza aparente necesaria para doblar las tiras de tortilla se incrementa durante la deformación. Las tortillas recién hechas requieren de menor fuerza para ser dobladas, mientras que las tortillas viejas necesitan mayor fuerza presentando un pico distinto como se puede observar en la figura precedente.

Al estudiar el efecto del tiempo de almacenamiento en muestras de laboratorio no controladas, se encontró, que el módulo de deformación, fuerza a distancia de 1mm, la fuerza aparente y el trabajo requerido, se incrementan en el almacenamiento durante las primeras 24 horas Cuadro 4.32. La técnica de

corfado detectó también cambios significativos en la textura de la tortilla después de 24 horas de almacenamiento. La técnica de rollabilidad subjetiva no fue sensible para detectar estos cambios, como fue explicado en el estudio anterior.

Cuadro 4.32 Medición de rollabilidad, flexibilidad y técnica de doblado en tortillas con diferentes tiempos de almacenamiento

Tiempo de almacenamiento (hr)	Rollabilidad Subjetiva ^a	Flexibilidad Subjetiva ^a	Técnica de Cortado ^b			
			Módulo de deformación (N/m)	Fuerza a 1mm (N)	Fuerza pico (N)	Trabajo (Nm x 10 ⁻⁴)
0.5	5.0	5.0	24.6	0.08	0.10	6.1
3	5.0	4.5	51.9	0.11	0.19	5.2
24	4.7	3.0	280.7	0.29	0.38	9.8
120	3.2	3.0	367.2	0.49	0.61	14.7
240	2.2	2.8	562.1	0.64	0.72	18.0
C.V	6.0	9.0	15.9	6.07	10.50	16.1

^a Escala; 1=peor; 5= mejor

^b Pendiente de la curva de deformación en la sección ascendente en la región lineal; fuerza a 1mm de distancia; fuerza aparente (máxima fuerza de la curva de doblado); fuerza aparente (Área bajo la curva).

Referencia: Suhendro y col, 1998 B.

Las tortillas con diferentes grosores que se prepararon con la masa control y se evaluaron durante el almacenamiento para confirmar las observaciones de las tortillas comerciales. Los autores concluyen que las tortillas delgadas requieren menor fuerza, trabajo y módulo de deformación comparado con las tortillas gruesas (Suhendro y col, 1998 B).

Cuadro 4.33 Medición de rollabilidad y técnica de doblado en tortillas con diferente grosor

Grosor de la tortilla	Tiempo de almacenamiento (hr)	Técnica de doblado (modulo de deformacion N/m) ^a	Rollabilidad Subjetiva ^b
Delgada (1.7 mm)	0	15.1	5.0
	1	143.7	4.7
	3	155.8	4.0
	7	170.0	3.1
Gruesa (2.2 mm)	0	34.3	5.0
	1	169.4	4.0
	3	177.4	2.6
	7	207.4	2.1
C.V ^c		10.6	9.5

a Inclinación de la curva ascendente de deformación en la región lineal.

b Escala: 1= peor; 5= mejor

c Coeficiente de Variación

Referencia: **Suhendro y col, 1998 B.**

De igual manera que en el estudio anterior los autores encontraron que existe una muy buena correlación (>0.9) entre las medidas subjetivas de rollabilidad y flexibilidad con los parámetros medidos usando la técnica de corte.

Las tortillas que son más finas y menos enrollables tienen un módulo mayor de deformación y requieren por lo tanto mayor fuerza y trabajo para cortarse. El espesor, diámetro y peso de la tortilla fueron correlacionados positivamente con las pruebas subjetivas de textura y los parámetros de corte.

Finalmente, los autores recomiendan minimizar las fuentes de variabilidad por ejemplo usando dimensiones similares, tortillas que sean representativas del lote,

CONCLUSIONES

A lo largo de la investigación bibliográfica se puede observar que existen técnicas muy diversas para evaluar la textura tanto en maíz, nixtamal, masa y tortilla. En cuanto a la medición de textura para grano de maíz, existen muy pocas medidas que permiten dar una idea del comportamiento del grano al someterlo a una fuerza o abrasión.

En general las técnicas reportadas son principalmente de tipo empírico. Algunas pruebas simples de penetración o corte, se han utilizado comúnmente para evaluar la dureza en maíz, nixtamal y tortillas, mientras que las pruebas de compresión-tensión o compresión-extrusión parecen ser las más adecuadas en la evaluación de la consistencia y adhesividad de las pastas y masas.

En esta recopilación se puede observar también, que la Máquina Universal de Deformación (Instron) utilizando como aditamento principal la celda Kramer es la más utilizada para la evaluación de la textura y en una menor proporción los texturómetros de menor capacidad como el TA-XT2.

Entre las pruebas más comunes realizadas con la Máquina Universal de Deformación (Instron), podemos mencionar la resistencia al corte (medida imitativa), resistencia a la compresión-extrusión, la resistencia a la compresión-tensión y la fuerza de penetración (dureza). Entre las geometrías reportadas se

tiene: la celda de extrusión inversa, la celda Ottawa, las cuchillas triangulares, los punzones de puntas planas y las placas paralelas.

Es importante remarcar que solo en la masa de maíz se han realizado pruebas reológicas de tipo fundamental, como es la cuantificación de los módulos viscoso y elástico a través de pruebas dinámicas o el flujo extensional biaxial en placas lubricadas.

En cuanto a la medida de fluidez, se han utilizado otros instrumentos como los Viscosímetros Brookfield y el Rapid ViscoAnalyzer y Consistómetros como el Bostwick. Una gran cantidad de medidas empíricas han sido evaluadas en el Farinógrafo y Amilógrafo de Brabender que se utilizan comúnmente en la evaluación del grado de gelatinización del almidón. Reómetros como el de la marca Haake, se han utilizado para la evaluación de las propiedades viscoelásticas de la masa.

Para evaluar la adhesividad de la masa se han propuesto algunos dispositivos empíricos, o adaptaciones de diversas geometrías en la Máquina Universal de Deformación (Instron) o a través de pruebas simples .

Algunos de los parámetros texturales obtenidos han tratado de ser correlacionados con la humedad, densidad, tamaño de partícula, grado de gelatinización. Muy pocas medidas texturales o reológicas han sido correlacionadas con los resultados obtenidos en instrumentos empíricos.

Debido a la compleja composición y características "sui generis" de la tortilla una gran cantidad de instrumentos y adaptaciones a la Máquina Universal de Deformación y Texturómetros, han sido implementados con el objeto de cuantificar la textura en tortillas.

Debido a la gran variedad de aparatos y métodos empíricos existentes en la literatura para medir la textura, estos no pueden ser comparados entre sí, ya que son utilizados bajo diferentes condiciones.

Por todo lo anteriormente expuesto como conclusión de esta recopilación sería recomendable proponer una estandarización de los métodos para la evaluación de estos parámetros reológicos y texturales, ya que de esta forma se homogenizarían y seleccionarían los métodos más adecuados y así permitiría la comparación de los resultados.

BIBLIOGRAFÍA

Aboites J. (1989)

Breve Historia de un invento olvidado "Las máquinas tortilladoras en México". Breviarios de la Investigación. UAM.

Alarcón Sandoval R.A. (1986)

Técnicas de pronósticos para daños ocasionados por insectos en maíz almacenado. Tesis de Licenciatura. Biología. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. IPN.

Alarcón A. L, Guerra R., Pedroza de Brenes R., Nieto de Meléndez Z. y Durán de Bazúa C. (1990)

Mezclas nixtamalizadas de maíz y sorgo. Evaluaciones en masas y tortillas. Pruebas reológicas y sensoriales. Tecnología alimentaria. 20(1): 6-11.

Alcántara López L. (1981)

Estudio del comportamiento de la textura del grano de maíz durante su procesamiento para la obtención del nixtamal. Tesis de Licenciatura. Ingeniero Bioquímico. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. IPN.

Almanaque Mundial (1998)

Editorial Televisa, México.

Almeida-Domínguez H.D., Cepeda M. and Rooney L.W. (1996)

Properties of commercial nixtamalized corn flours. Cereal Foods World. 41(7): 624

Almeida-Domínguez H.D., Suhendro E.L. and Ronney L.W.(1997)

Corn alkaline cooking properties related to grain characteristics and viscosity (RVA). Journal of food science. 62(3): 516-519.

Anzaldúa Morales A. (1994)

"La evaluación sensorial de los Alimentos". Editorial Acribia, España. 24-44.

Anónimo, (1983)

"Maíz, Manuales para educación agropecuaria". SEP. Editorial Trillas, México.

Anónimo, (1991)

Almacenes Nacionales de Depósito. Folleto Técnico en Conservación de Granos, No. 2, México.

Anónimo, (1993)

Encyclopedia of Food Science Food Technology and Nutrition.
Academic Press, U.S.A.

Anónimo, (1996)

Tablas de valor nutritivo de los alimentos de mayor consumo en México.
INN. Edición Internacional Español-Inglés. Editorial PAX, México.

Badui Dergal S. (1990)

"Química de los Alimentos". Editorial Alhambra Mexicana, México.

Barros C. y Buenrostro M. (1997)

El maíz, nuestro sustento. Arqueología Mexicana. V(25): 6-15. México.

Bedolla S., de Palacios M.G., Rooney L.W., Dehl K.C. and Khan M.N. (1983)

Cooking characteristics of shorgum and corn for tortilla preparation by several cooking methods. Cereal Chemistry. 60(4): 263-268.

Bourne M. C. (1982)

"Food science and Technology, Food texture and viscosity". Academic Press, Inc, U.S.A.

Bourne M. C. (1994)

Coverting from empirical to rheological tests on foods - It's a matter of time. *Cereal Foods World*. 39(1): 37-39.

Buendía González M. O. (1981)

Características morfológicas de mazorca, propiedades físicas y de calidad proteica del maíz normal y mejorado, relacionado con el proceso de la nixtamalización. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo.

Bressani R. (1962)

Enrichment of lime-treated corn flour with deodorized fish flour. INCAP. Guatemala, C. A.

Cabrera Reyes A. R. (1983)

Procesamiento del maíz para la elaboración de Tortillas. Tesis de Licenciatura. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. IPN.

Case S.E., Hamann D.D. and Schwarz S.J. (1992)

Effect of starch gelatinization on physical properties of extruded wheat and corn based products. *Cereal Chemistry*. 69(4): 401-404.

Choto C.E., Morad M.M. and Rooney L.W. (1985)

The Quality of tortillas containing whole sorghum and pearled sorghum alone and blended with yellow maize. *Cereal Chemistry*. 62(1): 51-55

Cuevas R. and Puche C.(1986)

Study of the rheological behavior of corn dough using the Farinograph.
Cereal Chemistry. 63(4): 294-297.

D'Appolonia B.L and Kunerth W

The Farinograph Handbook. Third edition. American Association of Cereal Chemists. U.S.A. p.p.64.

Diccionario Larousse, (1994)

Diccionario de la Lengua Española, Editorial Larousse planeta, México, D.F.
p.p. 726.

Dombrink-Kurtzman M.A. and Bietz J.A. (1993)

Zein composition in hard and soft endosperm of maize. Cereal Chemistry.
70(1):105-108.

Dombrink- Kurtzman M.A y Knutson C.A. (1997)

A study of maize endosperm hardness in relation to amylose content and
susceptibility to damage. Cereal Chemistry 74(6): 776-780.

Domínguez López A. (1990)

Evaluación de la calidad nutricional de tortillas elaboradas con maíz (Zea
mays) germinado. Tesis de Licenciatura. Departamento de Ingeniería
Agroindustrial. UACH.

Dorsey-Redding C., Hurburgh C.R., Jhonson L.A. and Fox S.R. (1991)

Relationships among maize quality factors. Cereal Chemistry. 68(6): 602-
605.

Enciclopedia de México, (1978)

Editorial Enciclopedia de México S.A., México.

Fennema O. R. (1993)

"Química de los Alimentos". Editorial Acribia, España.

Glicksman, M.(1969)

"Gum Technology in the Food Industry". Academic press Inc. U.S.A. 590 p.p.

González Alquinzones U. (1995)

"El maíz y su conservación". Editorial Trillas, México.

González P.A. (1986)

The Use of urea as a control of aflatoxin in maize. El Batán, México. April 7-11. CIMMYT, UNDP y USAID.

Gómez M. H., Lee J.K, Mcdonough C.M., Waniska R.D. and Rooney L.W. (1986)

Corn starch changes during tortilla and tortilla chip processing.
Cereal Chemistry. 69(3): 275-279.

Gómez M.H, Rooney L.W. and Waniska, R.D. (1987)

Dry corn masa flours for tortillas and snack food production. Cereal Foods World. 32(5): 372-

Gómez M.H., Mcdonough C.M., Rooney L.W. and WaniskaR.D. (1982)

Changes in corn and sorghum during nixtamalization and tortilla baking.
Journal of Food Science. 54(2):330-335.

Gómez M.H, Waniska R.D. and Rooney L.W. (1991)

Starch characterization of nixtamalized corn flour. Cereal Chemistry. 68(6): 578-582.

Guerrero Jiménez M. J. (1980)

Cambios fisicoquímicos que sufre el maíz en la nixtamalización. Tesis de Licenciatura. Químico Farmacéutico Biólogo. UNAM.

Hawthorn, J. (1983)

"Fundamentos de ciencia de los alimentos". Editorial Acribia. España.

Hernández Ayala E. (1993)

Calidad nutricia de harinas nixtamalizadas y extruídas de maíz y sorgo. Determinación de aminoácidos limitantes. Tesis de Licenciatura. Químico Farmacéutico Biólogo. Facultad de Química. UNAM.

Hoseney C. (1991)

"Principios de ciencia y Tecnología de los Cereales". Editorial Acribia. España.

Iturbe Chiñas F. A., Lucio Aguerrebere R. M. y López-Munguía A. (1996)

Shelf-life of tortilla extended with fungal amylases. International Journal of Food Science and Technology. 31: 505-509.

Jiménez Aparicio A., Arenas Ocampo M.L. y Gallardo Navarro Y. (1987)

Textura y atributos sensoriales de tortillas elaboradas con mezclas de maíz y distintas proporciones de sorgo. Revista Agroquímica de Tecnología Alimentaria. 27(1): 67-74.

Johnson B.A., Rooney L.W. and Khan M.N. (1980)

Tortilla-making characteristics of micronized sorghum and corn flours. Journal of food science. 45: 671-674.

Juárez Ciprés R. C. (1997)

Caracterización física de 10 variedades de maíz (*Zea mays*) y su influencia en la nixtamalización. Tesis de Licenciatura. Ingeniería en Alimentos. FES-Cuautitlán. UNAM.

Lobeira, R., Almeida-Domínguez H. D. and Rooney L. W. (1998)

Methods to evaluate hydration and mixing properties of nixtamalized corn flours. *Cereal Chemistry*. 75(4): 417-420.

Lo T., Moreira R. G and Castell-Pérez E. (1999)

Propiedades reológicas de la pasta de harina de maíz. *Food Science and Technology International*. 5(1): 59-65.

López Bernal M. M. (1986)

Cinética de difusión acuosa y reacción de gelatinización en la nixtamalización del maíz. Tesis de Licenciatura. Químico Farmacéutico Biólogo. Facultad de Química. UNAM.

López M. Segurajaúregui J. (1986)

Efecto de la variedad del maíz en la cinética de nixtamalización. *Tecnología Alimentaria*. 21(5): 13-18.

Manners D.J. (1985)

Some aspects of structure of starch. *Cereal Food World*. 30(7): 461-467.

Martínez-Bustos F., Chang Y. K., Bannwart A. C., Rodríguez M. E., Guedes P. A. And Gaiotti E. R. (1998)

Effects of calcium hydroxide and processing conditions on corn meal extrudates. *Cereal Chemistry*. 75(6): 796-801.

Molina M. R., Letona M. and Bressani R. (1977)

Drum drying for the improved production of instant tortilla flour. *Journal of Food Science*. 42(6): 1432-1434.

Morad M.M., Iskander F.Y., Rooney L.W. and Earp C.F. (1986)

Physico-Chemical properties of alkali-cooked corn using traditional and presoaking procedures. *Cereal Chemistry*. 63(3): 255-259.

Muller H. G. (1977)

"Introducción a la Reología de los Alimentos". Editorial Acribia, España.

Munguía Monroy C. C. (1983)

Cambios ocurridos en los nutrimentos del maíz por el proceso de nixtamalización. Tesis de Licenciatura. Ingeniero Bioquímico. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. IPN.

Munro E. M. (1994)

Corn refining: A classic value-added success story. *Cereal Food World*. 39(8): 552-555.

NOM-FF-34 (1982)

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Norma Mexicana. Productos alimenticios no industrializados Cereales; Maíz (*Zea mays*). Especificaciones y Métodos de prueba. Dirección general de normas.

Novelo V. (1997)

Las tortillas calientes, patrimonio cultural. *Arqueología Mexicana*. Vol. V(25): 62-71. México.

Ochoa Cortés O. J. (1981)

Estudio de los factores, dureza, temperatura y tiempo en la nixtamalización del maíz. Tesis de Licenciatura. Departamento de Ingeniería Agroindustrial. UACH.

Padua G.W. and R. Mcl. Whitney (1982)

Application of the Instron Tester for investigation of rheology of corn dough. *Cereal Chemistry*. 59(5): 361-366.

Padua M. R. and Padua Maroun, H. (1984)

Rheological behavior of Venezuelan Arepa dough from precooked corn flour. *Cereal Chemistry*. 61(1): 37-41.

Peplinski A.J., Paulis J.W., Bietz J.A. and Pratt R.C. (1994)

Drying of high moisture corn: changes in properties and physical quality. *Cereal Chemistry*. 71(2): 129-133.

Pérez Ramírez R. y Rodríguez Méndez J. (1988)

Estudio de las características Reológicas y Sensoriales de tortillas de maíz, sorgo y mezclas de maíz y sorgo. Tesis de Licenciatura. Químico Farmacéutico Biólogo. Facultad de Química. UNAM.

Pflugfelder R.L., Rooney L.W. and Waniska R.D. (1988)

Dry matter losses in comercial corn masa production. *Cereal Chemistry*. 65(2): 127-132.

Pomeranz Y. (1990)

"Advanced in cereal science and technology". American Association of Cereal Chemistry. U.S.A.

- Pomeranz Y., Czuchajowska Z., Marín C.R. and Lai F.S. (1985)
Determination of corn hardness by Stenvert Hardness Tester. *Cereal Chemistry*, 62(2): 108-112.
- Ramirez-Wong B., Sweat V.E., Torres P.I., and Rooney L.W. (1993)
Development of Two Instrumental Methods for Corn Masa Texture Evaluation. *Cereal Chemistry*, 70(3): 286-290.
- Rao M.A and Rizvi S.S. H.(1986)
"Engineering properties of foods". Marcel Dekker Inc. U.S.A
- Rizley N.F. and Suter D.A. (1977)
Sorghum tortillas: Process and product attributes. *Journal of Food Science*, 42(6): 1435-1438.
- Robles R.R., Murray E.d. and Paredes López O. (1988)
Physicochemical changes of maize during the lime-heat treatment for tortilla making. *International Journal of Food Science and Technology*, 23,91-98.
- Robutti J.L. (1995)
Maize kernel hardness estimation in breeding by Near-Infrared transmission analysis. *Cereal Chemistry*, 72(6): 632-636.
- Rojas Rabiela T. (1997)
De las muchas maneras de cultivar el maíz. *Arqueología Mexicana*, V.(25): 24-32.

Rodríguez M. E., Yañez-Limón. M., Alvarado Gil J.J., Vargas H., Sánchez-Sinencio - F., Figueroa J.D.C., Martínez Bustos F., Martínez Montes J.L., González Hernández J. Silva M.D. and Miranda L.C.M. (1996)

Influence of the structural changes during alkaline cooking on the thermal, rheological, and dielectric properties of corn tortillas. *Cereal Chemistry*. 73 (5): 593-600.

Rooney L.M. (1991)

Tortillas and snack foods from the nixtamalization of maize. *Cereals International* Brisbane Australia. 419-422.

Rubín Alcalá C. (1990)

Estudio comparativo de la textura del maíz y sus productos durante el proceso de elaboración de la tortilla en la pequeña industria. Tesis de Licenciatura. Químico Farmacéutico Biólogo. Escuela de Ciencias Químicas. Universidad La Salle.

Sánchez Tovar S. A. (1993)

Estudio del uso de modelos de superficie de respuesta para correlacionar características sensoriales y de textura de masas y tortillas elaboradas con harina de maíz extruídas alcalinamente. Tesis de Maestría. Maestría en Ciencia de los Alimentos. Facultad de Química. UNAM.

Subramanian V., Hoseney R.C. and Bramel-Cox P. (1994)

Shear thinning properties of sorghum and corn starches. *Cereal Chemistry*. 71(3): 272-275.

Suhendro E. L., Almeida-Domínguez H. D., Rooney L. W., and Waniska R. D. (1998)

Objective rollability method for corn tortillas texture measurement. *Cereal Chemistry*. 75(3): 320-324.

Suhendro E. L., Almeida-Domínguez H. D., Rooney L. W., Waniska R. D. and Moreira R. G. (1998)B

Tortilla bending technique: An objective method for corn tortilla texture measurement. *Cereal Chemistry*. 75(6): 854-858.

Torres F., (1996)

"La Industria de la masa y la tortilla". Editorial UNAM - PUAL. México.

Twillman T.J and White P. J. (1988)

Influence of monoglycerides on the textural shelf life and dough rheology of corn tortillas. *Cereal Chemistry*. 65(3): 253-257.

Vázquez Aguilar, R. (1990)

Correlación de medidas sensoriales e instrumentales para optimizar una metodología para medir textura en tortillas. Tesis de Licenciatura. Departamento de Ingeniería Agroindustrial. UACH.

Walker C.E and Hazelton J.L. (1996)

Dough rheological tests. *Cereal Foods World*. 41(1): 23-28.

Wellhausen E.J., Roberts L.M y Hernández Y.E. (1951)

"Razas de maíz en México". Secretaria de Agricultura y Ganadería. México.