



# UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD  
DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO EN ALIMENTOS

EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA

## Evaluación de Algunos Cambios Físicos, Químicos, Texturales y Reológicos Durante la Formación de la Masa de Maíz

TESIS



BIBLIOTECA  
D. I. P. A.

Que para Obtener el Grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

Presenta:

**Brenda Adriana Silva Espinoza**

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"



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

## CONTENIDO

	Pág.
LISTA DE TABLAS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xii
INTRODUCCION.....	1
OBJETIVOS.....	3
REVISION DE LITERATURA.....	4
Aspectos Históricos del Maíz.....	4
Producción Nacional y Regional de Maíz.....	5
Clasificación y Estructura Física del Grano de Maíz.....	5
Composición Química del Maíz.....	11
Usos del Maíz.....	14
Proceso para la Obtención de Tortilla de Maíz.....	15
Descripción de las Etapas del Proceso.....	15
Cocimiento y Reposo.....	15
Lavado.....	17
Molienda.....	17
Amasado.....	17
Moldeado y Horneado.....	18
Empaque.....	18
Cambios que se Presentan durante el Proceso .....	18
Físicos.....	18
Químicos.....	20
Nutricionales.....	21
Fenómeno de Difusión de Agua en el Grano de Maíz.....	22

## CONTENIDO (Continuación...)

	Pág.
Textura de Masa .....	22
Métodos para Evaluar textura de masa.....	23
Método de Adhesividad Mecánica.....	23
Método de Compresión y Tensión.....	24
Cohesividad.....	24
Método para Evaluar Textura de Tortilla.....	24
Firmeza.....	24
Rollabilidad.....	24
Reología de Masas.....	25
Métodos para Evaluar Propiedades Reológicas de	
Masa de maíz.....	26
Método de Compresión Uniaxial con Lubricación.....	26
Método de Retroextrusión.....	30
MATERIALES Y METODOS.....	36
Materia Prima.....	36
Obtención de la Masa y la Tortilla.....	36
Recolección y Manejo de la Muestra.....	38
Monitoreo del Proceso.....	39
Temperatura.....	39
Absorción de Agua.....	39
Pérdida de Sólidos.....	39
Medición de pH.....	39

## CONTENIDO (Continuación...)

	Pág.
Análisis Proximal.....	40
Determinaciones Físicas.....	40
Remoción de Pericarpio.....	40
Distribución del Tamaño de Partícula en Masas.....	41
Evaluaciones Texturales de la Masa.....	43
Cohesividad.....	43
Método de Compresión y Tensión.....	45
Evaluaciones Reológicas de Masa.....	45
Método de Compresión Uniaxial con Lubricación.....	45
Método de Retroextrusión.....	47
Evaluación Textural de Tortilla.....	49
Firmeza.....	49
Amilogramas de los Productos.....	49
Diseño Experimental y Análisis Estadístico.....	50
RESULTADOS Y DISCUSION.....	51
Análisis Químico Proximal.....	51
Cambios Físicos.....	51
Perfiles de Temperatura.....	53
Absorción de Agua.....	53
Remoción de Pericarpio.....	56
pH.....	59
Nejayote.....	59

## CONTENIDO (Continuación...)

	Pág.
Nixtamal.....	65
Estudios Preliminares para Seleccionar los Tiempos de Reposo .....	65
Fraccionación de las Masas.....	66
Humedad Final del Nixtamal.....	68
Pérdida de Sólidos.....	71
Humedad y Texturales de las Masas.....	75
Humedad de la Masa.....	75
Cohesividad.....	78
Método de Compresión y Tensión .....	81
Adhesividad.....	81
Dureza.....	84
Factor de Compresión y Tensión.....	86
Propiedades Reológicas de las Masas.....	88
Método de Compresión Uniaxial con Lubricación.....	88
Método de Retroextrusión.....	90
Humedad y Texturales de la Tortilla.....	94
Humedad.....	94
Determinaciones Físicas .....	98
Firmeza.....	98
Viscosidades y Temperaturas Amilográficas de los Productos.....	103
Temperatura de Transición y Temperatura de Gelatinización.....	103

**CONTENIDO (Continuación...)**

	Pág.
Viscosidades Amilográficas.....	109
Nixtamal.....	109
Masa.....	112
Tortilla.....	112
Productos.....	117
Correlaciones Simples entre las Determinaciones Realizadas.....	120
CONCLUSIONES.....	127
RECOMENDACIONES.....	130
BIBLIOGRAFIA.....	131

## LISTA DE TABLAS

Tabla	Pág.
1. Consumo de Maíz a Nivel Nacional.....	6
2. Comportamiento de la Producción de Maíz a Nivel Nacional, en los Últimos Ciclos Agrícolas.....	7
3. Comportamiento de la Producción de Maíz en el Estado de Sonora, durante los Últimos Ciclos Agrícolas (P-V, O-I).....	8
4. Composición Química del Grano de Maíz.....	12
5. Valores de Lambda para Diferentes Valores de k y n.....	34
6. Composición Química del Maíz.....	52
7. Análisis de Varianza, Cuadrados Medios, de la Remoción de Pericarpio del Maíz Sometido a Diferentes Tiempos de Cocimiento y Tiempos de Reposo.....	58
8. Efecto del Tiempo de Cocimiento Sobre la Remoción de Pericarpio del Maíz.....	60
9. Efecto del Tiempo de Reposo Sobre la Remoción de Pericarpio del Maíz.....	61
10. Análisis de Varianza, Cuadrados Medios, del pH del Nejayote y Nixtamal a Diferentes Tiempos de Cocimiento y de Reposo.....	62
11. Efecto del Tiempo de Cocimiento Sobre el pH del Nejayote y Nixtamal.....	63
12. Efecto del Tiempo de Reposo Sobre el pH del Nejayote y Nixtamal.....	64
13. Análisis de Varianza, Cuadrados Medios, de Humedades de Nixtamal, Obtenido a Diferentes Tiempos de Cocimiento y de Reposo .....	69



## LISTA DE TABLAS (Continuación...)

Tabla	Pág.
14. Efecto del Tiempo de Cocimiento Sobre la Humedad del Nixtamal....	70
15. Efecto del Tiempo de Reposo Sobre la Humedad del Nixtamal.....	72
16. Análisis de Varianza, Cuadrados Medios, de la Pérdida de Sólidos de Nejayote y Agua de Lavados .....	73
17. Análisis de Varianza, Cuadrados Medios, de Humedades de Masa, Obtenida a Diferentes Tiempos de Cocimiento y de Reposo.....	76
18. Análisis de Varianza, Cuadrados Medios, de Cohesividad de Masas, Obtenidas a Diferentes Tiempos de Cocimiento y de Reposo.....	79
19. Análisis de Varianza, Cuadrados Medios, de las Características Texturales de Masas Obtenidas a Diferentes Tiempos de Cocimiento y de Reposo.....	82
20. Efecto del Tiempo de Cocimiento Sobre la Adhesividad de Masas....	83
21. Análisis de Varianza, Cuadrados Medios, de Algunas Propiedades Reológicas de Masas de Maíz, Obtenidas a Diferentes Tiempos de Cocimiento y de Reposo.....	91
22. Efecto del Tiempo de Cocimiento Sobre el Índice de Flujo de Masas de Maíz.....	92
23. Efecto del Tiempo de Reposo Sobre el Índice de Flujo de Masas de Maíz.....	93
24. Análisis de Varianza, Cuadrados Medios de Humedades, de Tortilla, Obtenidas a Diferentes Tiempos de Cocimiento y de Reposo.....	95

## LISTA DE TABLAS (Continuación...)

Tabla	Pág.
25. Efecto del Tiempo de Cocimiento Sobre la Humedad de la Tortilla.....	96
26. Efecto del Tiempo de Reposo Sobre la Humedad de la Tortilla.....	97
27. Análisis de Varianza, Cuadrados Medios, de Algunas Determinaciones Físicas de Tortilla de Maíz Obtenidas a Diferentes Tiempos de Cocimiento y de Reposo.....	99
28. Efecto del Tiempo de Cocimiento Sobre Algunas Determinaciones Físicas de las Tortillas.....	100
29. Análisis de Varianza, Cuadrados Medios, de Textura de Tortillas; Obtenidas a Diferentes Tiempos de Cocimiento, de Reposo y de Almacenamiento.....	101
30. Análisis de Varianza, Cuadrados Medios, de las Temperaturas de Nixtamal, Masa y Tortilla; Obtenidos a Diferentes Tiempos de Cocimiento y de Reposo.....	106
31. Temperatura de Transición y Temperatura de Gelatinización de Viscosidad de Nixtamal, Masa y Tortilla, Obtenidos a Diferentes Tiempos de Cocimiento y de Reposo.....	107
32. Análisis de Varianza, Cuadrados Medios, de las Viscosidades Amilográficas de Nixtamal, Obtenido a Diferentes Tiempos de Cocimiento y de Reposo.....	110
33. Análisis de Varianza, Cuadrados Medios, de las Viscosidades Amilográficas de Masas, Obtenidas a Diferentes Tiempos de Cocimiento y de Reposo.....	113

## LISTA DE TABLAS (Continuación...)

Tabla	Pág.
34. Análisis de Varianza, Cuadrados Medios, de las Viscosidades Amilográficas de Tortillas, Obtenidas a Diferentes Tiempos de Cocimiento y de Reposo.....	115
35. Análisis de Varianza, Cuadrados Medios, de las Viscosidades Amilográficas de Nixtamal, Masa y Tortilla, Obtenidos a Diferentes Tiempos de Cocimiento y de Reposo.....	118
36. Correlaciones Simples de las Características Físicas de Nixtamal, Masa y Tortilla de Maíz, Obtenidos a Diferentes Tiempos de Cocimiento y de Reposo.....	121
37. Correlaciones Simples entre las Propiedades Texturales de Masa de Maíz, y Propiedades Físicas y Reológicas de Nixtamal y Masa....	123
38. Correlaciones Simples entre la Firmeza de la Tortilla y las Propiedades Físicas y Reológicas de Nixtamal, Masa y Tortilla de Maíz.....	124
39. Correlaciones Simples entre Humedad del Nixtamal, Masa y Tortilla, y las Características Reológicas de Nixtamal, Masa Tortilla.....	126

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Pág.
1. Estructura del Grano de Maíz.....	10
2. Formas de Producción de la Tortilla en México.....	16
3. Geometría para llevar a cabo la Prueba de Compresión Uniaxial con Lubricación.....	27
4. Presentación Esquemática de las Coordenadas Describiendo el Flujo Axial de un Fluido que Sigue la Ley de la Potencia en una Celda de Retroextrusión.....	31
5. Velocidad de Flujo $\theta$ vs Radios de los Cilindros (F) como una Función del Índice de Comportamiento (n) para el Bombeo Anular de la Ley de la Potencia en Fluidos.....	35
6. Diagrama de Flujo del Proceso para la Obtención de la Masa y la Tortilla.....	37
7. Diagrama Esquemático del Procedimiento para Determinar el Grado de Pericarpio Removido Durante la Cocción Alcalina.....	42
8. Equipo para la Determinación de Cohesividad de Masas de Maíz (Incluye: Pesas, Cilindro, Pistón y Cono).....	44
9. Curvas Típicas de Deformación Obtenidas con el Método de Compresión y Tensión.....	46
10. Datos Típicos del Texturómetro Instron para el Bombeo Anular de un Fluido que sigue la Ley de la Potencia.....	48
11. Perfiles de Temperaturas a Diferentes Tiempos de Cocimiento y Tiempos de Reposo.....	54

## LISTA DE FIGURAS (Continuación...)

Figura	Pág.
12. Absorción de Agua del Maíz, Durante las Etapas de Cocimiento y de Reposo.....	55
13. Remoción de Pericarpio de Granos Sometidos a Diferentes Tiempos de Cocimiento y de Reposo.....	57
14. Material Retenido en las Diferentes Mallas, de las Masas Obtenidas a 65 min de Cocimiento y Diferentes tiempos de Reposo.....	67
15. Pérdida de Sólidos en el Nejayote Obtenidos a Diferentes Tiempos de Cocimiento y de Reposo.....	74
16. Efecto del Tiempo de Cocimiento y Tiempo de Reposo Sobre la Humedad de la Masa.....	77
17. Efecto del Tiempo de Cocimiento y Tiempo de Reposo Sobre la Cohesividad de la Masa.....	80
18. Efecto del Tiempo de Cocimiento y Tiempo de Reposo Sobre la Dureza de la Masa.....	85
19. Efecto del Tiempo de Cocimiento y Tiempo de Reposo Sobre el Factor de Compresión y Tensión de la Masa.....	87
20. Viscosidad Elongacional vs Velocidad de Deformación Radial de las Masas.....	89
21. Efecto del Tiempo de Cocimiento y Tiempo de Reposo Sobre la Firmeza de la Tortilla.....	102
22. Efecto del Tiempo de Almacenamiento y Tiempo de Cocimiento Sobre la Firmeza de la Tortilla.....	104

**LISTA DE FIGURAS (Continuación...)**

Figura	Pág.
23. Efecto del Tipo de Producto, Tiempo de Cocimiento y Tiempo de Reposo Sobre la Temperatura de Transición.....	108
24. Viscosidad Amilográfica del Nixtamal Obtenido a Diferentes Tiempos de Cocimiento y de Reposo.....	111
25. Viscosidad Amilográfica de Masas Obtenidas a Diferentes Tiempos de Cocimiento y de Reposo.....	114
26. Viscosidad Amilográfica de Tortillas Obtenidas a Diferentes Tiempos de Cocimiento y de Reposo.....	116
27. Viscosidad Amilográfica de Nixtamal, Masa y Tortilla, Obtenidos a Diferentes Tiempos de Cocimiento y de Reposo.....	119

## RESUMEN

El proceso tradicional de producción de tortillade maíz se podría considerarse como un proceso poco eficiente, debido a la gran inversión de tiempo y energía por unidad de producto; lo cual por lo tanto implica elevados costos. En la nixtamalización, que es la etapa crítica del proceso para la obtención de tortilla, es importante considerar el tiempo de cocimiento, el tiempo de reposo, la temperaturas y la concentración de cal. El tiempo de reposo en la nixtamalización es donde se invierte el mayor tiempo de esta etapa y que hasta hoy no ha sido estudiada lo suficiente para ver si es posible reducirla o eliminarla totalmente. En la presente investigación se estudió como afectaban el tiempo de cocimiento y el tiempo de reposo en la formación de la masa, esto a través de determinaciones de algunos cambios químicos, físicos, texturales y reológicos que se presentaron en las etapas del proceso de la tortilla. Lotes de 20 kg de maíz fueron sometidos al proceso de nixtamalización, cuyas condiciones de procesamiento fueron: 1% de cal; tiempos de cocimiento de 25, 45 ó 65 min; y tiempos de reposo de 5 ó 14 h. Después de la etapa de reposo, el nixtamal fue lavado y llevado a una tortillería comercial para su molienda en un molino de piedras volcánicas; enseguida la masa fue mezclada, moldeada y horneada para obtener la tortilla. Durante el proceso se tomaron muestras de: grano, nixtamal, nejayote, masa y tortilla. A las muestras de nejayote se les determinó pH y pérdida de sólidos; al nixtamal se le determinó su contenido de humedad; pH, y parámetros amilográficos. A la masa se le determinó humedad; cohesividad, adhesividad, dureza, y el factor de compresión y tensión (FCT); y parámetros amilográficos. Finalmente a la tortilla se le realizó las pruebas de humedad; firmeza (efectuada a: 2, 24 y 48 h de almacenamiento); y parámetros amilográficos. Se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas para los datos de las muestras de nixtamal y masa, donde la parcela

grande fue el tiempo de cocimiento (25, 45 ó 65 min), y la subparcela el tiempo de reposo (5 ó 14 h). En cuanto a los datos de textura de tortilla, se utilizó diseño de parcelas divididas donde: la parcela grande fue el tiempo de cocimiento, la subparcela fue el tiempo de reposo y la subsubparcela el tiempo de almacenamiento (2, 24 y 48 h). A los datos obtenidos se les llevó a cabo un análisis de varianza, obteniendo sus niveles de significancia (valores de p). El 78% de la absorción del agua total en el nixtamal se absorbió durante el cocimiento, y en la primera hora de reposo absorbe aproximadamente el 10% y el otro 12% en las 13 h restantes. El pH del nejayote y nixtamal fueron afectados por el tiempo de cocimiento. A mayores tiempos de cocimiento y tiempo de reposo la remoción de pericarpio y la pérdida de sólidos son mayores. Por otro lado, un experimento preliminar con 65 min de cocimiento y 0 ó 2 h de reposo no fue posible obtener masas. Al aumentar el tiempo de cocimiento y el tiempo de reposo la humedad del nixtamal, masa y tortilla se incrementó. Con el incremento del tiempo de cocimiento la cohesividad de la masa aumentó, sin embargo, con el tiempo de reposo disminuyó. Por otro lado, la adhesividad se vió afectada por el tiempo de cocimiento, incrementándose con el tiempo de cocimiento. Con el índice de flujo obtenido se corroboró que la masa presenta las propiedades de material pseudoplástico ( $n < 1$ ).

La firmeza de las tortillas se redujo al incrementarse los tiempos de cocimiento, pero al disminuir los tiempos de reposo y los tiempos de almacenamiento, la firmeza se incrementó. Por lo que se puede concluir, que durante el tiempo de cocimiento el grano absorbe el mayor contenido de agua y cal, y se llevan a cabo algunas reacciones químicas del almidón entre otros la de gelatinización; en tanto que, en el tiempo de reposo se llevó a cabo: la distribución de la humedad dentro del grano, la remoción de pericarpio, la pérdida de sólidos, hinchamiento del grano y más gelatinización de almidón. Por lo tanto, para poder formar la masa, es necesario de que el grano sea sometido al menos a 5 h de reposo, independientemente de los tiempos de cocimiento que se utilicen.



## INTRODUCCION

El maíz es y ha sido alimento básico en la dieta, no sólo de los mexicanos sino de la mayoría de los habitantes de Centro América, siendo la tortilla uno de los principales productos de maíz consumidos en nuestro país. Aproximadamente el 56% de las calorías totales y el 47% de las proteínas totales de la dieta promedio son suministradas por los cereales, principalmente el maíz (Martínez-Herrera y col., 1979).

Debido a la situación actual en que se encuentra México y el establecimiento del Tratado de Libre Comercio, obliga de manera inmediata a avanzar para poder competir con el mercado internacional. Para poder mejorar tecnológicamente es necesario saber y conocer los procesos que ya están establecidos, así como los cambios que se presentan en los productos procesados.

En nuestro país, la masa de maíz así como los productos de ésta, son obtenidos utilizando el proceso tradicional de nixtamalización, el cual consiste en cocer el maíz a temperaturas cercanas al punto de ebullición en un medio alcalino. El carácter alcalino del proceso de cocimiento, produce cambios que son únicos en el grano y que son los responsables de la textura, sabor, olor y valor nutricional de la tortilla; de igual forma se presentan cambios en la composición química del maíz. Se han efectuado una serie de investigaciones sobre los cambios que sufren las proteínas y el almidón durante el proceso de elaboración de la tortilla (Paredes-López y col., 1982; Cabrera y col., 1984; Gómez y col. 1989, ).

En el proceso tradicional de producción de tortilla ocurren una serie de problemas; siendo uno de ellos el que se presenta durante la nixtamalización (cocimiento y reposo del grano) ya que el agua no se distribuye rápidamente

al interior del grano debido a que su testa impide el flujo fácil del agua al interior del grano. Para que se obtenga una buena consistencia del grano cocido se requiere tiempo largo de reposo (14 h aproximadamente) que sea suficiente para que el agua penetre al interior del grano (Gracia y Silva, 1992). Lo que trae consigo una elevación de los costos de producción debido a que se requieren más tanques, espacios físicos y se presentan pérdida de sólidos que trae como consecuencia contaminación. Los períodos largos de reposo implican que se dificulte el establecimiento de un proceso continuo de producción.

Aun cuando el proceso de nixtamalización tuvo sus orígenes en tiempos muy remotos, son muy pocos los cambios tecnológicos que se han efectuado para su mejoramiento, posiblemente debido a que son pocos los estudios que se han realizado, no se tienen estudios sobre las operaciones de nixtamalización y de reposo, que muestren los cambios químicos y físicos que ocurren, por lo que es importante realizar un estudio que indique en que momento se dan las condiciones para que se forme la masa y que cambios ocurren. Esto permitirá determinar la importancia de algunos factores como el tiempo de cocimiento y el tiempo de reposo.

Por otra parte, es importante determinar con que condiciones del proceso se forma la masa; lo que estará en función no solo del tiempo de cocimiento sino también del tiempo de reposo. En relación a este último factor no se han efectuado estudios de cual es su función, pero se conoce que si no hay tiempo de reposo al momento de obtener la masa se presentan algunos problemas como la obtención de masas poco cohesivas.

# OBJETIVOS

## Objetivo general

Evaluar el efecto del tiempo de cocimiento y tiempo de reposo en la formación de la masa, a través de la determinación de los cambios químicos, físicos, texturales y reológicos.

## Objetivos Específicos

1. Determinar el efecto del tiempo de cocimiento y tiempo de reposo a nivel planta piloto durante la nixtamalización, en los cambios químicos del nixtamal, masa y tortilla de maíz, como cambios que presenta el almidón y el índice de absorción de agua.
2. Determinar el efecto del tiempo de cocimiento y tiempo de reposo durante la nixtamalización en las propiedades reológicas y texturales de la masa y la tortilla de maíz.
3. Monitorear cambios físicos del almidón y remoción de pericarpio del maíz durante el cocimiento y el reposo, a nivel planta piloto.
4. Correlacionar las propiedades de esfuerzo de corte, velocidad de corte, viscosidad elongacional de la masa y firmeza de la tortilla de maíz con los cambios que presenta el almidón.

## REVISION DE LITERATURA

En México y América Central, el maíz ha sido un alimento básico desde que se establecieron los primeros pobladores, siendo la tortilla de maíz la principal forma de consumo. Este producto no solo se consume únicamente como tortilla, sino que también se utiliza para la preparación de alimentos tales como enchiladas, tacos y chilaquiles; por su gran utilización e importancia, a continuación se hace una reseña de los aspectos históricos del maíz y características más importantes del mismo.

### Aspectos Históricos del Maíz

Se cree que posiblemente el maíz tuvo sus orígenes en México, extendiéndose posteriormente a todo América. Los principales países productores de este cereal son: Africa, Estados Unidos, México, Brasil y Argentina (Duffus y Slaughter, 1988).

La evidencia más antigua sobre el consumo del maíz data desde 7000 mil años A.C. y ocurrió en el Valle de Tehuacán, México (Brown y col., 1985). Desde 5000 años A.C., según datos obtenidos en el Valle de Tehuacán, el maíz fue uno de los primeros cultivos domesticados en nuestro país al igual que el chile y el frijol. En este mismo Valle fueron encontrados utensilios necesarios para la preparación de tortillas, tales como comales y metates. Esto ocurrió 1000 años A.C. y da idea de que en ese tiempo se inició la preparación de masa y tortilla de maíz (De Walt, 1983).

Por otro lado, en el Estado de Morelos (300 años A.C.) fueron encontradas ollas y nixtamal, lo que indicó la utilización de cal y ceniza para la preparación del maíz por medio del nixtamal (De Walt, 1983).

## Producción Nacional y Regional de Maíz

El maíz es altamente consumido a nivel mundial de diversas formas y procesado por diferentes métodos. Los datos más recientes no muestran que el consumo por persona se haya modificado significativamente en los últimos 25 años, principalmente en las áreas rurales de México y algunos países de Centro América (Bressani, 1990). En el año de 1995 el consumo de maíz por la población mexicana fue de 20,934,000 Ton (Tabla 1). Por otra parte, los países que más cultivan maíz son: Estados Unidos, Brasil, México, China y la India (INEGI, 1996)

Con respecto a lo cosechado, en nuestro país los principales cultivos del maíz se efectúan en los ciclos Primavera-Verano y Otoño-Invierno. En la Tabla 2 se muestra que la producción se ha ido incrementando en los últimos años, pero a nivel de Estado en Sonora, la producción no ha tenido un incremento significativo en los últimos 4 años (Tabla 3). Con respecto al precio del maíz por tonelada a nivel Estatal, éste se ha incrementado año tras año pero de manera no muy drástica (SAGAR, 1997).

## Clasificación y Estructura Física del Grano de Maíz

El maíz pertenece a la familia de las gramíneas y su nombre científico es *Zea mays*. Este cereal tiene una gran cantidad de variedades y considerando sus características físicas podemos encontrar diferentes subespecies:

*Zea mays indurata* o maíz cristalino. Tiene un endospermo duro y gránulos de almidón compacto. Es conocido en otros países como maíz flint. Este maíz se usa tanto en la alimentación como materia prima para la obtención de alcohol y almidón.

*Zea mays amylacea* o maíz amiláceo. Tiene endospermo blando, donde sus gránulos de almidón no son compactos.

Tabla 1. Consumo de Maíz a Nivel Nacional.

Año	Producción (Ton)	Exportaciones (Ton)	Importaciones (Ton)	Consumo (Ton)
1989	10 944 687	1 572	3 648 712	14 591 827
1990	14 635 439	753	4 102 843	18 737 529
1991	14 251 500	16 185	1 421 705	15 657 020
1992	16 929 342	18 506	1 313 661	18 224 497
1993	17 964 569	47924	208 567	18168342
1994	18235826	761	52740	20914000
1995	18341444	2161	53291	20934000

Fuente: INEGI, 1996.

Tabla 2. Comportamiento de la Producción de Maíz a Nivel Nacional, en los últimos Ciclos Agrícolas.

Año	Superficie cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)
1989	6 468 046	10 944 687	1.690
1990	7 338 872	14 635 439	1.994
1991	6 946 831	14 251 500	2.052
1992	7 219 352	16 929 342	2.345
1993	7428225	18125263	2.44
1994	8193968	18235826	2.226
1995	8034295	18341444	2.283

Fuente: INEGI, (1996).

Tabla 3. Comportamiento de la Producción de Maíz en el Estado de Sonora, durante los últimos Ciclos Agrícolas (P-V y O-I).

Ciclo	Superficie cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	Precio (\$/Ton)
89-90 <sup>1</sup>	24,469	97,791	3.997	535,773
89-90 <sup>2</sup>	10,782	21,610	2.004	719,679
90-91	84,968	336,563	3.961	636,000
91-92	54,929	208,149	3.788	715,013
92-93	82,303	364,035	4.423	750,000
93-94	88268	439431	4.985	750,000
93-94	35315	121894	4.978	600
94-95	66963	341655	5.102	750
94-95	32000	117293	3.665	977
95-96	106132	588890	5.549	1671
95-96	67773	269606	3.978	1242
96-97	91400	527800	5.775	1285
96-97 <sup>3</sup>	30050	72185	2.402	-

<sup>1</sup>Ciclo: Otoño-Invierno.<sup>2</sup>Ciclo Primavera-Verano.

<sup>3</sup>Hasta el mes de Noviembre.

Fuente: SAGAR, (1997).



Zea mays everta, maíz reventador o palomero. Tiene gránulos de almidón pequeños, su endospermo es muy duro y revienta al tostarse formando palomitas o rosetas.

Zea maíz saccharata o maíz dulce. Su endospermo tiene aproximadamente 11% de azúcar. Al secarse toma un aspecto arrugado. Este tipo de maíz es utilizado para consumo humano.

Zea mays tunicata o maíz tunicado. El grano puede tener diferentes tipos de endospermo. Este tipo de maíz se identifica por la presencia de glumelas bien desarrolladas que cubren el grano.

Zea mays cerea o maíz céreo. Se le distingue por su endospermo céreo. Se utiliza en la elaboración de budines, gomas y adhesivos. El almidón de este tipo de maíz está compuesto sólo por amilopectina, en vez de una mezcla con amilosa (Parsons, 1991).

El grano de este cereal es una de las semillas más grandes, y está compuesto de cuatro partes (Fig. 1): pericarpio (5% en peso del grano), germen 12%, endospermo 82% y envoltura 1%, (Earle y col., 1946; Inglett, 1970; y Pflugfelder, 1986).

El pericarpio y testa se fusionan para formar la cascarilla o salvado que servirá como capa impermeable al agua y estará formada por los estratos más externos del maíz tales como epidermis, el mesocarpio, capa de células cruzadas, células tubulares, capa aleurona y testa (Rooney y Serna-Saldivar, 1987). La epidermis del pericarpio es una capa de células; esta capa es gruesa en la superficie del grano para resistir el ataque de insectos, pero delgada en la parte inferior. El mesocarpio ocupa la mayor proporción del pericarpio y bajo éste se encuentran las células cruzadas de filamentos ramificados libremente arreglados. Las células tubulares forman una sola fila de filamentos no ramificados y separan al pericarpio de la cubierta de la semilla (Paredes-López, 1983).

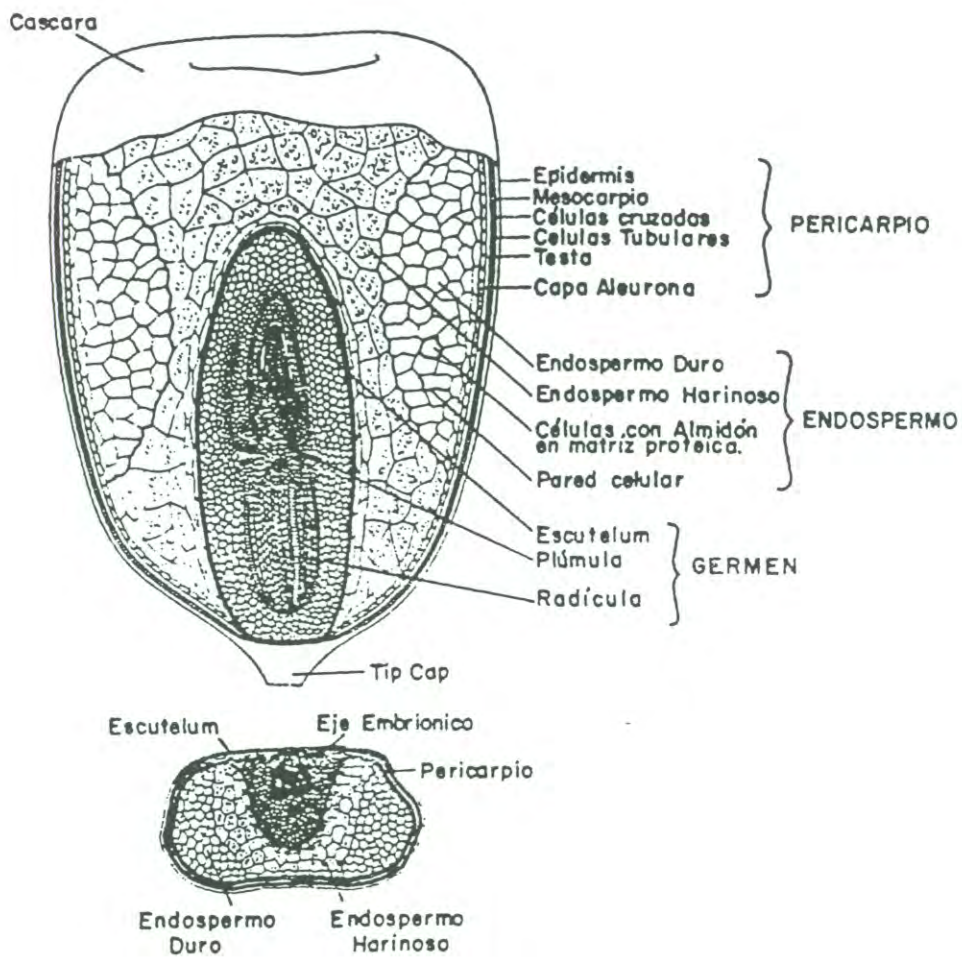


Fig. 1. Estructura del grano de Maíz.  
Fuente: Hosney (1986).

El germen está compuesto de dos partes principales, el escutelo y el embrión. El escutelo es rico en aceite y ocupa el 90% del germen, almacena nutrientes de los cuales se alimentará el embrión para desarrollarse durante la germinación. El germen contiene 67% de azúcar, la cual es principalmente glucosa (Earle y col., 1946; Paredes-López, 1983).

El endospermo, constituye la mayor proporción del grano de maíz, está formado de células comprimidas y elongantes, empaquetadas con gránulos de almidón embebidos en una matriz proteica. El almidón constituye del 86% del endospermo y es utilizada como reserva de energía para soportar la germinación (Johnson, 1991).

La cáscara es una capa delgada que cubre la parte final del grano y sirve como protección al germen (Paredes-López y Saharopulus, 1982).

### **Composición Química del Maíz**

Dependiendo de la variedad del maíz será su composición química, la cual se ve afectada por diversos factores como son tipo de suelo, aspectos climatológicos y genéticos. Entre los componentes químicos del grano se tienen carbohidratos, proteínas, lípidos, pigmentos y minerales (Tabla 4).

De los carbohidratos que contiene el maíz se encuentra la parte no digerible, conocida como fibra cruda (celulosa) que conforman las capas exteriores del grano (Duffus y Colin, 1980). Watson (1987) reporta que, Químicamente la celulosa es un polímero lineal formado por unidades de D-glucosa ligados por uniones  $\beta(1-4)$ .

Otro polisacárido presente es el almidón y constituye el mayor porcentaje del grano. Está formado principalmente de moléculas de amilosa y amilopectina, y se encuentran en cantidades de 60 a 75% del peso del grano; localizándose en el endospermo (Paredes-López y Saharopulus-Paredes, 1983). La amilosa

Tabla 4. Composición Química del Grano de Maíz<sup>1</sup>.

	Componente (%)				
	Pericarpio	Envoltura	Germen	Endospermo	Grano
Almidón	7.30	5.3	8.03	86.6	72.40
Proteína	9.60	3.5	9.7	8.60	9.63
Grasa	0.98	3.8	18.5	0.86	4.70
Ceniza	0.67	1.7	10.3	0.31	1.43
Azúcar	0.34	1.5	11.0	0.61	1.94

<sup>1</sup> Reportada en base seca.

Fuente: Salunke y col., (1985).

es producto de la condensación de hexosas (D-glucopiranosas), la cual forma largas cadenas lineales que pueden tener de 200-2500 unidades, con pesos moleculares que llegan a un millón de daltones. Los monosacáridos están unidos através de enlaces  $\alpha$ -D(1-4). La amilopectina es otro  $\alpha$ -D-glucano, cuya molécula presenta ramificaciones y su forma es similar a un árbol, en donde las ramas están unidas al tronco central por enlaces  $\alpha$ -D(1-6). Su peso molecular puede alcanzar hasta 200 millones de daltones, lo cual hace que se incremente su viscosidad intrínseca (Badui, 1990). El gránulo de almidón en su forma natural, posee una alta densidad y muestra un alto grado de empaquetamiento, lo cual le permite soportar cierto esfuerzo mecánico. Es insoluble en agua fría y se eleva la temperatura, absorbe agua y aumenta su volumen. La fase inicial de hinchamiento es reversible, pero al seguir aumentando la temperatura continúa el hinchamiento y la birrefringencia se torna menos nítida y desaparece, por lo tanto el almidón ha alcanzado la etapa de gelatinización y finalmente el gránulo se desintegra pasando a la solución (Braverman, 1980). Los azúcares como sacarosa, glucosa y fructosa se encuentran en cantidades de 1 a 3%.

Las proteínas del maíz constituyen el 10% del grano, encontrándose el 80% en el endospermo y el resto en el germen (Santos, 1980). La principal proteína de este cereal es la zeína, la cual es una prolamina (soluble en alcohol-étnanol, 70-80%) encontrándose en el endospermo en una fracción del 47%.

Los lípidos del maíz están constituídos principalmente de ácido linoléico, oléico, palmítico, esteárico, linolénico y trazas de láurico, mirístico y araquidónico (Beadly y col., 1965). Además de los lípidos descritos anteriormente el grano cuenta con ceras, fosfátidos, cerebrósidos, esteroides y carotenoides. Aproximadamente el 85% de los lípidos se encuentran contenidos en el germen.

Las vitaminas son uno de los componentes menores del maíz, el cual contiene vitaminas solubles en grasa como son  $\beta$ -carotenos y la vitamina E, y

las solubles en agua como la tiamina, piridoxina y niacina. La niacina se encuentra en altas concentraciones pero en forma indisponible para los humanos, sin embargo el tratamiento alcalino la hace disponible.

El germen del maíz contiene aproximadamente el 78% de los minerales del grano, de los cuales el principal componente es el fósforo. El azufre se encuentra presente en los aminoácidos metionina y cisteína. El calcio esta en pequeñas cantidades en el grano de maíz como cualquier otro cereal (Watson y Ramstad, 1987).

### **Usos del Maíz**

El maíz es el cereal más consumido en México y América Central. Se estima que tanto el maíz como sus productos proporcionan aproximadamente el 50% de proteína y cerca del 70% de las calorías a la dieta de las poblaciones rurales (Paredes-López y Saharopulus-Paredes, 1983).

Este cereal se utiliza tanto para consumo humano como animal, además de utilizar su semilla para siembra; industrialmente el maíz es utilizado para manufactura de almidón, glucosa, fécula, elaboración de cereales, palomitas y frituras.

Tanto la masa de maíz como las tortillas son productos de alto consumo a nivel nacional y su uso se ha extendido por los Estados Unidos de Norteamérica. La tortilla y la masa de maíz son empleados como producto básico para la elaboración de innumerables alimentos tradicionales como son las botanas, totopos, tamales, atoles, bebidas alcohólicas, enchiladas y nachos, entre muchos otros.

La industria de la tortilla maneja un quinto del mercado global mexicano con ventas anuales de aproximadamente 4 000 millones de dólares. La producción de tortilla en México asciende actualmente a unos 11 millones de

toneladas anuales, de los cuales 22.8% es vía harina y el resto vía masa o autoconsumo en zonas rurales (Fig. 2) con ventas de aproximadamente N\$11,000,000,000 (Figuerola y col., 1994)

### **Proceso para la Obtención de Masa de Maíz**

El proceso para la elaboración de masa de maíz utilizado para la producción de tortillas y otros productos tiene como base el método tradicional de nixtamalización. En términos generales, el proceso consiste en cocer alcalinamente el grano a una temperatura inferior al punto de ebullición del agua. Después del cocimiento, el maíz se deja reposar por toda la noche (aproximadamente 14 h). El nixtamal cocido se separa del licor de cocimiento también conocido como nejayote, se lava dos veces, se muele y se mezcla para obtener una masa suave y moldeable que permita obtener los diferentes productos con las características deseadas.

### **Descripción de las Etapas del Proceso**

#### **Cocimiento y Reposo**

La operación de cocción del maíz consiste en mezclar 2.5 a 3 partes de agua con aproximadamente 1% de cal  $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ , basados en el peso del grano (el contenido de cal puede variar de 0.8 a 5%). Por otra parte el tiempo de cocimiento puede llevarse a cabo desde unos cuantos minutos hasta 1.5 h, a una temperatura en un rango de 50 a 90°C. Algunos investigadores reportan temperaturas hasta de 100°C (Pflugfelder, 1986). Para completar esta etapa los granos cocidos se dejan reposar de 5 a 14 h para permitir la difusión del agua al interior del grano (Bressani, 1990).

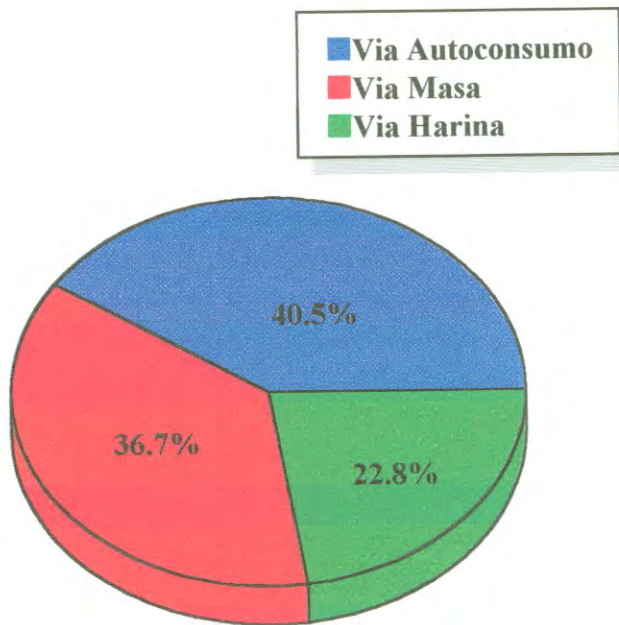


Fig 2. Formas de Producción de la Tortilla en México.  
Fuente: Figueroa y col. (1994).



### **Lavado**

Después de haber concluido la operación descrita anteriormente, el paso siguiente es desechar el agua de cocimiento (nejayote) y someter al grano a dos lavados consecutivos. Esta etapa es con el propósito de eliminar el mayor contenido de pericarpio, germen y proteína removidas del maíz, así como el exceso de cal. Estos productos de desecho representan un gran problema debido a que contienen materiales orgánicos e inorgánicos que requieren una gran demanda de oxígeno químico para su eliminación. En cuanto al alto contenido de cal, éste presenta problema porque cambia el pH del suelo en el cual es desechado.

### **Molienda**

Esta etapa se realiza en un molino que consta de un par de piedras volcánicas ranuradas, en el cual una de las piedras se encuentra fija y la otra móvil. La molienda da inicio cuando un tornillo sin fin fuerza el grano a pasar a través de las piedras donde se reducirá su tamaño de partícula. La reducción estará en función de la profundidad de las ranuras de las piedras y de la separación de las mismas, del grado de cocción del maíz y de la cantidad de agua empleada. Durante el transcurso de la molienda se agrega agua con la intención de reducir la temperatura de la masa, prevenir el exceso de desgaste de las piedras debido a la fricción y darle un contenido determinado de humedad a la masa.

Algunos investigadores reportan que con la molienda se rompe la estructura del grano y permite obtener una masa con algunas propiedades deseables tales como plasticidad y cohesividad (Gómez y col., 1989).

### **Amasado**

El amasado o mezclado es efectuado con el propósito de obtener una masa cohesiva y con el contenido de humedad requerido. La operación de mezclado consiste en mezclar la pasta por un período de aproximadamente un minuto y

si es necesario durante esta operación se le adiciona agua para obtener una masa con las características texturales adecuadas para elaboración de tortillas.

### **Moldeado y Cortado**

La masa ya homogenizada es transferida a la tolva de la tortilladora, donde se cortará para obtener los discos de tortilla (50 a 60 g cada uno). Posteriormente, estos discos pasarán a la sección de horneado, donde se cocerán por tiempo de 41 s (Gracia y Silva, 1992).

### **Empaque**

Una vez cocidas las tortillas (60°C aproximadamente), éstas se empaquetan para evitar la pérdida de humedad y aumentar su vida de anaquel.

## **Cambios que se Presentan durante el Proceso**

Con el proceso de nixtamalización del maíz, se ocasiona que éste sufra cambios debidos a la acción alcalina y a la exposición a altas temperaturas por un tiempo determinado. Siendo algunos de los cambios los que a continuación se presentan:

### **Físicos**

Durante la etapa de cocimiento alcalino así como en el reposo y los lavados se tienen pérdidas considerables de materia seca. Con la utilización de granos sanos, sin daños, no fisurados y con endospermos menos suaves, contribuiría a reducir considerablemente las pérdidas (Pflugfelder y col., 1988). Bedolla y col. (1983), reporta pérdidas del 13.9% y 10% para maíz blanco y amarillo, respectivamente; en tanto que Pflugfelder (1988) encontró que los valores andan alrededor de 5 a un 14%. Por otro lado, en otras investigaciones se encontró que a mayores tiempos de cocimiento y concentraciones de cal,

superiores al 1%, estas pérdidas se incrementaban (Gracia y Silva, 1992). En lo referente a materia seca perdida se contempla pericarpio, almidón y proteína en la proporción de 64, 20 y 1.4%, respectivamente (Pflugfelder, 1988). Durante la etapa de molienda también se tiene pérdida de materia seca, siendo ésta de menor cantidad, aproximadamente del 6% (Gracia y Silva, 1992).

Mediante la utilización del microscopio electrónico de barrido se detectó que el tratamiento térmico-alkalino produce diversas alteraciones en las capas mas superficiales del pericarpio, como la disolución parcial de los materiales superficiales que se representa por numerosas cavidades u orificios que se ven al microscopio. Dichos daños son los responsables del desprendimiento del pericarpio. También se observó que la capa aleurona permanece encerrando al endospermo y al germen, después de haber efectuado el tratamiento térmico-alkalino. Lo anterior es debido a las características semipermeables de la aleurona, lo cual evita que se presenten mayores pérdidas (Paredes-Lopez y Saharopulus, 1982).

En lo que respecta a los cambios que se presentan durante la molienda se puede considerar el tamaño de partícula, el cual tiene gran repercusión en nuestro producto final. Investigaciones relacionadas con lo anterior han encontrado que en fraccionaciones de masas producidas de cinco procesos comerciales, el nixtamal molido está compuesto principalmente de partículas grandes formando éstas el germen y “tip cap”, intermedias tales como pedazos de endospermo y pequeñas constituídas de almidón libre (90% aproximadamente).

En la molienda el tamaño de partícula estará en función al gran esfuerzo de corte al que es sometido el grano, así como a la abertura entre las piedras y a las temperaturas producidas por la fricción de las piedras. Por otro lado, el tiempo de cocimiento y la concentración de cal también tienen influencia sobre el tamaño final de las partículas (Pflugfelder y col., 1988).

Otras investigaciones han mostrado que durante la cocción de las tortillas se presenta la degradación de la pared celular, así como la destrucción parcial de los cuerpos proteicos (Gomez y col. 1989).

### Químicos

Las pérdidas de los componentes químicos, durante el proceso para la obtención de masa de maíz puede ser de dos tipos, por pérdidas físicas durante el proceso y por destrucción química de los mismos (Bressani y col., 1958)

El cambio fisico-químico más importante que se presenta durante la nixtamalización es la gelatinización del almidón. La realización de una serie de investigaciones han comprobado que durante el procesamiento del maíz ocurren diversos cambios en los gránulos de almidón. Paredes-López y Saharopulus (1982), observaron que el endospermo del maíz se modifica con la cocción alcalina debido a que algunos gránulos de almidón se hinchan y gelatinizan, y una porción de la matriz de la proteína se hidrata. Cabrera y col. (1984), investigando la cinética de la difusión del agua y la gelatinización del almidón en el maíz en cocción con álcali a 70-90°C, encontraron que el grado de gelatinización afecta la absorción de humedad. Rooney y Serna-Saldivar (1987), encontraron que los gránulos de maíz nixtamalizados desarrollan buena consistencia cuando se tiene bastante almidón gelatinizado. Los almidones sin gelatinizar contenidos en los sistemas continuos de amilosa, amilopectina y proteínas forman masas cohesivas.

Ramírez y col. (1994), observó que tanto el grado de molienda como el tiempo de cocción a que es sometido el maíz, afectan principalmente al índice de absorción de agua (IAA), al índice de solubilidad del agua (ISA), al contenido de almidón suseptible al ataque enzimático (ASE) y a la amilosa total. A mayores tiempos de cocción y tamaños de partículas más finos ocurre un aumento en IAA, ISA y en el ASE. Por otro lado, los cocimientos prolongados producen una reducción en el contenido de amilosa total.

Con respecto a la viscosidad, Morad y col. (1986) encontraron que efectuando un prerremojado antes del cocimiento alcalino ocasiona un decremento de la viscosidad, debido a que se afecta el grado de gelatinización. La práctica de la operación anterior permite reducir considerablemente el consumo de energía, en comparación con el método de nixtamalización tradicional.

### **Nutricionales**

Con el proceso de nixtamalización se ve un incremento en el contenido de calcio (2.9 veces mayor), el que se favorece por la utilización de cal, las temperaturas de cocción, tiempo de reposo y por las características del grano. Es decir que las sales de calcio contribuyen a que el almidón gelatinice a medida que transcurre el tiempo durante la nixtamalización; ya que a pH 11 o mayores, la amilosa lleva cargas negativas indicando que los grupos disociados a este rango de pH permiten la interacción con los iones calcio (Trejo-Gonzalez, 1982).

En lo referente a las proteínas, Bressani y Scrimshaw (1958), encontraron que la solubilidad de la misma disminuía y que el contenido de proteína insoluble se incrementaba. Existe una baja en el contenido de aminoácidos como son: pérdidas del 21% de leucina, 18% de arginina, 12.5% de cisteína y 11.7% de histidina. La gran pérdida de leucina muestra que hay una mejora en el valor biológico de la proteína después del tratamiento con cal, por la corrección parcial de la desproporción isoleucina-leucina. Pero por otro lado la disponibilidad de lisina sufre un incremento como consecuencia del tratamiento térmico alcalino (Trejo-Gonzalez, 1982). En análisis electroforéticos realizados a las diferentes fracciones proteicas (I,II,III, y IV) se encontró que estas disminuyeron en su número e intensidad a medida que se va avanzando en el procesamiento para la producción de tortilla, sucediendo lo mismo al incrementar el tiempo de cocimiento. Por otro lado, los cambios en las fracciones proteicas no afectaron la firmeza y la rollabilidad de la tortilla (Vásquez, 1995).

Cravioto y col. (1945), efectuaron investigaciones en lo referente a vitaminas, encontrando que se presentaban pérdidas considerables en el contenido de vitaminas del maíz, como tiamina, riboflavina, niacina y carotenos; cuando éste es sometido a nixtamalización.

**Fenómeno de Difusión de Agua en el Grano de Maíz**

El agua tiene importancia crítica en la elaboración de tortillas, ya que no solamente es el medio en el cual se coce el maíz sino que también permite que se solubilize parcialmente la cal utilizada para la nixtamalización del maíz. Dependiendo del contenido de agua que presente el maíz y por consiguiente la masa, serán las características texturales que presentarán las tortillas. En estudios relacionados al fenómeno de difusión de agua en el grano, se ha encontrado que durante la operación de nixtamalización se presenta la mayor cantidad de absorción de agua por el grano de maíz. Una cantidad mucho menor en las posteriores 2 h de reposo y en el tiempo restante a la etapa de reposo (12 h), únicamente se absorbe 1.9% más de agua (Trejo-González, 1982; Gracia y Silva, 1992). Otros estudios muestran que la difusión del agua y el grado de gelatinización del almidón en el cocimiento alcalino de maíz a las temperaturas de 70-90°C están relacionados, ya que se encontró que el grado de gelatinización afecta la absorción de agua (Cabrera, y col. 1984), por lo que si el grano únicamente es expuesto a reposo (28°C) en agua se necesitan aproximadamente 48 h para que el grano alcance una humedad del 50% (Ituen y col. 1985).

**Textura de Masa**

Textura es la forma en la cual los diferentes componentes de un alimento se combinan a nivel macro y microscópico para darle ciertas propiedades, y que dichas propiedades pueden ser percibidas por el sentido del tacto.

Hasta hoy en día se han utilizado alrededor de 350 términos descriptivos con referencia a los alimentos, de los cuales aproximadamente el 25% están relacionados con textura de los alimentos; entre estos podemos citar blando, duro, adhesivo, pegajoso, gomoso, fibroso, quebradizo, jugoso, entre otros.

La textura de los alimentos puede definirse no solo en términos sensoriales sino también en términos físicos como viscosidad, elasticidad, plasticidad, entre otros.

Tanto las características texturales como la apariencia y el color son factores determinantes para la aceptabilidad de un alimento por el consumidor, estas características se presentarán durante el procesamiento del alimento y al momento de consumirlo (Mohsenin, 1986).

Para llevar a cabo la evaluación textural de los alimentos existen una serie de métodos, para el caso particular de la masa y la tortilla se describirán los métodos disponibles.

### **Métodos para Evaluar Textura de Masa**

La textura puede ser medida por métodos subjetivos y objetivos, siendo los primeros difíciles de estandarizar, ya que la evaluación depende grandemente del operador y de la percepción sensorial del individuo. Para efectuar mediciones objetivas existen dispositivos que nos permiten cuantificar resultados numéricos en unidades físicas, tales como kilogramos (kg), metros (m) o bien segundos (s), siendo éstas independientes del operador.

Método de Adhesividad Mecánica. Los métodos utilizados para las evaluaciones texturales de masa de maíz son pocos, Ramírez (1989) reporta dos métodos. Uno de ellos es el Método de Adhesividad Mecánica (MAM) para el cual se emplea un dispositivo mecánico que proporcionará resultados empíricos en función de la pegajosidad o adhesividad de la masa que va a ser analizada.

Método de Compresión y Tensión. El segundo método propuesto por Ramírez (1989), es el Método de Compresión y Tensión, el cual requiere el uso del Texturómetro Instron, para ello se le adaptan dos platos lisos de acero inoxidable de 6.87 cm de diámetro. Uno de los platos se encuentra fijo y el otro es colocado en el cabezal. El cabezal se mueve ya sea hacia abajo o bien hacia arriba a una velocidad previamente establecida. En el plato inferior se coloca la muestra a evaluar, posteriormente se comprime bajando el plato superior; posteriormente, este plato es retornado a la posición original. Las propiedades texturales medidas son Adhesividad (N-m) o pegajosidad de la masa, Dureza ( $N\cdot m^{-2}$ ) o fuerza requerida para comprimir la masa y el Factor de Compresión y Tensión (FCT) que es adimensional.

Cohesividad. Matus y Redondo (1997) reportan el método para medir cohesividad de masas de maíz, aunque en la industria productora de harinas de maíz nixtamalizada y en tortillerías pequeñas le llaman "correa". Este término, cohesividad de un material, está definido como las fuerzas internas del material. El molinero generalmente evalúa esta propiedad comprimiendo la masa de maíz entre los dedos.

### **Métodos para Evaluar Textura de Tortilla**

Firmeza. Para determinar la dureza o firmeza de la tortilla, se utiliza el Texturómetro; al cual se le adapta un dispositivo llamada Celda de Kramer. Esta celda simula la masticación humana y se obtienen valores de fuerza máxima requerida para romper la tortilla (Kramer, 1973).

Rollabilidad. Otro método para la determinación de textura de tortilla es rollabilidad la cual muestra la flexibilidad de la tortilla y por lo tanto su calidad. Para su determinación se sigue el método utilizado por Torres (1988), el cual nos proporciona resultados empíricos que dependen del evaluador y se correlaciona grandemente con pruebas texturales tales como firmeza.



## Reología de Masas

Reología es la ciencia que estudia el flujo o la deformación de los materiales cuando una fuerza o conjunto de fuerzas externas actúan sobre ellos. La reología se encuentra dentro del área de flujo de fluidos.

Existen diferentes tipos de materiales o fluidos que pueden ser clasificados como Newtonianos o No-Newtonianos, dentro de los primeros tenemos a los gases y la mayoría de los líquidos sencillos, los cuales obedecen la ley de Newton de la viscosidad. Esta Ley establece que la resistencia de un fluido sometido a un esfuerzo cortante es constante si la temperatura y la presión estática se mantienen fijas (Perry, 1984). Por otro lado, los fluidos No-Newtonianos se caracterizan porque su viscosidad puede aumentar o disminuir cuando se les aplica una acción de corte constante (Darby, 1976). Los fluidos No-Newtonianos se clasifican como:

Plástico de Bingham; los cuales están sometidos a dos parámetros, el esfuerzo de cedencia ( $\tau_0$ ) y la velocidad plástica.

Pseudoplásticos: estos materiales presentan un descenso en la viscosidad cuando la velocidad de corte se incrementa.

Dilatantes: a diferencia de los pseudoplásticos estos materiales incrementan su viscosidad con la velocidad de corte.

Los modelos matemáticos que rigen el comportamiento de los fluidos No-Newtonianos son tanto el modelo de Bingham como el de la ley de la potencia, cuya ecuación es la siguiente:

$$\tau = m (\dot{\gamma})^n \quad (1)$$

donde:

$$\tau = \text{esfuerzo cortante (Pa)}$$

$\dot{\gamma}$  = velocidad de corte ( $s^{-1}$ )

$m$  = índice de consistencia ( $Pa \cdot s^n$ )

$n$  = índice de comportamiento de flujo (adimensional)

El modelo de la Ley de la Potencia también está regido por dos parámetros que son el índice de comportamiento de flujo ( $n$ ) y el índice de consistencia ( $m$ ). Dependiendo del valor que éstos tomen será el tipo de fluido; esto es, si  $n=1$  es un flujo Newtoniano (donde  $m=\mu$ ), si  $n>1$  el flujo es dilatante y si  $n<1$  el fluido es pseudoplástico (Darby, 1976).

### **Métodos para Evaluar Propiedades Reológicas de Masa de Maíz**

Método de Compresión Uniaxial con Lubricación. Este método se emplea el Texturómetro Instron, que proporciona resultados que pueden ser interpretados en términos de viscosidad extensional biaxial (Chartrei y col., 1981). Para la realización de lo anterior, se deben de tomar las siguientes consideraciones: a) ausencia del efecto de pared, b) trabajar con fluidos incompresibles, c) efectos de gravedad despreciables, d) dirección de flujo radial y e) deformación homogénea. Lo cual implica un perfecto desplazamiento entre la muestra y la pared. El tratamiento matemático que se sigue para la evaluación de viscosidad elongacional es el utilizado por Chartrei y col. (1981) y modificado posteriormente por Campanella y Peleg (1987). Para la obtención de lo anterior se utiliza el Instron a una velocidad de cabezal constante, es decir desplazamiento constante.

Los componentes de velocidad física para un sistema de coordenadas como el mostrado en la Fig. 3 es el siguiente:

$$V_z = \dot{\epsilon}_T H \quad (2)$$

$$V_r = \dot{\epsilon}_T \frac{r}{2} \quad (3)$$

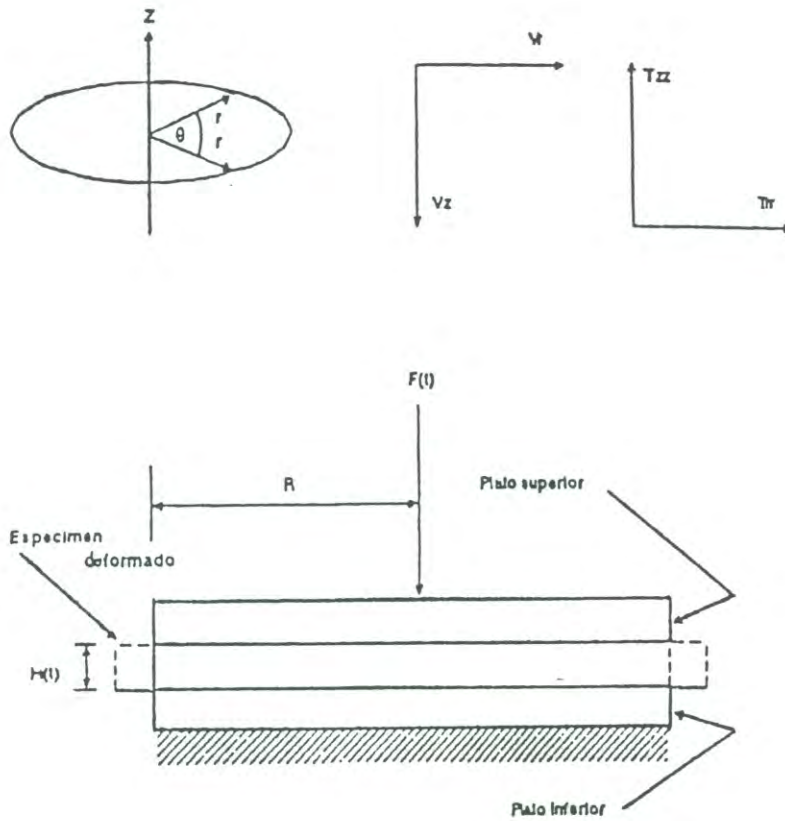


Fig. 3. Geometría para llevar a cabo la Prueba de Compresión Uniaxial con Lubricación.  
Fuente: Ramírez (1989).

$$V_e = 0 \quad (4)$$

donde:

$V_z$ ,  $V_r$  y  $V_e$  = Componentes normal (vertical), radial y angular respectivamente, ( $\text{cm min}^{-1}$ )

$H$  = Altura de la muestra como ésta va cambiando con el tiempo, (cm)

$r$  = Distancia radial, (cm)

$\dot{\epsilon}_T$  = Velocidad de deformación momentánea, ( $\text{s}^{-1}$ )

La velocidad de deformación momentánea se define de la siguiente forma:

$$\dot{\epsilon}_T = \frac{1}{H} \frac{dH}{dt} \quad (5)$$

En el texturómetro Instron operado a velocidad de desplazamiento constante, los valores de  $V_z$  y  $H$  se obtienen mediante las siguientes ecuaciones:

$$V_z = - \frac{dH}{dt} \quad (6)$$

$$H = H_0 - V_z t \quad (7)$$

donde:

$H_0$  = Altura inicial de muestra sin deformar, (cm)

$t$  = Tiempo transcurrido desde el inicio de la prueba, (s)

$H$  = Altura instantánea de la muestra al tiempo  $t$ , (cm)

Sustituyendo las ecuaciones 6 y 7 en la ecuación 5, la velocidad de deformación momentánea está dada por:

$$\dot{\epsilon}_T = \frac{V_z}{(H_0 - V_z t)} \quad (8)$$

La diferencia de esfuerzos normales es obtenido dividiendo la fuerza entre el área de la sección transversal o la parte deformada de la muestra. En este caso, esta área es constante como es observada en la Fig. 3.

$$T_{zz} - T_{rr} = \frac{F}{\pi R^2} \quad (9)$$

donde:

F = Fuerza de compresión momentánea, (N)

R = Radio del plato, (cm)

De acuerdo a Campanella y Peley, (1987), el flujo elongacional es regulado por una función del material conocida como viscosidad elongacional  $\eta_b$ , que puede ser expresada por la siguiente ecuación:

$$\eta_b = \frac{T_{zz} - T_{rr}}{\dot{\epsilon}_r} \quad (10)$$

donde:

$\dot{\epsilon}_r$  = Velocidad extensional biaxial la cual es definida por la siguiente ecuación:

$$\dot{\epsilon}_r = \frac{1}{2} \dot{\epsilon}_T \quad (11)$$

Sustituyendo las ecuaciones 8, 9 y 11 en la ecuación 10, obtenemos la siguiente ecuación:

$$\eta_b = \frac{2FH}{\pi R^2 V_z} \quad (12)$$

Como se mostró anteriormente, se puede observar que el cálculo de la viscosidad elongacional es fácil, esto es si se conoce la altura inicial de la muestra y la fuerza aplicada a las distintas alturas en los diferentes tiempos que son obtenidos de la curva fuerza- deformación.

### Método de Retroextrusión

En este método se involucran dos movimientos físicos (Fig. 4). En el primero de ellos se tiene el movimiento hacia abajo del émbolo o pistón dentro de un fluido y el segundo que consiste del flujo continuo del fluido hacia arriba de un espacio concéntrico anular.

Osorio y Steffe (1985), para obtener los parámetros reológicos del modelo de la Ley de la Potencia y utilizar la celda de retroextrusión, presentó la metodología siguiente:

Los parámetros de la ley de la potencia [  $\tau = m (\dot{\gamma})^n$  ] pueden ser obtenidos de los datos de retroextrusión.

Para llevar a cabo este método se requiere efectuar dos pruebas. Primeramente se debe de calcular el índice del comportamiento de flujo (n) utilizando la ecuación siguiente:

$$n = \ln \left| \frac{\left| \frac{F_{cb2}}{F_{cb1}} \right| \left| \frac{L_1}{L_2} \right|}{\ln \left| \frac{V_{p2}}{V_{p1}} \right|} \right| \quad (13)$$

donde:

$V_p$  = Velocidad del pistón (m.s<sup>-1</sup>)

$F_{cb}$  = Fuerza corregida por flotación (N)

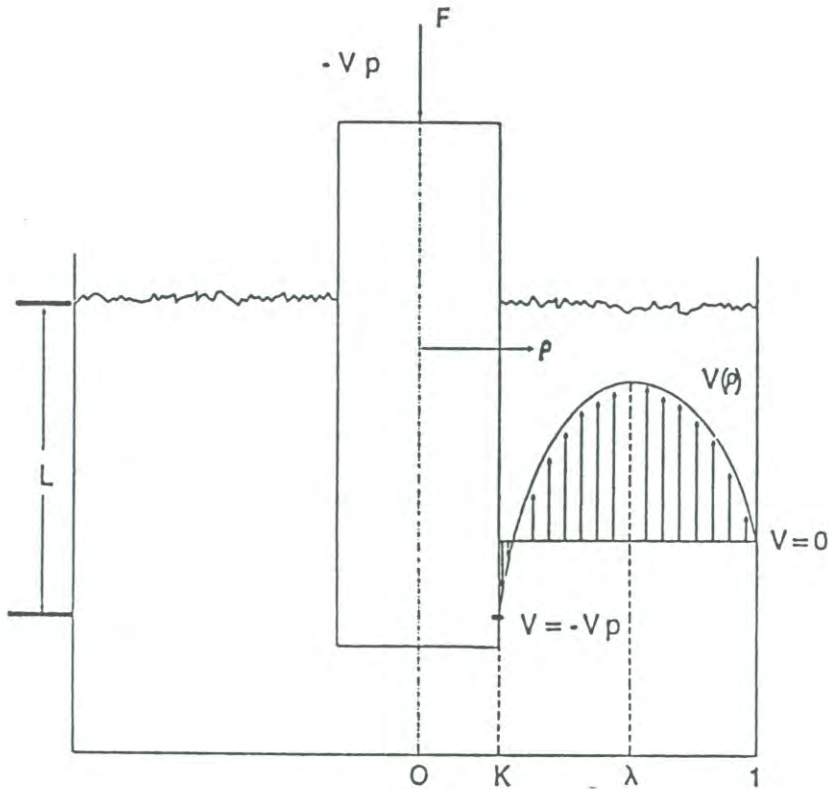


Fig. 4. Presentación Esquemática de las Coordenadas describiendo el Flujo Axial de un Fluido que sigue la Ley de la Potencia en una Celda de Retroextrusión.  
Fuente: Osorio y Steffe (1987).

$L$  = Longitud del pistón que está sumergida en el flujo al terminar la prueba (m)

1 y 2 = Subíndices referentes a las pruebas 1 y 2.

$F_{cb}$  puede ser calculada como:

$$F_{cb} = F_T - \sigma L g \pi a^2 \quad (14)$$

donde:

$F_T$  = Fuerza total (N)

$\sigma$  = Densidad de flujo ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ )

$g$  = Aceleración de la gravedad ( $9.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ )

$a$  = Radio del pistón (m)

El coeficiente de consistencia (m) se calculará mediante la utilización de la siguiente fórmula:

$$m = \left| \frac{R F_{cb}}{2\pi\lambda^2 L R \alpha} \right| \left| \frac{\theta R}{V_p R^2} \right|^n \quad (15)$$

donde:

$V_p$  = Velocidad del pistón ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ )

$R$  = Radio del recipiente (m)

$\theta$  = Velocidad de flujo (adimensional)

$K = aR^{-1}$

$\lambda$  = Valor del radio adimensional donde  $t = 0$



$L$  = Distancia que viaja el pistón después de contactar el fluido dividido por  $(1-K^2)$

Los valores de  $\lambda$  y  $\theta$  se obtienen de la Tabla 5 y Fig. 5, respectivamente.

En cuanto al esfuerzo de corte y la velocidad de corte en la pared del pistón, podrán ser obtenidos utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\tau = \frac{\left| F_{cb} \left| \frac{\lambda^2}{K} \right| - K \right|}{\left| 2 \pi \text{Lam} \frac{\lambda^2}{K} \right|} \quad (16)$$

$$\dot{\gamma} = \frac{\left| \frac{F_{cb}}{2\pi \text{Lam} \frac{\lambda^2}{K}} \right|^{1/n} \left| \frac{\lambda^2 K}{K} \right|^{1/n}}{\left| \frac{\lambda^2 K}{K} \right|^{1/n}} \quad (17)$$

Tabla 5. Valores de lambda para diferentes valores de k y n

k \ n	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0.1	0.4065	0.4889	0.5539	0.6009	0.6344	0.6586	0.6768	0.6907	0.7017	0.7106
0.2	0.5140	0.5680	0.6092	0.6398	0.6628	0.6803	0.6940	0.7049	0.7138	0.7106
0.3	0.5951	0.6313	0.6587	0.6794	0.6953	0.7078	0.7177	0.7259	0.7326	0.7382
0.4	0.6647	0.6887	0.7068	0.7206	0.7313	0.7399	0.7469	0.7527	0.7575	0.7616
0.5	0.7280	0.7433	0.7547	0.7636	0.7705	0.7761	0.7807	0.7846	0.7878	0.7906
0.6	0.7871	0.7962	0.8030	0.8082	0.8124	0.8158	0.8186	0.8209	0.8229	0.8246
0.7	0.8433	0.8480	0.8516	0.8544	0.8566	0.8584	0.8599	0.8611	0.8622	0.8631
0.8	0.8972	0.8992	0.9007	0.9019	0.9028	0.9035	0.9042	0.9047	0.9052	0.9055
0.9	0.9493	0.9498	0.9502	0.9504	0.9507	0.9508	0.9510	0.9511	0.9512	0.9513

Fuente: Osorio y Steffe, (1987).

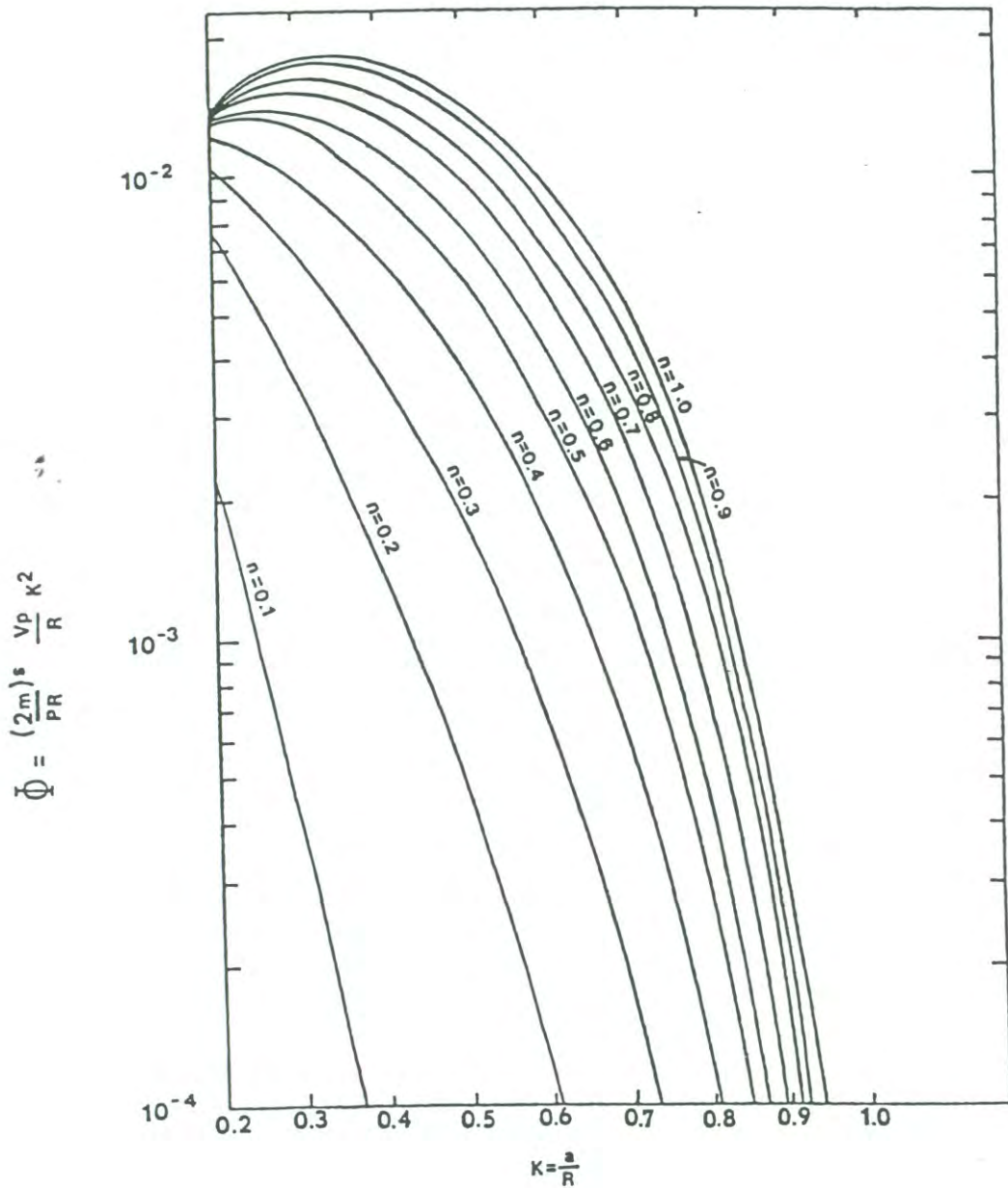


Fig. 5. Velocidad de Flujo ( $\Phi$ ) vs Radios de los Cilindros ( $F$ ) como una Función del Índice de Comportamiento ( $n$ ) para el Bombeo anular de la Ley de la Potencia en Fluidos.  
Fuente: Osorio y Steffe (1987).

## MATERIALES Y METODOS

### **Materia Prima**

Se utilizó como materia prima maíz blanco de la cosecha Otoño-Invierno de 1995, cultivada en el Estado de Sonora y que se emplea en las tortillerías de la localidad. El maíz se limpió en un aparato (Marca Clipper, Modelo M2BC), con el propósito de eliminar todo tipo de impurezas tales como basura, polvo, grano quebrado, entre otros. Después se mantuvo en buen estado durante el almacenamiento.

### **Obtención de la Masa y la Tortilla**

Para la elaboración de la masa y la tortilla se siguió el proceso tradicional empleado en plantas comerciales (Fig. 6). La nixtamalización y el reposo del grano se realizaron en la planta piloto con que cuenta el Departamento de Investigación y Posgrado de la Universidad de Sonora. La masa y las tortillas se elaboraron en una tortillería comercial.

Para cada uno de los tratamientos se emplearon 20 kg de maíz, los cuales se nixtamalizaron a diferentes tiempos de cocimiento (25, 45 ó 65 min), con una concentración de cal de 1% y con 60% de agua. La temperatura de cocimiento fue la de ebullición del agua. El maíz cocido, para cada tiempo, se dejó reposar a diferentes tiempos (5 ó 14 h) a temperatura ambiente. Al término de este tiempo, se efectuó la separación del licor de cocimiento (nejayote), el cual fue desechado; el nixtamal se lavó dos veces consecutivas con agua corriente (20 l cada lavado) para eliminar el exceso de cal, pericarpio y germen, los cuales quedan como residuo de la nixtamalización. Para la molienda del nixtamal, se empleó un molino de piedra volcánica de 10 Hp, en esta etapa se añadió agua

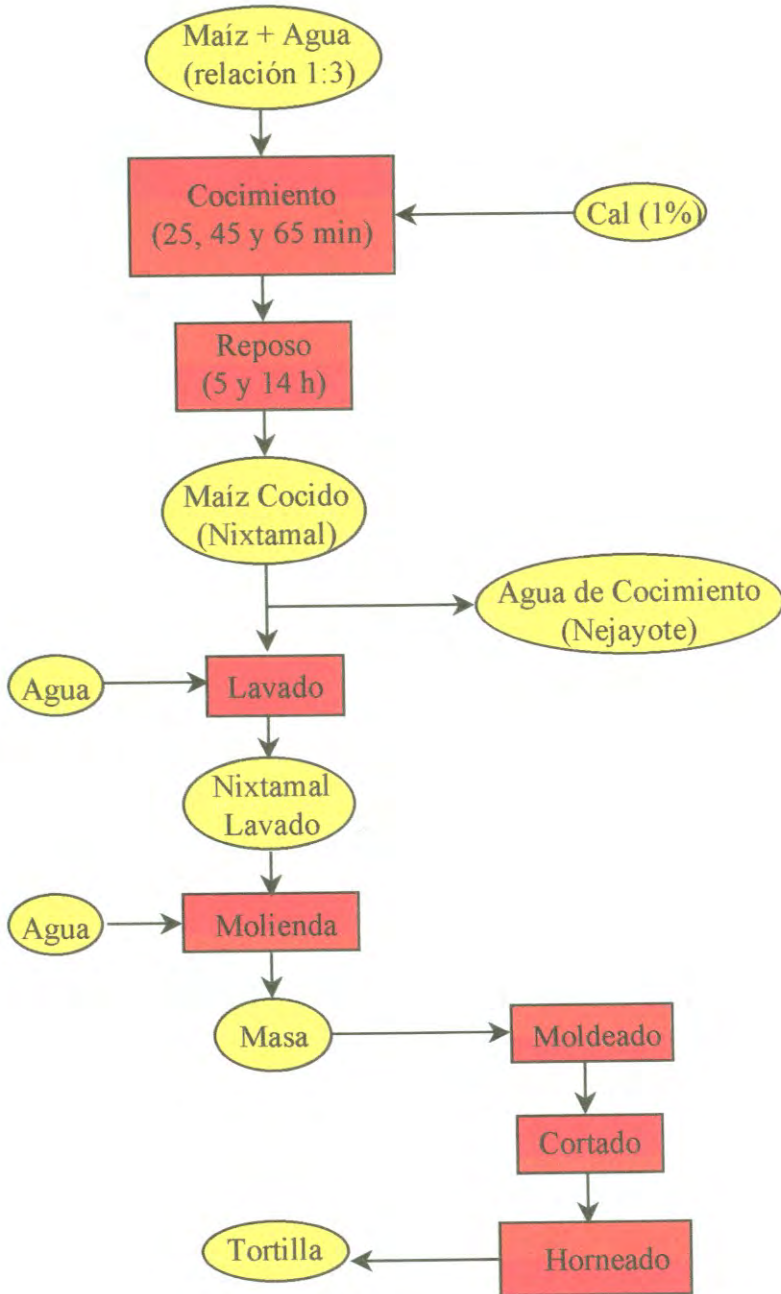


Fig. 6. Diagrama de Flujo del Proceso para la Obtención de la Masa y la Tortilla.

para evitar el sobrecalentamiento de las piedras debido a la fricción. Una vez obtenida la masa, ésta se transfirió a un mezclador para que adquiriera cohesividad y ser homogenizada. Posteriormente se moldeó y cortó; para ello se necesitó transferir la masa a la tolva con que cuenta la tortilladora. Después de obtener los discos de masa, éstos posteriormente pasaron al horno donde fueron cocidos. El tiempo de residencia en el horno fue de aproximadamente 40 s, éste tiempo es establecido por especificaciones del equipo. Las tortillas ya horneadas se distribuyeron en una mesa hasta alcanzar la temperatura ambiente. Finalmente se formaron paquetes de 20 tortillas, cada uno, en bolsas de polietileno para evitar que éstas se contaminaran y perdieran humedad.

#### **Recolección y Manejo de la Muestra**

Muestras de grano, nixtamal, masa y tortilla se colocaron en bolsas de polietileno herméticamente cerradas para evitar deterioro o pérdida de humedad, para el caso de nejayote y agua de lavado las muestras fueron recolectadas en frascos de plástico. Todas las muestras fueron almacenadas a 6°C.

El nejayote y agua de lavado se depositaron en recipientes de plástico e inmediatamente se les midió el pH, utilizando un potenciómetro; posteriormente se taparon herméticamente y se guardaron a temperatura de refrigeración para posteriores determinaciones.

El nixtamal muestreado (300 g) a diferentes tiempos de cocimiento y de reposo, fue almacenado a -18°C. Una parte se tomó para la determinación de humedad y otra para la determinación del porcentaje de pericarpio removido.

La masa (2.5 kg de cada muestra) se dejó reposar aproximadamente 40 min para que alcance la temperatura ambiente; posteriormente se procedió a efectuar las pruebas texturales y reológicas correspondientes.

Las tortillas antes de ser muestreadas se extendieron en una mesa y permanecieron ahí hasta alcanzar la temperatura ambiente (28°C). Se tomaron 40 tortillas de cada tratamiento, una parte de ellas fueron utilizadas para efectuar las pruebas texturales y el resto para las determinaciones físicas.

## **Monitoreo del Proceso**

### **Temperatura**

Los cambios de temperatura del licor fueron monitoreados con termómetro de mercurio. Este monitoreo se efectuó durante el tiempo de cocimiento cada 5 min y en el tiempo de reposo cada 30 min.

### **Absorción de Agua**

Se tomaron muestras de 50 g de nixtamal a diferentes tiempos de cocimiento (25, 45, ó 65 min) y 14 h de reposo, para determinar cambios de la absorción de agua en el maíz con respecto al tiempo de cocimiento y de reposo. Esta determinación de humedad se realizó mediante el método 44-40 de la AACC (1991).

### **Pérdida de Sólido**

Al terminar el tiempo de reposo, se midió el volumen de nejayote y agua de lavado desechados, tomando 3 muestras de 500 ml cada uno, llevándolas a sequedad (Método para la determinación de humedad: 44-40 AACC, 1991) y efectuando balance de masa se determinó el contenido de sólidos.

### **Medición de pH**

Muestras de nejayote y nixtamal obtenidas durante los tiempos de cocimiento y de reposo (5 y 30 min, respectivamente) fueron sometidos a esta determinación. Para esta medición se utilizó un potenciómetro (Marca Corning

pH Mettler Modelo 130), el cual fue previamente calibrado con una solución bufer de pH=7 (AOAC, 1990).

### **Análisis Proximal**

El grano de maíz fue sometido a análisis químico proximal, de acuerdo a los métodos propuestos por la A.A.C.C. (1991). Dichos análisis fueron: Humedad (44-40), Proteína (46-12), Grasa (30-20) y Ceniza (08-03). La determinación de humedad, también se realizó para nixtamal, masa y tortilla.

### **Determinaciones Físicas**

#### **Remoción del Pericarpio**

La fácil remoción del pericarpio es criterio importante de calidad para el maíz que se utiliza para la producción de alimentos cocidos alcalinamente ya que su presencia afecta las propiedades del producto además de sus características físicas como son color y textura (Serna-Saldivar y col., 1987a). El grado de pérdidas del pericarpio dependen del tipo y concentración de cal, del tiempo y temperatura de cocción y de la variedad del grano utilizado en el proceso (Rooney y Serna-Saldivar, 1987).

Serna-Saldivar y col.,(1989a) adaptaron el método para coloración de sorgo decortinado (propuesto por Barber y Benedicto de Berber, 1976) a la evaluación de la facilidad de remoción del pericarpio en diferentes variedades de maíz; para ello utilizaron el colorante eosina G o solución madre a la cual llamaron May-Gruenwald. El proceso de coloración consiste en preparar una solución disolviendo un gramo de eosina y un gramo de azul de metileno en 200 ml de metanol. Dicha solución debe ser almacenada en un frasco oscuro y a temperatura de refrigeración, para mantener la estabilidad del colorante.



Después de preparar la solución de trabajo mediante la dilución de la solución de May-Gruenwald con metanol (1:3), esta preparación debe hacerse antes de empezar el procedimiento. Una muestra de 10 a 20 g, previamente cocidos alcalinamente durante 20 min a 98°C y enfriados con agua, es seleccionada aleatoriamente, para después ser colocada en una canasta de alambre y sumergida durante 15 s en la solución de trabajo (Fig. 7). El exceso de colorante es removido durante enjuagues consecutivos del grano en tres recipientes que contienen de 250 a 300 ml de metanol.

La operación del proceso descrito anteriormente es de aproximadamente un minuto para cada una de las muestras y el grado de remoción del pericarpio es determinado subjetivamente dependiendo de la cantidad de coloración o de tinción azul-verde del hollejo que queda en el grano. Para poder efectuar la evaluación se utiliza una escala del 1 al 5, donde el 1 se le otorgará al grano al cual le fue removido el pericarpio completamente y el 5 aquel grano que no le fue removida la cascarilla.

### **Distribución del Tamaño de Partícula en Masas**

Con el propósito de efectuar una prueba preliminar para conocer en que momento se forma la masa se llevó a cabo la determinación de fraccionación o técnica de separación en masas reportada por Pflufelder (1988). Para el desarrollo de esta técnica se realizó lo siguiente: se tomaron 50g de masa fresca, la cual se disolvió en 20 ml de agua. Posteriormente, la suspensión se centrifugó a 3000 rpm durante 20 min, seguidamente se removió el solvente. El material insoluble se lavó con 20 ml de agua y se centrifugó bajo las mismas condiciones ya descritas; se determinaron sólidos solubles en el sobrenadante, secando posteriormente a 105°C por 4 h. El material soluble fue disperso en solución agua-etanol (1:1) y fraccionado a través de las mallas U.S standar :20, 40, 60, 80, 100 y papel filtro Whatman no. 1 (como fondo).

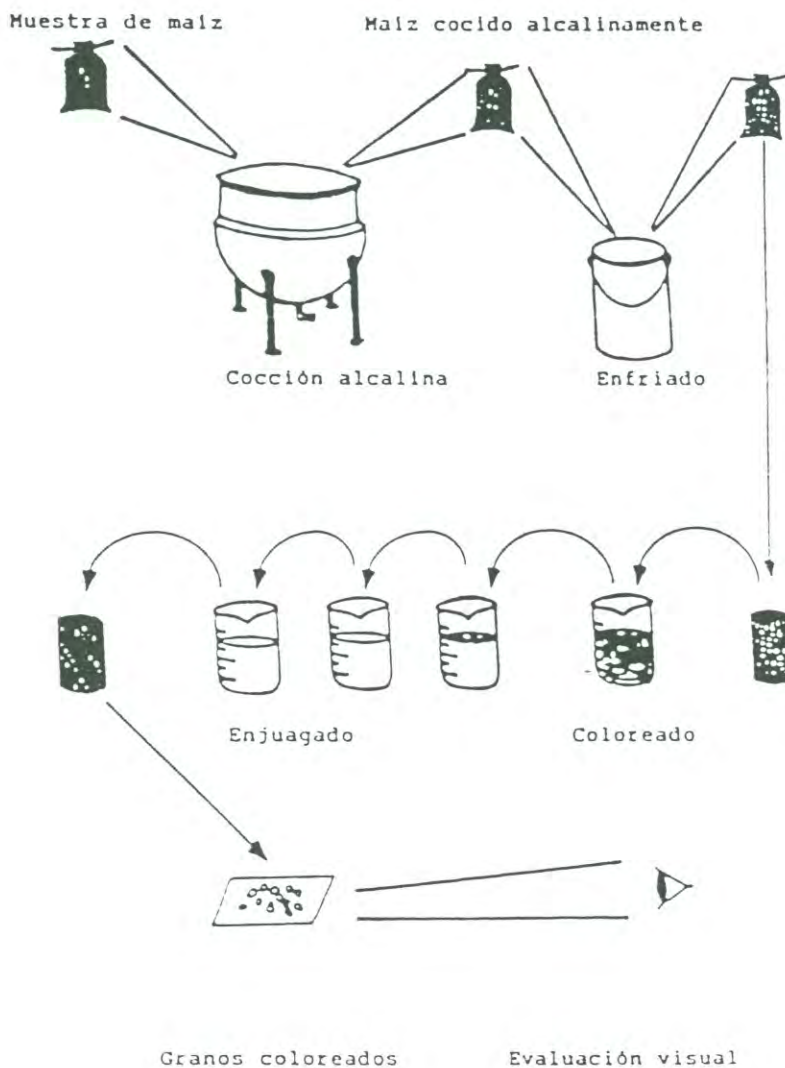


Fig. 7. Diagrama Esquemático del Procedimiento para Determinar el Grado de Pericarpio Removido durante la Cocción.  
Fuente: Serna-Saldivar y col. (1989).

Las mallas fueron montadas en un sistema que constó de un matraz Kitazato, un embudo Bushner y bomba de vacío. La solución agua-etanol incrementó la eficiencia y disminuyó el tiempo de la fraccionación.

Para conocer el peso de cada fracción, éstas fueron colocadas en papel Whatman no.1 (previamente pesado) y secadas en estufa de convección de aire forzado a 110°C durante 12 h. La distribución de tamaño de partícula fue calculada como el peso retenido en cada una de las mallas.

## Evaluación Textural de Masa

### Cohesividad

Las muestras de masa se sometieron a la determinación de cohesividad, utilizando el método propuesto por Matus y Redondo (1997). En base a este método se pudo determinar la fuerza requerida para romper las fuerzas internas del material que lo mantienen unido.

El procedimiento que se siguió fue el que a continuación se describe: 200 g de muestra se colocaron en un cilindro metálico, el cual en el extremo inferior tenía un cono con un orificio de 1 cm de diámetro. En el extremo superior se colocó un pistón el cual se introduce dentro del cilindro colocando sobre él pesas de 5 y 15 kg (Fig.8). Al colocar dichas pesas, la muestra fluye libremente a través del orificio en forma de “chorro o correa”; la cual dependiendo de las fuerzas internas de la masa se romperá por la acción de la gravedad en piezas de diferente longitud.

Para calcular la cohesividad se utilizó la fórmula siguiente:

$$\text{Cohesividad} = \frac{\text{Peso total de las piezas}}{\text{No. de piezas}} \times 100 \quad (18)$$

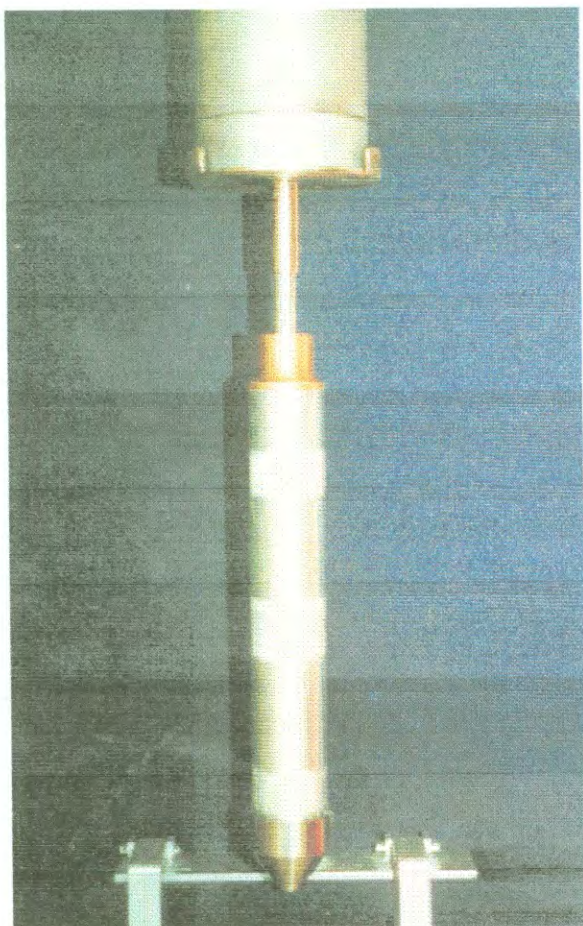


Fig. 8. Equipo para Determinar Cohesividad de Masas de Maíz (Incluye: Pesas, Cilindro, Pistón y Cono).

## **Método de Compresión y Tensión**

Para este método se utilizó un Texturómetro (Marca Instron, Modelo 1131), el cual fue previamente calibrado y la pluma en el graficador se colocó en el centro del papel. El procedimiento consistió en pesar 4.5 g de muestra de masa, la cual fue moldeada en un anillo de aluminio con diámetro de 2.9 cm y altura de 0.6 cm. El disco resultante de masa se colocó entre dos platos de acero paralelos y centrado en el plato inferior. Estos platos se colocaron previamente al texturómetro.

La masa primeramente se comprimió bajo el plato superior hasta que la muestra se deformó a un espesor de 2 mm; subsecuentemente el plato superior retornó a su posición original aplicando una fuerza de tensión a la muestra. De esta prueba el graficador mostró dos curvas (Fig.9); una de compresión (dirección positiva) y una de tensión (dirección negativa). La velocidad de cabezal y de carta fueron de 5 y 100 cm/min respectivamente, y la celda que se utilizó fue de 50 kg de capacidad.

Gráficamente se pudieron obtener las siguientes propiedades texturales: adhesividad (N-m) definida como el área bajo la curva de tensión (curva en la dirección negativa), dureza ( $N\cdot m^{-2}$ ) como la altura máxima en la dirección positiva y el Factor de Compresión y Tensión (FCT), como la razón de la fuerza máxima de compresión a la fuerza máxima de tensión (Fig. 9). Las masas con altos valores del FCT son duras, mientras que los valores bajos del FCT los presentan las masas pegajosas.

## **Evaluaciones Reológicas de Masa**

### **Método de Compresión Uniaxial con Lubricación**

Este permite interpretar los resultados en términos de viscosidad extensional biaxial (Chatrei y col., 1981). El procedimiento para el desarrollo del presente

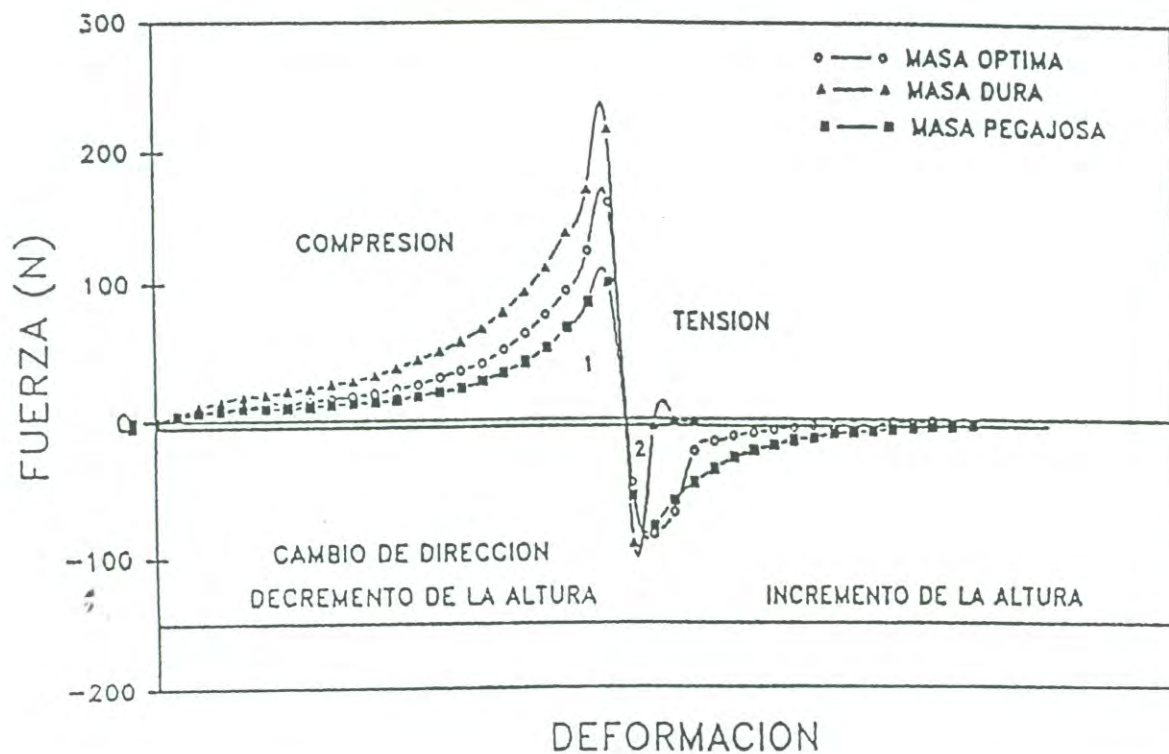


Fig. 9. Curvas Típicas de Deformación Obtenidas con el Método de Compresión y Tensión.  
Fuente: Ramírez (1989).

método es el siguiente (Fig. 3): una muestra de 32 g de masa se moldeará en un anillo de aluminio de 6.75 cm de diámetro y 0.7 cm de altura. El disco de masa resultante se colocó en el centro del plato inferior fijado en el texturómetro Instron Modelo 1131 y el plato superior conectado al cabezal, el cual se movió a una velocidad preestablecida. Al obtenerse una abertura de 3 mm entre los platos, el movimiento del cabezal se suspendió. El graficador mostró una curva de fuerza-deformación. Previamente al experimento los platos fueron lubricados con vaselina. La velocidad de cabezal y de carta fueron de 5 y 100 cm/min, respectivamente y la celda que se utilizó fue la de compresión con una capacidad de 50 kg.

De las curvas obtenidas se calcularon los siguientes parámetros reológicos (Chatrei y col., 1981; Campanella y col., 1987): Viscosidad elongacional y Velocidad de deformación (Ecs. 12 y 5, respectivamente).

Con los parámetros calculados se elaboraron gráficas de viscosidad elongacional vs velocidad de deformación y con ello poder observar el comportamiento reológico de las masas.

### **Método de Retroextrusión**

Una muestra de 750 g de masa se colocaron perfectamente (evitando espacios vacíos) en un cilindro de 10.1 cm de diámetro y 8.93 cm de altura. Una vez acomodada la masa en el recipiente, éste fue colocado en la base inferior del texturómetro Instron y el pistón conectado al cabezal (Fig. 4) que se moverá a velocidades de 10 y 20 cm/min. Al obtener una diferencia de altura de 2 cm entre la base del recipiente y el pistón, se suspendió el movimiento del cabezal. El graficador nos mostró una curva de fuerza-deformación (Fig. 10). La velocidad de carta fue de 20 cm/min y la celda que se utilizó fue la de 50 Kg.

De las curvas obtenidas por el método de retroextrusión, se calcularon el esfuerzo de corte, índice de comportamiento de flujo y el coeficiente de consistencia.

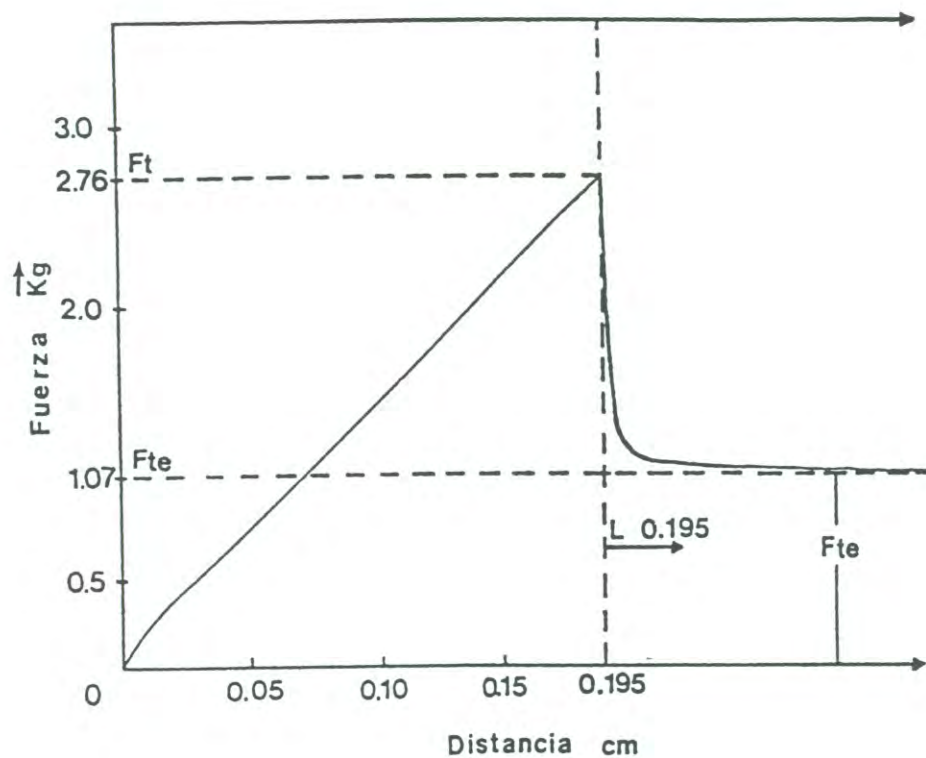


Fig 10. Datos típicos del Texturómetro Instron para el Bombeo Anular de un Fluido que sigue la Ley de la Potencia.



## **Evaluación Textural de Tortilla**

### **Firmeza**

La celda de Kramer se utilizó para la determinación de firmeza, este dispositivo se añadió al texturómetro (Marca Instron, Modelo 1131). El presente método, se fundamenta en medir la fuerza requerida para romper un pedazo de tortilla de área determinada. Primeramente, se cortó un área de tortilla de 41.47 cm<sup>2</sup> y se colocó dentro de la celda rectangular con que cuenta la celda de kramer. Al bajar el cabezal del texturómetro, se aplicó una fuerza de compresión uniaxial, registrándose la fuerza requerida para romper la tortilla. En el graficador con que cuenta el texturómetro se obtuvo una gráfica típica de deformación y ruptura, donde la fuerza requerida para romper la tortilla se determinó en función del esfuerzo máximo (N.m<sup>-2</sup>), dividiéndose este valor por el espesor de la tortilla. La celda de carga utilizada fue de 50 kg, y la velocidad de cabezal y de carta fueron de 10 y 20 cm.min<sup>-1</sup>, respectivamente.

### **Amilogramas de los Productos**

Para determinar el comportamiento reológico del almidón de: maíz, nixtamal, masa y tortilla (temperaturas y viscosidades expresadas en Unidades Brabender), se siguió el método 22-10 de la AACC (1990); utilizando para ello un Viscoamilógrafo (Marca Brabender Tipo 800220).

Antes de iniciar la determinación, primeramente se homogenizó cada una de las muestras y se les determinó su contenido de humedad. En un matraz Erlenmeyer se agregaron 53 g de muestra en base seca y se le adicionó 477 ml de agua destilada, procediéndose de inmediato a agitar por 1 min hasta formar una suspensión con 10% de sólidos totales. Esta solución se añadió a el tazón del amilógrafo, se ajustó la pluma del graficador a cero y se accionó el interruptor para dar inicio a la agitación y al incremento de temperatura. Primero

se elevó la temperatura a 95°C, luego se mantuvo a esta temperatura por un <sup>50</sup> intervalo de una hora. Al concluir el tiempo de una hora a 95°C se procedió a enfriar la suspensión a 50°C para después mantenerla a esa temperatura por un tiempo de 30 min. Cuando fue necesario se colocaron pesas de 1000 y 500g

para que el graficador no se saliera de los límites del papel. De las gráficas se tomaron los valores de: temperatura de inicio a la cual empieza a incrementarse la viscosidad; temperatura pico, que es la viscosidad antes de los 95°C; y viscosidades: antes de los 95°C, a los 95°C por un intervalo de 1 hora, a los 50°C y a los 50°C mantenidos 30 min.

### **Diseño de Experimentos y Análisis Estadístico**

Para la evaluación de los datos de nixtamal y masa se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas, donde las parcelas fueron: tiempo de cocimiento (25, 45 ó 65 min) parcela grande y tiempo de reposo (5 ó 14 h) subparcela. Lo anterior dió 12 tratamientos con su respectiva réplica. Cada una de las réplicas se efectuó en día diferente.

En lo referente a los datos texturales de la tortilla, se utilizó el diseño experimental de parcelas divididas donde las parcelas fueron: tiempo de cocimiento (25, 45 ó 65 min) parcela grande, tiempo de reposo (5 ó 14 h) subparcela y tiempo de almacenamiento (2, 24 ó 48 h) subsubparcela. La unidad experimental fue la cantidad de maíz a nixtamalizar (20 kg); ya que sobre el procesamiento de éste, se realizaron todas las mediciones.

A los datos obtenidos de las evaluaciones, se les llevó a cabo un análisis de varianza; a un nivel de significancia de  $p < 0.05$ . Se efectuaron pruebas de comparación de medias de Tukey, para ver diferencias entre tratamientos específicos.

Cuando fue necesario, se calcularon coeficientes de correlación simple ( $r$ ). El análisis estadístico se realizó utilizando el paquete computacional SAS.

### **Análisis Químico Proximal**

Con el propósito de conocer la composición química del maíz, se realizó un análisis proximal, cuyos resultados se muestran en la Tabla 6. En cuanto a carbohidratos los valores fueron muy parecidos a los reportados por Vásquez (1995) y Campas (1997), de 76.86 y 76.42% respectivamente; sin embargo en una investigación efectuada por Orozco (1995), encontró que el contenido de carbohidratos fue de 85.36%. Es muy importante considerar el contenido de carbohidratos ya que la mayoría de ellos es almidón. El almidón está compuesto por amilosa y amilopectina, y son los componentes que darán las características reológicas que presentaran los productos obtenidos a partir de ese grano.

Por otro lado, no únicamente es importante el contenido de carbohidratos del grano sino también la composición global del mismo, ya que también se debe considerar la interacción del almidón con otros componentes. Con respecto a los contenidos de proteína de maíz los autores antes mencionados, reportaron contenidos proteicos superiores a los aquí descritos (9.51, 10.08 y 8.16%, respectivamente); ésto se debe a que la composición química del maíz cambia de una variedad a otra y de la temporada de cultivo.

### **Cambios Físicos**

Para conocer cuales fueron los cambios que presentó tanto el maíz como el sistema de proceso durante las etapas de cocimiento y de reposos se realizaron algunas determinaciones físicas como: perfiles de temperatura, absorción de agua, pH, remoción de pericarpio, fraccionación de masas y humedad del nixtamal.

Tabla 6. Composición Química del Maíz.

Determinación	Composición <sup>1</sup> (%)
Proteína <sup>2</sup>	8.08
Grasa <sup>2</sup>	3.50
Ceniza <sup>2</sup>	1.41
Carbohidratos <sup>3</sup>	76.93
Humedad	10.08

<sup>1</sup>Los valores son promedios de tres repeticiones.

<sup>2</sup>Resultados expresados en base seca.

<sup>3</sup>Obtenido por diferencia.

### Perfiles de Temperatura

Del proceso de nixtamalización, efectuado a diferentes condiciones de tiempo de cocimiento y tiempo de reposo, se monitorearon tiempo y contenidos de humedad durante el transcurso del proceso. La Fig. 11 muestra que el comportamiento de las temperaturas para los tres tiempos de cocimiento de maíz de 25, 45 y 65 min fue muy similar. Al incrementar el tiempo de cocimiento la curva del perfil de temperaturas se desplazó hacia la derecha. Esto significa que al aumentar el tiempo de cocimiento fue mayor el tiempo de exposición del grano al calor, así como la cantidad de humedad absorbida, lo que ocasionó que se incrementara la temperatura. Independientemente de los tiempos de cocimiento la temperatura ambiente para todos los casos fue de 28°C promedio. En la Fig. 11 se observa que al principio la temperatura del licor de cocimiento es aproximadamente 100°C (98 y 99°C), pero al agregar el maíz, la temperatura inicial descendió un 17%; después se incrementó nuevamente a los 25 min de cocimiento, permaneciendo así hasta finalizar cada uno de los tiempos de cocimiento.

Para cualquier tiempo de reposo, la temperatura descendió un 40% durante las primeras dos horas de reposo; en el resto de ese tiempo el descenso fue asintótico. En general, los perfiles de temperatura para los tres tiempos de reposo fueron similares, aunque al finalizar éstos, las temperaturas fueron menores a menor tiempo de cocimiento.

### Absorción de Agua

La Fig. 12 muestra la absorción de agua seguido por el maíz al ser sometido al proceso de nixtamalización. La humedad inicial del grano fue de 10% y con el transcurso del tiempo de cocimiento y de reposo, el maíz fue absorbiendo más humedad. En general, para los diferentes tiempos de cocimiento, el maíz absorbió un promedio del 56% de la humedad total adquirida durante todo el procesamiento de nixtamalización. Por otro lado, durante el tiempo de reposo el grano absorbió aproximadamente un 12% más

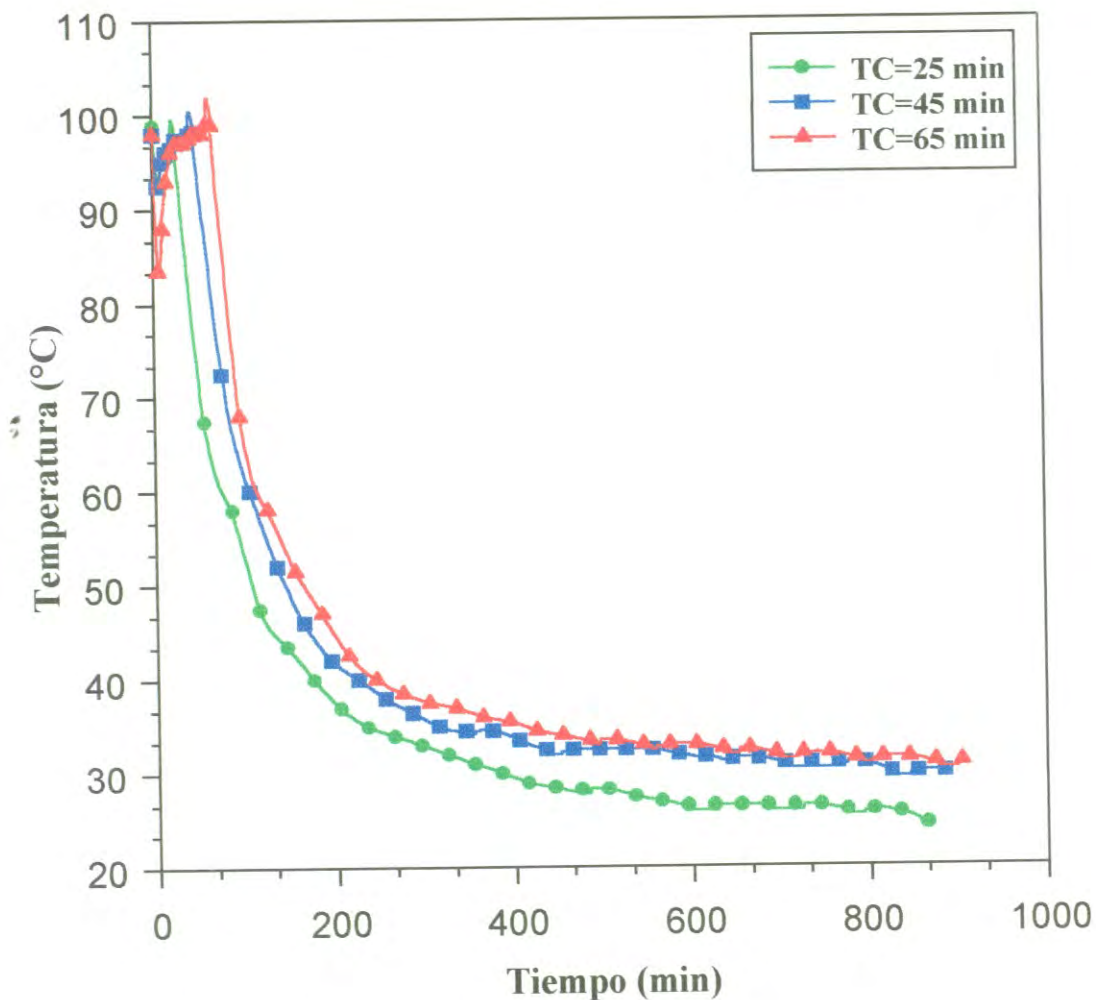


Fig. 11. Perfiles de Temperatura a Diferentes Tiempos de Cocimiento y Tiempos de Reposo.

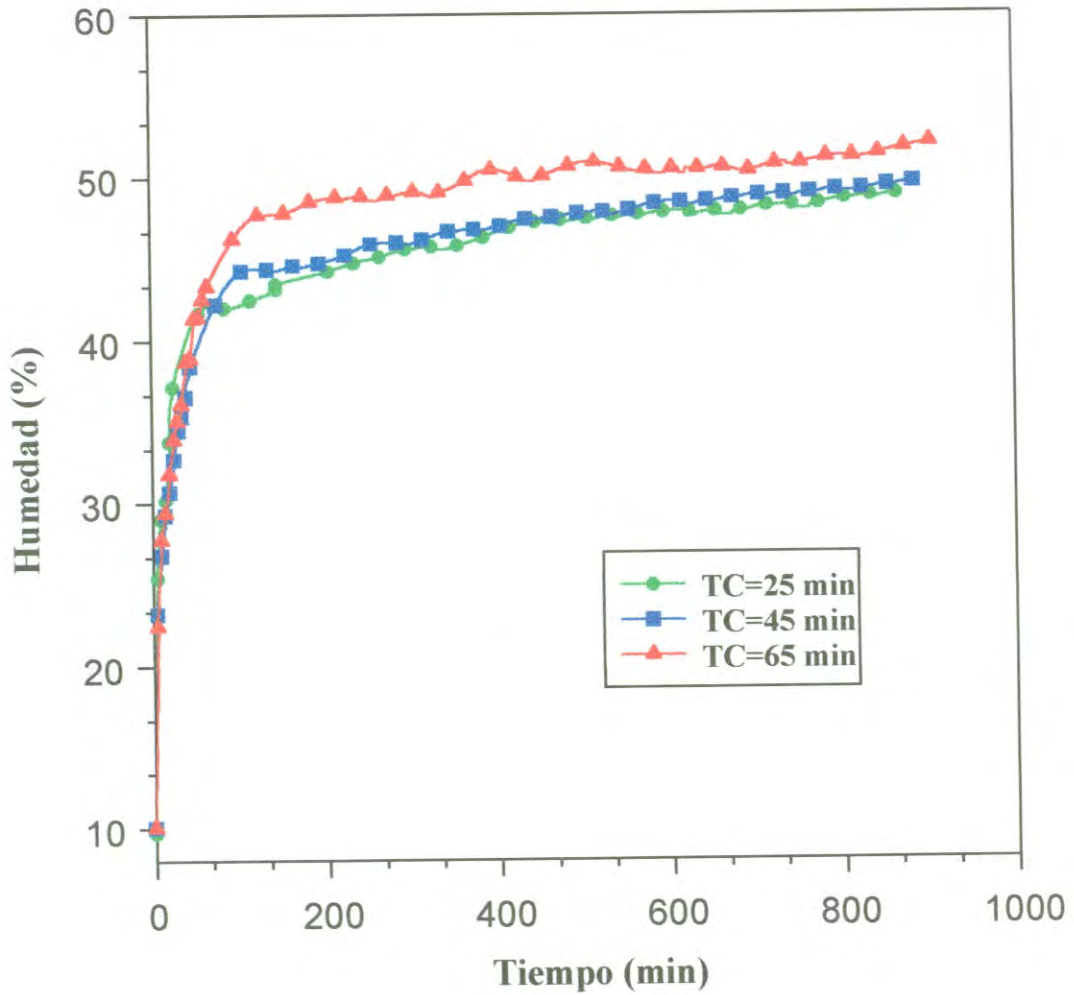


Fig. 12. Absorción de Agua del Maíz Durante las Etapas de Cocimiento y de Reposo.

de humedad de la que tomó durante el tiempo de cocimiento. Aparentemente el tiempo de reposo parece tener la importancia que tiene el tiempo de cocimiento, sin embargo, ese tiempo sirve para una distribución del agua al interior del grano. En la primer hora de reposo, que es aproximadamente el tiempo en que la temperatura del nejayote descendió hasta 60°C, el grano absorbió 6% del 12% de humedad que se absorbe durante el reposo. Durante el resto del tiempo (el período mas largo), el grano absorbe el 6% de la humedad restante.

El comportamiento de la absorción de agua para los diferentes tiempos de cocimiento es similar al mostrado por Gracia y Silva (1992), quienes encontraron que a medida que se incrementó el tiempo de cocimiento, también se incrementa la absorción de agua; y que el grano absorbe el mayor porcentaje de agua en la etapa de cocimiento; el resto de humedad se absorbe principalmente en las primeras 2 h de reposo y el resto en las siguientes 12 h de reposo. Como puede observarse el comportamiento de ambas investigaciones es similar pero no igual, ésto probablemente es debido a que las condiciones en que se encontraba el grano así como su composición química no fue igual.

### **Remoción de Pericarpio**

La Fig. 13 presenta la escala de valores asignados a cada muestra de nixtamal según el grado de remoción de pericarpio. Esta numeración va del 5 al 1 dependiendo del grado de desprendimiento de pericarpio, es decir, el número 5 significó 0% de remoción, 4 a los que presentaron 20 % de remoción y así sucesivamente hasta el 1 que significa 100% de remoción.

Con el propósito de conocer que variables afectaban la remoción de pericarpio, los datos obtenidos de esta prueba fueron sometidos a un análisis de varianza. La Tabla 7 muestra que tanto el tiempo de cocimiento como el tiempo de reposo afectaron muy significativamente a la remoción de pericarpio ( $p < 0.01$ ).



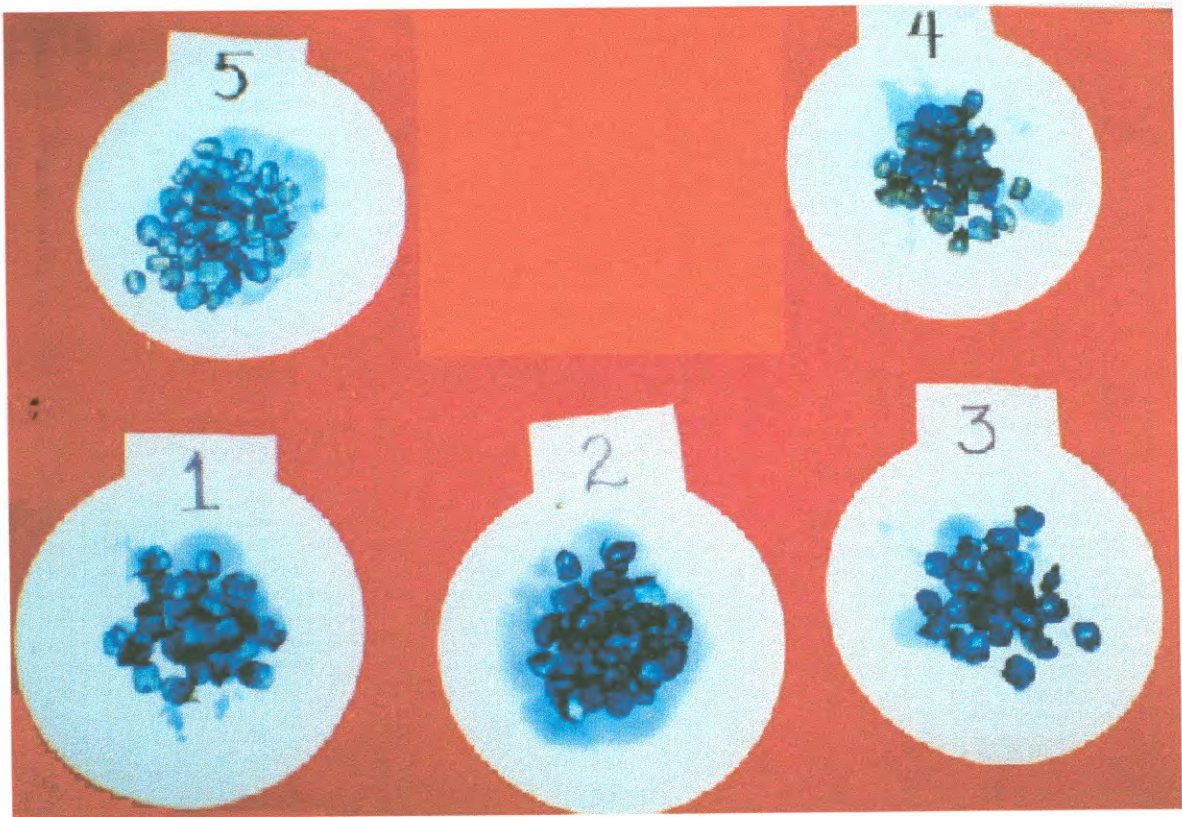


Fig. 13. Remoción de Pericarpio del Maíz, Sometido a Diferentes Tiempos de Cocimiento y de Reposo.

Tabla 7. Análisis de Variancia, Cuadrados Medios de la Remoción de Pericarpio del Maíz Sometido a Diferentes Tiempos de Cocimiento y Tiempos de Reposo.

Fuente de Variación	GL	CM	F
Block (B)	1	0.1875	1.5NS <sup>1</sup>
Tiempo de Cocimiento (TC)	2	1.5833	12.67** <sup>2</sup>
E(TC*B) <sup>3</sup>	2	0.2500	2.00NS
Tiempo de Reposo (TR)	3	18.7430	149.94**
(TC*TR)	6	0.2222	1.78NS
(TR*B)	3	0.0764	0.61NS
E(TC*TR)B <sup>4</sup>	6	0.0556	0.44NS
Replica (R)	1	0.0208	0.17NS
(TC*R)	2	0.0833	0.67NS
(TR*R)	3	0.0208	0.17NS
Error	18	0.1250	

<sup>1</sup>NS= No Significativo a un nivel de 0.05 ( $p > 0.05$ ).

<sup>2</sup>\*\*= Muy significativo a un nivel de 0.01 ( $p < 0.01$ ).

<sup>3</sup>Error de la parcela grande.

<sup>4</sup>Error de la subparcela.

La Tabla 8 presenta el efecto del tiempo de cocimiento sobre la remoción de pericarpio. Se puede observar que a medida que se incrementó el tiempo de cocimiento el valor de la escala, fue decreciendo; es decir hubo una mayor remoción de pericarpio.

Los resultados de la remoción de pericarpio con el tiempo de reposo se presentan en la Tabla 9. A mayor tiempo de reposo se incrementó la remoción de pericarpio; se puede observar que a 0 tiempo de reposo prácticamente no hubo desprendimiento de pericarpio, mientras que con 14 h de reposo hubo 100% de desprendimiento.

Lo anterior puede ser debido a que al aumentar el tiempo de cocimiento y el tiempo de reposo, hay más incremento de temperatura y absorción de agua, lo cual ocasiona que haya más reacciones químicas entre los componentes del grano (fibra principalmente) y de estos componentes con el calcio del agua de cocimiento; lo cual permite que el pericarpio sea desprendido.

## **pH**

La Tabla 10 presenta el efecto del tiempo de cocimiento y el tiempo de reposo sobre el pH del nejayote y del nixtamal. Se puede ver que el tiempo de reposo jugó un papel muy importante sobre el pH.

Nejayote: el Análisis de varianza del pH para nejayote (Tabla 10) mostró que el tiempo de cocimiento afectó muy significativamente ( $p < 0.01$ ) a esta variable, mientras que el tiempo de reposo lo afectó en forma significativa ( $p < 0.05$ ).

Con respecto al tiempo de cocimiento, (Tabla 11) se tuvo que al ir incrementando, el pH fue decreciendo, es decir fue menos alcalino.

Al igual que con el tiempo de cocimiento, con el incremento del tiempo de reposo, el pH del nejayote fue menos alcalino (Tabla 12). Entre los tiempos de 5 y 14 h de reposo no hubo diferencia significativa, pero sí entre los tiempos

Tabla 8. Efecto del Tiempo de Cocimiento Sobre la Remoción de Pericarpio del Maíz.

Tiempo de Cocimiento (min)	Remoción de Pericarpio
25	3.44a <sup>1</sup>
45	3.06b
65	2.81b
Promedio Global	3.10
DMS <sup>2</sup>	0.32

<sup>1</sup>Dentro de una misma columna, medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes a un nivel de 0.05 ( $p > 0.05$ ).

<sup>2</sup>Diferencia Mínima Significativa.

Tabla 9. Efecto del Tiempo de Reposo Sobre la Remoción de Pericarpio del Maíz

Tiempo de Reposo (h)	Remoción de Pericarpio
0	4.33a <sup>1</sup>
2	3.67b
5	3.00c
14	1.42d
Promedio Global	3.10
DMS <sup>2</sup>	0.41

<sup>1</sup>Dentro de una misma columna, medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes a un nivel de 0.05 ( $p > 0.05$ ).

<sup>2</sup>Diferencia Mínima Significativa.

Tabla 10. Análisis de Varianza, Cuadrados Medios del pH de Nejayote y Nixtamal, Obtenidos a Diferentes Tiempos de Cocimiento y Tiempos de Reposo.

Fuente de Variación	GL	pH	
		Nejayote	Nixtamal
Bloque (B)	1	1.3035** <sup>3</sup>	0.0271NS
Tiempo de Cocimiento (TC)	2	6.3956**	0.3134**
E(TC*B) <sup>4</sup>	2	0.2182* <sup>2</sup>	0.0541NS
Tiempo de Reposo (TR)	3	1.9389*	0.0337NS
TC*TR	6	0.0355NS <sup>1</sup>	0.0222NS
TR*B	3	0.0994NS	0.0257NS
E(TC*TR)B <sup>5</sup>	6	0.0809NS	0.0523NS
Repetición (R)	1	0.1989NS	0.0363NS
TC*R	2	0.1960*	0.0198NS
TR*R	3	0.0164NS	0.0185NS
ERROR	18	0.0494	0.0205

<sup>1</sup>NS= No significativo a un nivel de 0.05 ( $p > 0.05$ ).

<sup>2</sup>\*= Significativo a un nivel de 0.05 ( $p < 0.05$ ).

<sup>3</sup>\*\*= Muy significativo a un nivel de 0.01 ( $p < 0.01$ ).

<sup>4</sup>Error de la Parcela grande.

<sup>5</sup>Error de la subparcela.

Tabla 11. Efecto del Tiempo de Cocimiento Sobre el pH del Nejayote y Nixtamal.

Tiempo de Cocimiento (min)	pH	
	Nejayote	Nixtamal
25	10.21a <sup>1</sup>	6.14b
45	9.22b	6.01b
65	9.031b	6.29a
Promedio Global	9.49	6.15
DMS <sup>2</sup>	0.20	0.13

<sup>1</sup>Dentro de una misma columna, medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes a un nivel de 0.05 ( $p > 0.05$ ).

<sup>2</sup>Diferencia Mínima Significativa.

Tabla 12. Efecto del Tiempo de Reposo  
Sobre el pH del Nejayote.

Tiempo de Reposo (h)	pH
0	10.06a <sup>1</sup>
2	9.42b
5	9.34b,c
14	9.13c
Promedio Global	9.49
DMS <sup>2</sup>	0.26

<sup>1</sup>Dentro de una misma columna, medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes a un nivel de 0.05 ( $p > 0.05$ ).

<sup>2</sup>Diferencia Mínima Significativa.



de 0 y 2 h. Los resultados obtenidos fueron muy similares a los reportados por Vásquez (1995) en cuanto a la tendencia del pH con los cambios de tiempos de cocimiento, los cuales fueron de 11.4, 11.3 y 11.1 para 25, 45 y 65 min de cocimiento, respectivamente. Sin embargo, en cuanto a valor numérico, en ese trabajo se obtuvo un valor promedio de 9.49; siendo un valor inferior al reportado por Gracia y Silva (1992), y Vásquez (1995) que fue de 11.01 y 11.3, respectivamente; lo anterior puede deberse a que no se utilizó el mismo lote de cal ni en el mismo tiempo, es decir que el grado de reactividad de esta sustancia pudo haber variado por el lote, la marca y el tiempo en que sea utilizado.

Nixtamal: la Tabla 10 muestra que el pH del nixtamal fue afectado muy significativamente por el tiempo de cocimiento.

En la Tabla 11 se observa que los valores de pH tuvieron una tendencia a incrementar con los tiempos de cocimiento, aunque para los tiempos de cocimiento de 25 y 45 min no hubo diferencias significativas.

En cuanto a literatura consultada, se encontró que los valores promedios que reportan Orozco (1995) y Vásquez (1995) son de 7.97 y 8.1, valores superiores a los aquí encontrados de 6.15. El pH del maíz antes de la nixtamalización fue de 5.6, y tomando en cuenta que el medio en que se coce el grano es alcalino, sería de esperarse que el resultado al final del procesamiento, para pH de nejayote y nixtamal fueran parecidos, lo cual no sucede. Esto posiblemente se debe a que el grano posee dentro de sus componentes una barrera que impide la penetración de mas calcio.

### **Estudio Preliminar para Seleccionar los Tiempos de Reposo**

Actualmente no hay información referente al momento exacto en que se forma la masa, por lo que se trató de probar si se podría obtener masa sin someter al nixtamal a tiempo de reposo. Una vez estudiado algunos cambios que sufre el maíz con los diferentes tiempos de cocimiento y de reposo, la siguiente etapa de la investigación consistió en determinar en que condiciones

se iniciaba la formación de la masa. Al igual que otros investigadores (Gracia, 1992; Vásquez, 1995 y Ramirez, 1994) se encontró, que con éstos tiempos de cocimiento no había problemas para que se formara la masa. Sin embargo, en cuanto a los tiempos de reposo, la literatura reporta únicamente que se ha trabajado con uno de 14 h. En esta investigación se propuso trabajar con 4 tiempos de reposo: 0, 2, 5 y 14 h. Estos tiempos de reposo serían trabajados para cada uno de los tiempos de cocimiento.

De acuerdo a los primeros resultados que se obtuvieron se observó que sería imposible que se formara la masa con algunos de los tiempos de reposo. Además con el diseño de experimentos que sería utilizado con los diferentes tiempos de cocimiento y reposo, el número de tratamientos sería demasiado grande para llevarlos a cabo experimentalmente. Esto debido al gran trabajo que se requería llevar a cabo.

Debido a lo anterior, se procedió con otra estrategia que consistió en utilizar únicamente el tiempo de cocimiento de 65 min y se le dió 0 ó 2 horas de reposo y se procedió a moler el nixtamal.

Se observó que para los tiempos de reposo de 0 y 2 horas se obtenía un material "crudo" sin cohesividad, comparada con una masa formada; a ese material se le hizo un análisis de mallas.

Fraccionación de las Masas. La Fig. 14 muestra que, para poder obtener masa y tortilla siguiendo el método tradicional, la mayor cantidad de materia debe tener un tamaño de partícula menor a malla 100 (fondo). Esto no se presentó para los tratamientos de 65 min de cocimiento y tiempo de reposo de 0 y 2 h.

Al intentar obtener masas de nixtamal con grano sometido a tiempo de cocimiento de 65 min y tiempos de reposo de 0 y 2 h se tuvieron los siguientes problemas:

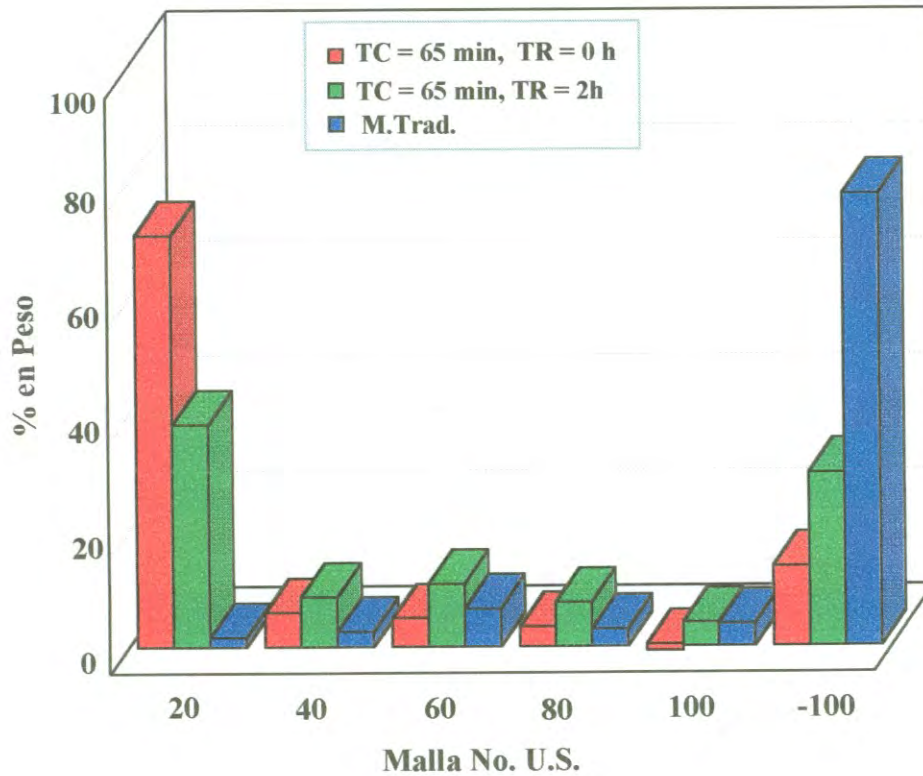


Fig. 14. Material Retenido en las Diferentes Mallas , de las Masas Obtenidas a 65 min. de Cocimiento y Diferentes Tiempos de Reposo.

1. La temperatura en el molino se incrementó aproximadamente a 70°C, debido a que el grano no se encontraba totalmente húmedo, su pericarpio no se desprendió y por lo tanto fue más duro, necesitándose cerrar más las piedras volcánicas de los molinos, ocasionando el incremento en la fricción y ésto a su vez generó más calor.

2. Se aumentó la adición de agua al momento de moler para reducir el incremento de temperatura. Esta agua por el mismo calentamiento se eliminó en forma de vapor.

3. La pasta obtenida de la molienda de este grano fue seca, con pedazos enteros de pericarpio y endospermo.

Debido a lo anteriormente expuesto, fue imposible la elaboración de tortillas, por lo que se planteó no efectuar las corridas para los tiempos de cocimiento de 25, 45 y 65 min y los tiempos de reposo de 0 y 2 h.

### **Humedad Final del Nixtamal**

Con la finalidad de conocer el efecto del tiempo de cocimiento y el tiempo de reposo sobre la humedad final del nixtamal, se llevó a cabo un ANDEVA de los datos obtenidos. Los resultados se muestran en la Tabla 13, el tiempo de cocimiento fue el único factor que afectó significativamente a la humedad final del nixtamal.

La Tabla 14 muestra que al incrementar el tiempo de cocimiento la humedad del nixtamal fue incrementando de 50.61 a 51.38 y 52.08 % para 25, 45 y 65 min de cocimiento, respectivamente; esta tendencia también se observó en el trabajo desarrollado por Vásquez (1995) quien trabajó con los mismos tiempos. Con respecto a la humedad promedio para el nixtamal de esta investigación fue de 51.36%; valor que se encuentra entre el rango de humedad óptima reportada por Rooney y Serna-Saldivar (1987), y Ramírez (1989).

Tabla 13. Análisis de Varianza, Cuadrados Medios de Humedades de Nixtamal, Obtenido a Diferentes Tiempos de Cocimiento y Reposo.

Fuente de Variación	GL	Humedades (%)
Tiempo de Cocimiento (TC)	2	6.4838* <sup>2</sup>
Tiempo de Reposo (TR)	1	52.08X10-6NS <sup>1</sup>
Bloque (B)	1	1.7461NS
Repetición (R)	2	2.3182NS
TC*TR	2	1.5343NS
E(TC*B) <sup>4</sup>	2	4.9896*
TR*B	1	42.3326*** <sup>3</sup>
TC*R	4	1.5562NS
TR*R	2	0.6066NS
E(TC*TR)B <sup>5</sup>	2	22.7455**
Error	16	1.0476

<sup>1</sup>NS= No significativo a un nivel de 0.04 ( $p>0.05$ ).

<sup>2</sup>\*= Significativo a un nivel de 0.05 ( $p<0.05$ ).

<sup>3</sup>\*\*= Muy Significativo a un nivel de 0.01 ( $p<0.01$ ).

<sup>4</sup>Error de la parcela grande.

<sup>5</sup>Error de la subparcela.

Tabla 14. Efecto del Tiempo de Cocimiento  
Sobre la Humedad del Nixtamal.

Tiempo de Cocimiento (min)	Humedad (%)
25	50.61b <sup>1</sup>
45	51.39a,b
65	52.08a
Promedio Global	51.36
DMS <sup>2</sup>	1.08

<sup>1</sup>Dentro de una misma columna, medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes a un nivel de 0.05 ( $p > 0.05$ ).

<sup>2</sup>Diferencia Mínima Significativa.

Con respecto al efecto del tiempo de reposo sobre la humedad final del nixtamal, se obtuvo un ligero aumento del 0.003% de 5 a 14 h de reposo, el cual no fue considerado estadísticamente diferente (Tabla 15). Lo anteriormente discutido da idea de que es factible trabajar con el nixtamal, con tiempo de reposo de 5 h para la obtención de tortilla, ya que no hay diferencia ( $p < 0.05$ ) entre los dos tiempos de reposo evaluados.

### **Pérdida de Sólidos**

La determinación de pérdida de sólidos totales se le efectuó al nejayote, al cual se le adicionó el agua de los dos lavados dados al nixtamal. De los datos obtenidos de esta determinación se procedió a realizar un ANDEVA, cuyo resultado se muestra en la Tabla 16. El del tiempo de reposo afectó muy significativamente ( $p < 0.01$ ) a la pérdida de sólidos, así como la interacción del tiempo de cocimiento y tiempo de reposo.

En la Fig. 15 se presentan las tendencias de las pérdidas de sólidos a los diferentes tiempos de cocimiento y tiempos de reposo. Para tiempos de reposo de 14 h, la tendencia fue en aumento a medida que aumentó el tiempo de cocimiento; en tanto que, con 5 h de reposo el comportamiento fue en descenso de 25 a 45 min de cocimiento, aumentando posteriormente de 45 a 65 min de cocimiento. Por otra parte, se ve que al incrementarse el tiempo de cocimiento y el tiempo de reposo las pérdidas aumentan. Esto es debido a que al incrementarse el tiempo de cocimiento y tiempo de reposo se aumentó también la humedad (Tablas 14 y 15), ocasionando: incremento en el daño térmico y mas tiempo de reacción de los componentes del grano, provocando que se favorezca la salida de material soluble y por lo tanto mas pérdidas. Lo anteriormente discutido, es una de las razones principales para disminuir los tiempos de reposo.

El promedio global de las pérdidas de sólidos fue de 5.38%. El valor promedio encontrado para la pérdida de sólidos, fue similar al reportado por

Tabla 15. Efecto del Tiempo de Reposo Sobre la Humedad del Nixtamal.

Tiempo de Reposo (h)	Humedad (%)
5	51.36a <sup>1</sup>
14	51.36a
Promedio Global	51.36
DMS <sup>2</sup>	0.72

<sup>1</sup>Dentro de una misma columna, medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes a un nivel de 0.05 ( $p > 0.05$ ).

<sup>2</sup>Diferencia Mínima Significativa.



Tabla 16. Análisis de Varianza, Cuadrados Medios de la Pérdida de Sólidos de Nejayote y Agua de Lavados.

Fuente de Variación	GL	Pérdida de Sólidos(%)
Bloque (B)	1	1.6723* <sup>2</sup>
Tiempo de Cocimiento (TC)	2	0.4804NS <sup>1</sup>
E(TC*B) <sup>4</sup>	2	0.3258NS
Tiempo de Reposo (TR)	1	22.5008** <sup>3</sup>
TC*TR	2	4.2475**
TR*B	1	1.2735*
E(TC*TR)B <sup>5</sup>	2	2.3759**
Error	24	0.2767

<sup>1</sup>NS= No significativo a un nivel de 0.05 ( $p > 0.05$ ).

<sup>2</sup>\*= Significativa a un nivel de 0.05 ( $p < 0.05$ ).

<sup>3</sup>\*\*= Muy significativo a un nivel de 0.01 ( $p < 0.01$ ).

<sup>4</sup>Error de la parcela grande.

<sup>5</sup>Error de la suparcela.

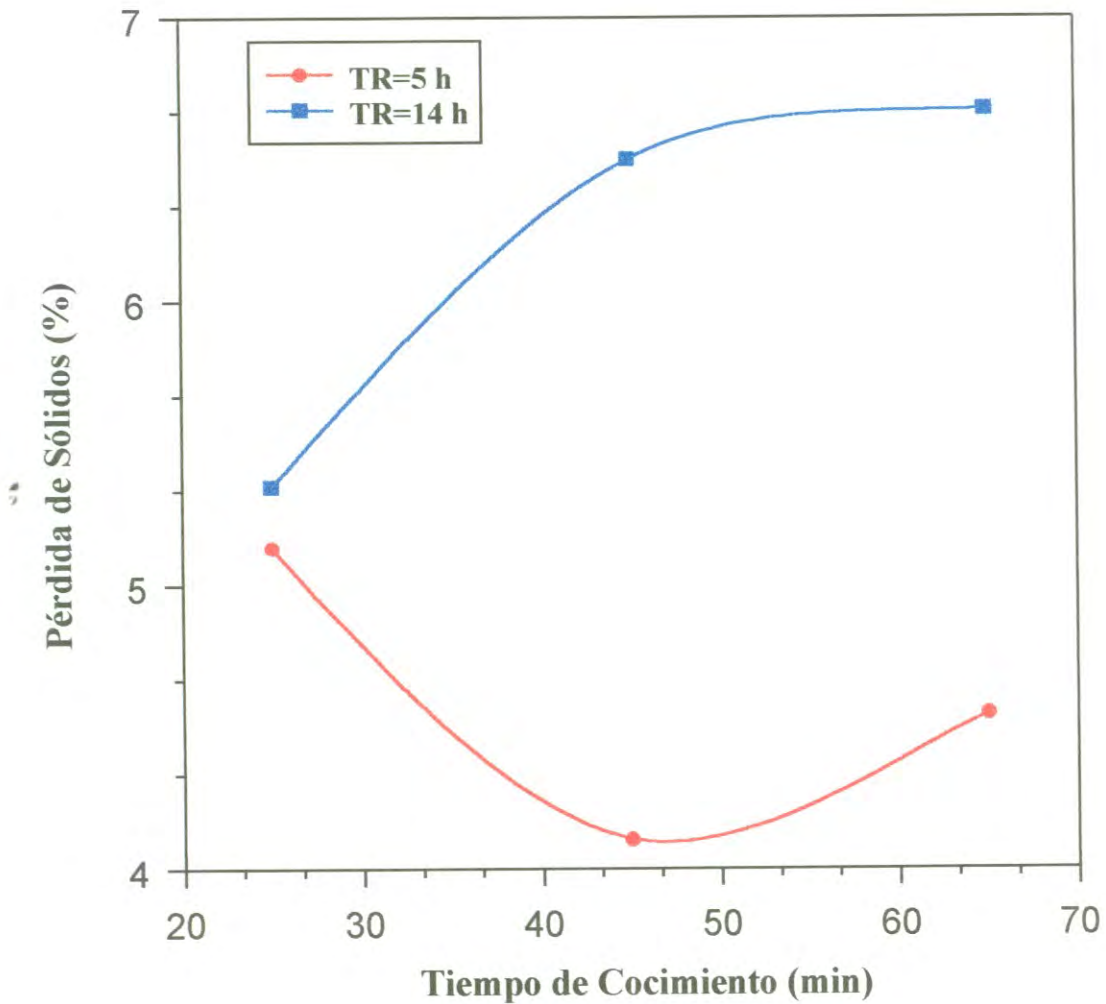


Fig. 15. Pérdida de Sólidos en el Nejayote Obtenidos a Diferentes Tiempos de Cocimiento y Tiempos de Reposo.

Campas (1997), que fue de 4.96; pero inferior al reportado por otros investigadores como Ramírez (1989), Vásquez (1995) y, Gracia y Silva (1992), que presentaron valores de 7.8, 6.63 y 7.75%, respectivamente. Esto puede deberse a que las características y condiciones físicas del grano no fueron similares.

## **Humedad y Textura de las Masas**

### **Humedad de la Masa**

La Tabla 17 muestra que tanto el tiempo de cocimiento como el tiempo de reposo afectaron muy significativamente ( $p < 0.01$ ), a la humedad de la masa.

La Fig. 16 presenta el efecto del tiempo de cocimiento y el tiempo de reposo. La tendencia de estas curvas es que al incrementar los tiempos de cocimiento la humedad aumenta independientemente del tiempo de reposo. Por otro lado, para 5 min de cocimiento, las humedades fueron mayores para el tiempo de reposo de 14 h que para el de 5, sin embargo, para los tiempos de 45 y 65 min de cocimiento la humedad fue mayor para el tiempo de reposo de 5 h que para el tiempo de 14 h. La humedad promedio de la masa fue de 59.65%, este valor es superior al reportado por Rooney y Col (1990) de 52 a 55% y el rango presentado por otros investigadores como: Ramírez (1989), Ortega (1992) y Vásquez (1995) de 42.9 a 56%.

Los contenidos de humedad de las masas no siguieron un patrón determinado como lo reportan los anteriores investigadores. Esto probablemente fue debido a que en este trabajo, las humedades fueron ajustados por el operador de la tortillería comercial de una manera empírica, por lo que se le agregaba agua al molino dependiendo de que tan “seca” o “pegajosa” sentía la masa, o bien para reducir el calentamiento de las piedras al momento de la molienda del nixtamal. Entre menos tiempo de reposo, había mas calentamiento

Tabla 17. Análisis de Varianza, Cuadrados Medios de Humedades de Masa, Obtenida a Diferentes Tiempos de Cocimiento y Reposo.

Fuente de Variación	GL	Humedad (%)
Tiempo de Cocimiento (TC)	2	42.9065*** <sup>2</sup>
Tiempo de Reposo (TR)	1	4.0246**
Bloque (B)	1	6.7276**
Repetición (R)	2	0.0051NS <sup>1</sup>
TC*TR	2	6.7982**
E(TC*B) <sup>3</sup>	2	0.2769**
TR*B	1	2.7138**
TC*R	4	0.0310NS
TR*R	2	0.0446NS
E(TC*TR)B <sup>4</sup>	2	4.1547**
Error	16	0.0407

<sup>1</sup>NS= No significativo a un nivel de 0.05 ( $p > 0.05$ ).

<sup>2</sup>\*\*= Muy Significativo a un nivel de 0.01 ( $p < 0.01$ ).

<sup>3</sup>Error de la parcela grande.

<sup>4</sup>Error de la subparcela.

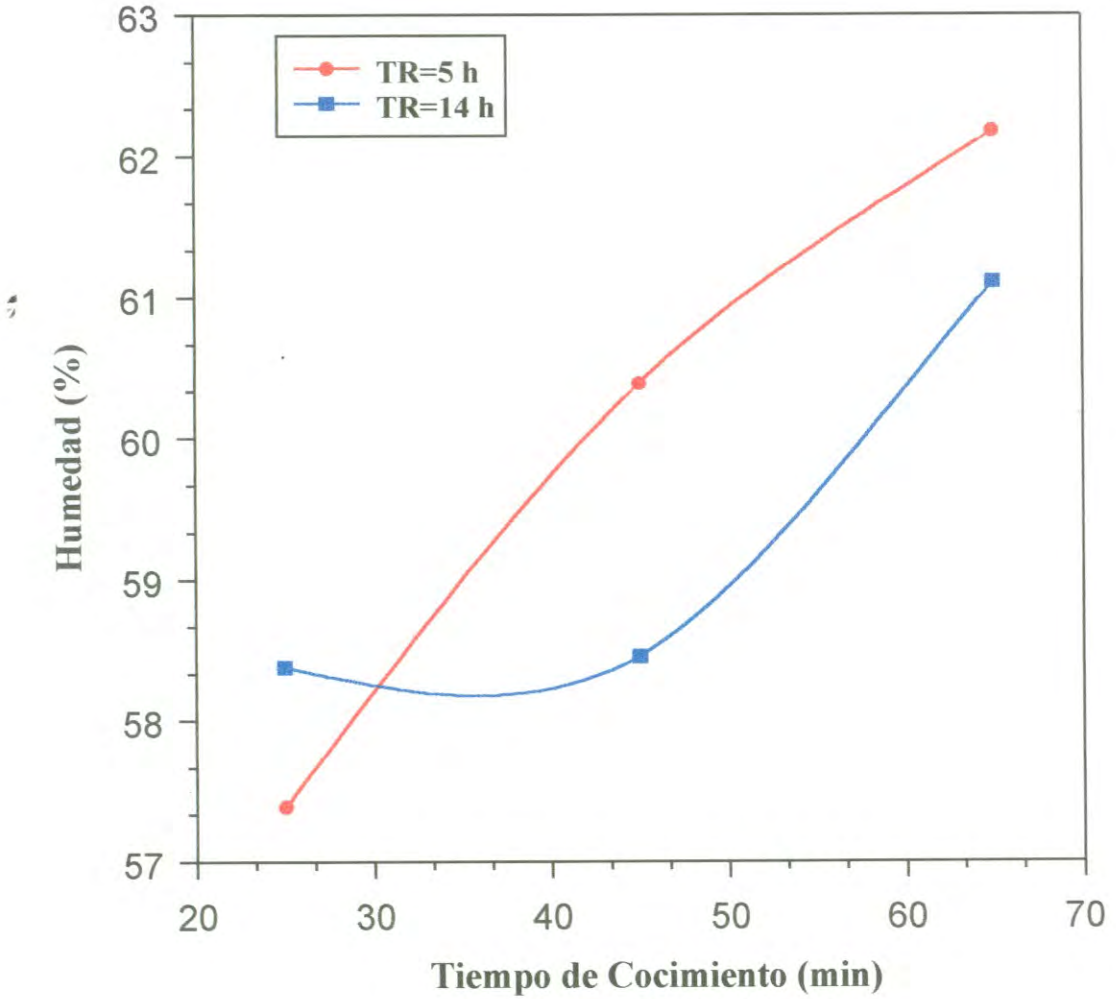


Fig. 16. Efecto del Tiempo de Cocimiento y Tiempo de Reposo Sobre la Humedad de la Masa.

de las piedras (aproximadamente 50°C). Estos ajustes fueron necesarios ya que de otra manera no se hubieran podido elaborar las diferentes masas.

### **Cohesividad**

La Cohesividad o “correa” de la masa, como lo llaman los molineros de las tortillerías pequeñas; se define como las fuerzas internas que tiene una masa. Esta propiedad, es evaluada por los tortilleros comprimiendo las masas entre los dedos, pero en el presente trabajo se efectuó utilizando un instrumento mecánico descrito previamente (Fig. 8).

El análisis de varianza efectuado para los datos obtenidos de la prueba de cohesividad (Tabla 18), mostró que tanto el tiempo de cocimiento como el tiempo de reposo tuvieron un efecto muy significativaivo ( $p < 0.01$ ), sobre esta característica, así como su interacción.

Independientemente del tiempo de reposo, al incrementar el tiempo de cocimiento, también aumentó la cohesividad (Fig. 17); observándose que de 25 a 45 min y de 45 a 65 min de cocimiento se obtuvo un incremento de 19.81 y 10.03%, respectivamente, en la cohesividad de la masa. Lo anterior puede deberse a que conforme se incrementa el tiempo de cocimiento se desarrollan mas cambios químicos, principalmente del almidón del maíz, que posiblemente serán los responsables de formar las fuerzas de cohesión de las masas.

Por otro lado, para cualquier tiempo de cocimiento se tuvo que al aumentar el tiempo de reposo de 5 a 14 h se redujo la cohesividad de la masa. El comportamiento de la cohesividad fue muy similar al desarrollado para la adhesividad así como del contenido de humedad de las masas, de este mismo trabajo.

Actualmente no se tiene referencia de trabajos efectuados con el mismo tipo de masas, por lo que no es posible hacer una comparación. Sin embargo,

Tabla 18. Análisis de Varianza, Cuadrados Medios de Cohesividad de Masas Obtenidas a Diferentes Tiempos de Cocimiento y de Reposo.

Fuente de Variación	GL	Cohesividad (g/pza)
Bloque (B)	1	31.0249* <sup>2</sup>
Tiempo de Cocimiento (TC)	2	377.1813** <sup>3</sup>
E(TC*B) <sup>4</sup>	2	112.1680**
Tiempo de Reposo (TR)	1	237.5708**
TC*TR	2	88.2950**
TR*B	1	48.3025*
E(TC*TR)B <sup>5</sup>	2	138.5889**
Repetición (R)	2	10.6524NS <sup>1</sup>
TC*R	4	2.7267NS
TR*R	2	5.0227NS
Error	16	5.6791

<sup>1</sup>NS= No significativo a un nivel de 0.05 ( $p > 0.05$ ).

<sup>2</sup>\*= Significativo a un nivel de 0.05 ( $p < 0.05$ ).

<sup>3</sup> \*\*= Muy significativo a un nivel de 0.01 ( $p < 0.01$ ).

<sup>4</sup>Error de la parcela grande.

<sup>5</sup>Error de la subparcela.

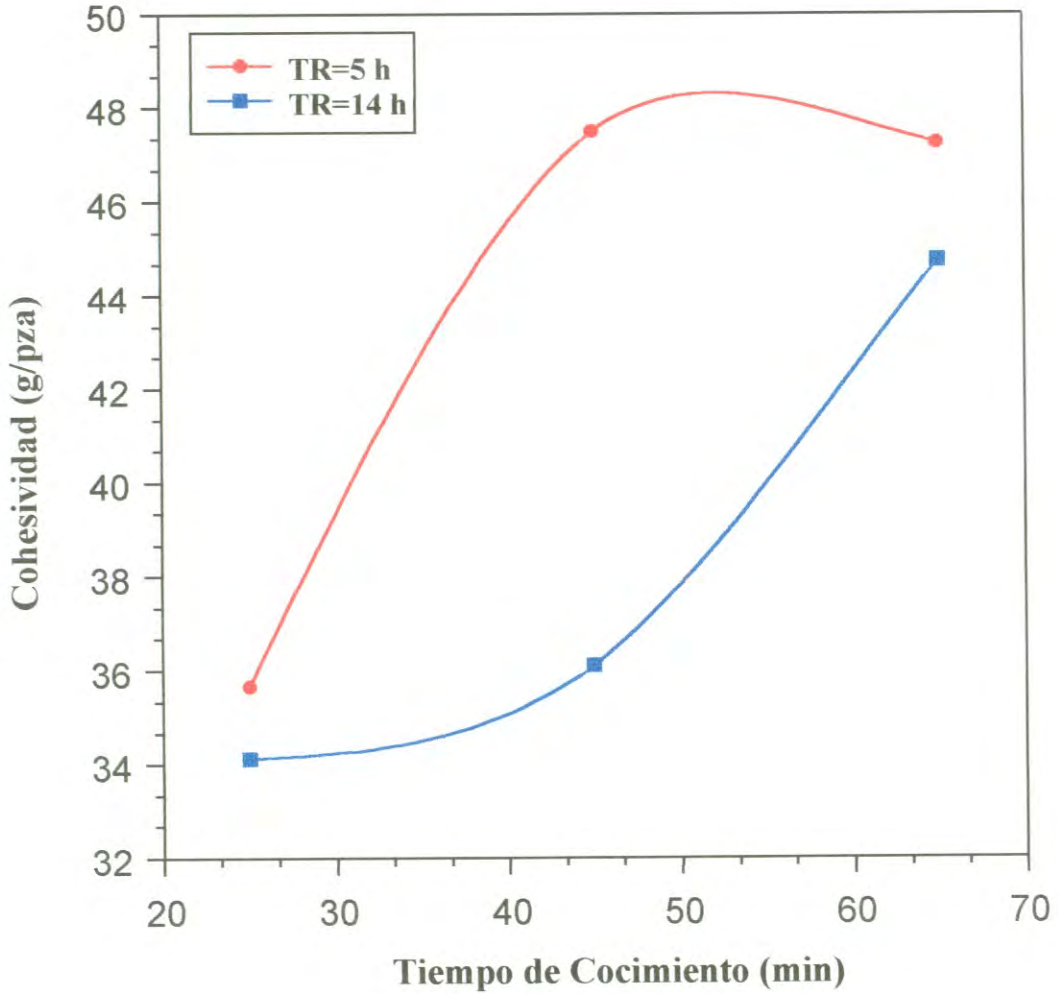


Fig. 17. Efecto del Tiempo de Cocimiento y Tiempo de Reposo Sobre la Cohesividad de la Masa.



se llevó a cabo un trabajo realizado por Matus y Redondo (1997), quienes trabajaron con masas elaboradas con harinas instantáneas. En dicho trabajo los autores utilizan una masa control de 41.56g/pza de cohesividad, valor que se aproxima mucho a el valor promedio aquí obtenido (40.89g/pza). La diferencia en valores puede deberse a que ellos acondicionaron sus masas con ciertos porcentajes de humedad, en tanto que en el presente trabajo se efectuaron diferentes tratamientos de tiempos de cocimientos y tiempos de reposo para obtener el nixtamal. Además, en esta investigación para obtener las masas, el operados de la tortillería agregaba agua de manera empírica cuando el lo consideraba pertinente.

De acuerdo a los industriales de harinas instantáneas de maíz, el valor óptimo para la cohesividad de una masa debería ser de 30 g/pza, ellos sugieren que se trabaje con valores inferiores a 30 g/pza, ya que si es superior se tiene problemas de formación de las torillas, por tener masas muy “pegajosas” (Matus y Redondo, 1997). Esto posiblemente debido a que los componentes químicos del maíz, principalmente el almidón, se encuentran sobrecocidos lo que incrementa las fuerzas de cohesión (Ramírez, 1997).

### **Método de Compresión y Tensión**

El análisis de varianza para las propiedades texturales de las masas evaluadas con el método de compresión y tensión (Ramírez, 1992) obtenido a diferentes tiempos de cocimiento y tiempos de reposo, es presentado en la Tabla 19. Este método evalúa tres propiedades texturales: adhesividad, dureza y el factor de compresión y tensión (FCT).

Adhesividad. Para esta característica la única variable que le afectó significativamente ( $p < 0.05$ ) fue el tiempo de cocimiento. La Tabla 20 muestra que la adhesividad de la masa obtenida con 25 min de cocimiento fue estadísticamente diferente con la obtenida a 65 min; por otro lado, la adhesividad obtenida a 45 min no presentó diferencia con ninguno de los otros dos

Tabla 19. Análisis de Varianza, Cuadrados Medios de las Características Texturales de Masas Obtenidas a Diferentes Tiempos de Cocimiento y de Reposo.

Fuente de Variación	GL	Adhesividad (N-m)	Dureza (N/m <sup>2</sup> )	FCT <sup>1</sup>
Block (B)	1	1.40X10 <sup>-3*3</sup>	1383X10 <sup>6***4</sup>	0.5163**
Tiempo de Cocimiento (TC)	12	1.26X10 <sup>-3*</sup>	1547X10 <sup>6***</sup>	1.3234**
E(TC*B) <sup>5</sup>	22	2.43X10 <sup>-4NS<sup>2</sup></sup>	1622X10 <sup>6***</sup>	0.3908**
Tiempo de Reposo (TR)	21	1.04X10 <sup>-3NS</sup>	1993X10 <sup>5***</sup>	0.6451**
TC*TR	12	8.91X10 <sup>-4NS</sup>	1049X10 <sup>6***</sup>	0.5596**
TR*B	21	3.31X10 <sup>-4NS</sup>	4655X10 <sup>3NS</sup>	0.0085NS
E(TC*TR)B <sup>6</sup>	12	2.26X10 <sup>-6NS</sup>	1452X10 <sup>6***</sup>	1.4522**
Replica (R)	4	4.88X10 <sup>-4NS</sup>	8941X10 <sup>3NS</sup>	0.0899NS
TC*R	8	4.12X10 <sup>-4NS</sup>	2029X10 <sup>4NS</sup>	0.0384NS
TR*R	4	2.27X10 <sup>-4NS</sup>	8441X10 <sup>3NS</sup>	0.0325NS
Error	32	1.05X10 <sup>-2</sup>	1095X10 <sup>4</sup>	0.0626

<sup>1</sup>Factor de Compresión y Tensión

<sup>2</sup>NS= No significativo a un nivel de 0.05 (p>0.05).

<sup>3</sup>\*= Significativo a un nivel de 0.05 (p<0.05).

<sup>4</sup>\*\*= Muy significativo a un nivel de 0.01 (p<0.01).

<sup>5</sup>Error de la parcela grande.

<sup>6</sup>Error de la subparcela.

Tabla 20. Efecto del Tiempo de Cocimiento  
Sobre la Adhesividad de la Masa.

Tiempo de Cocimiento (min)	Adhesividad (N-m)
25	0.019b <sup>1</sup>
45	0.032a,b
65	0.033a
Promedio Global	0.028
DMS <sup>2</sup>	0.014

<sup>1</sup>Dentro de una misma columna, medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes a un nivel de 0.05 ( $p > 0.05$ )

<sup>2</sup>Diferencia Mínima Significativa.

tratamientos. En general, se puede señalar que al incrementar el tiempo de cocimiento la adhesividad también aumentó. Lo anterior puede deberse a que conforme se aumentó el tiempo de exposición del maíz al calor, el almidón se vió mas dañado y hubo mas gelatinización, lo cual ocasionó mas pegajosidad de las masas. Esto favoreció la adhesión de la masa al plato metálico del instrumento de prueba. Este mismo comportamiento o tendencia es reportado por otros investigadores (Ramírez y Col., 1991; Gracia y Silva, 1992; y Vásquez, 1995). Aun cuando ellos trabajaron también con diferentes tiempos de cocimiento, los valores aquí obtenidos son superiores a los que ellos reportan. Esto podría deberse a que se utilizó diferente tipo de equipo para la elaboración de la masa.

Dureza. Otra de las propiedades texturales a la que se le realizó un ANDEVA fue la dureza, el cual se muestra en la Tabla 19. El tiempo de cocimiento, el tiempo de reposo y la interacción entre estas variables afectó muy significativamente a la dureza de la masa.

Para mostrar el efecto del tiempo de cocimiento y el tiempo de reposo sobre a la dureza de la masa, se hizo la Fig. 18. Se observa que para el tiempo de cocimiento de 25 min, la dureza de masas obtenidas con 5 h de reposo fue de mayor magnitud que las de 14 h. Con respecto a los tiempos de 45 y 65 min de cocimiento, la dureza fue mayor para las masas obtenidas con 14 h de reposo, que las obtenidas con 5 h.

Las masas que mostraron mayor dureza fueron las elaboradas con 45 min de cocimiento y 14 h de reposo; y la de menor dureza la de 25 min de cocimiento y 14 h de reposo. Esto puede deberse a que al aumentar el tiempo de cocimiento se expone el maíz a mas temperatura, hay mas gelatinización, más retrogradación y absorción de agua; ocasionando el incremento en la dureza. Lo mismo sucede al aumentar el tiempo de reposo.

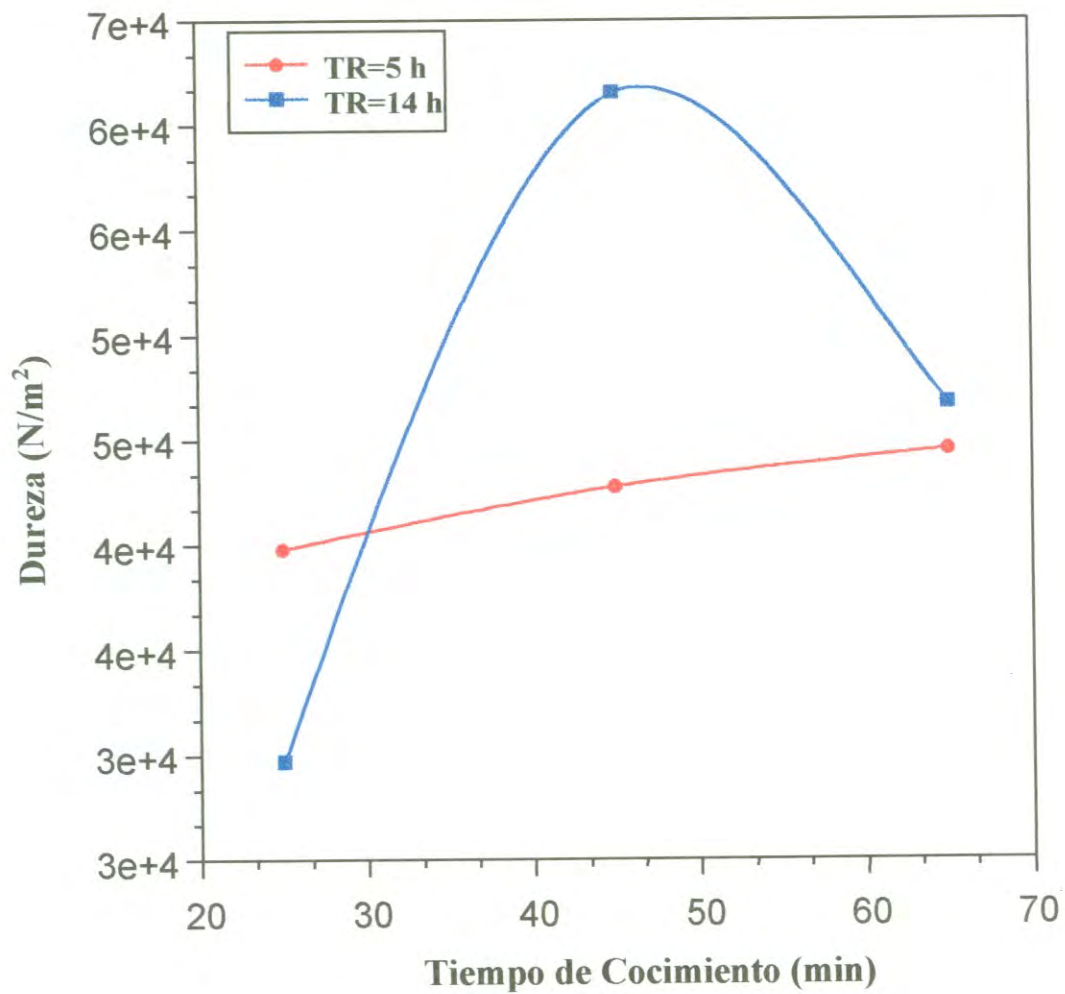


Fig. 18. Efecto del Tiempo de Cocimiento y el Tiempo de Reposo Sobre la Dureza de la Masa.

Los valores de dureza aquí encontrados fueron de menor magnitud que los reportados por Ramírez (1989); Gracia y Silva (1992) y Vásquez, 1995. Esto puede deberse al tipo de tortilladora utilizada y a las condiciones iniciales del maíz.

Factor de Compresión y Tensión (FCT). La última de las características texturales aquí evaluada fue el FCT. La Tabla 19 muestra que el tiempo de cocimiento, el tiempo de reposo y la interacción entre el tiempo de cocimiento y el tiempo de reposo afectaron muy significativamente ( $p < 0.01$ ) a este factor.

La Fig. 19 muestra el efecto de la interacción del tiempo de cocimiento y el tiempo de reposo sobre el FCT. Para masa obtenida con 5 h de reposo, a medida que se aumentaba el tiempo de cocimiento el FCT se vió reducido, aunque la reducción mas notable fue entre 25 y 45 min de cocimiento. Con respecto a 14 h de reposo, el FCT se vió incrementado al aumentar el tiempo de cocimiento de 25 a 45 min, pero disminuyó notablemente al incrementar el tiempo de cocimiento de 45 a 65 min.

Los valores del FCT para todos los tratamientos estuvieron en un rango de 2.1 a 2.5, los cuales fueron similares a los reportados por Ramírez (1989) y Ortega (1992), que fueron de 2 a 2.8 y 2.5 a 3.1, respectivamente; pero fueron inferiores a los reportados por Gracia y Silva (1992) que trabajaron con una tortilladora tipo Celorio. La similitud puede deberse a que las tortillas se obtuvieron en una tortillería de rodillos, donde es adecuado trabajar con masas adhesivas, cosa que no se puede efectuar en tortillerías tipo Celorio donde las masas no pueden ser moldeadas o cortadas por la cuchilla o guillotina con que cuenta el sistema.

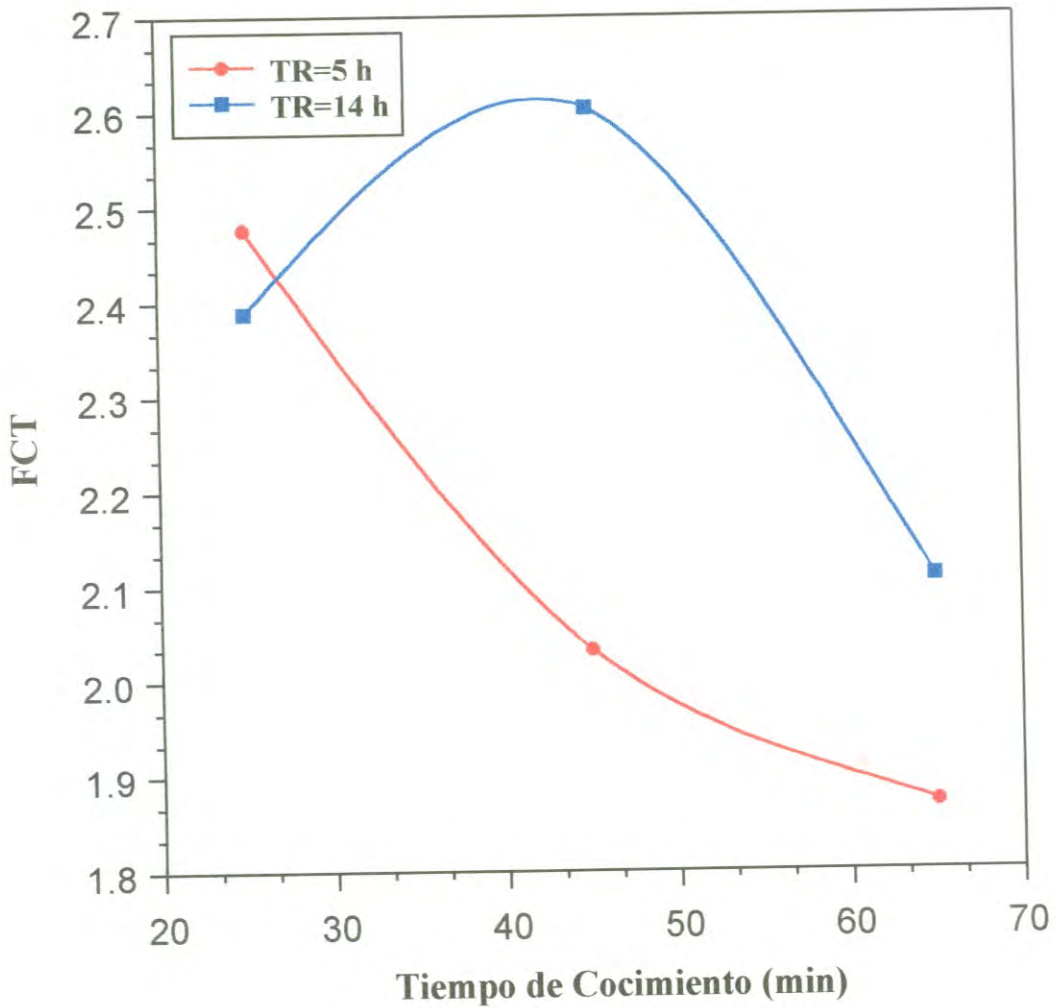


Fig. 19. Efecto del Tiempo de Cocimiento y Tiempo de Reposo Sobre el Factor de Compresión y Tensión de la Masa.

## Propiedades Reológicas de las Masas

Con el propósito de conocer el efecto del tiempo de cocimiento y el tiempo de reposo sobre las propiedades reológicas de las masas, se aplicaron las siguientes técnicas: método de compresión uniaxial con lubricación (Chatrei y col., 1981) y el método de retroextrusión (Osorio y Steffe, 1985).

### Método de Compresión Uniaxial con Lubricación (MCUL)

Con los datos obtenidos de los diferentes tratamientos, aplicando el MCUL, se calcularon: la viscosidad elongacional (ec. 12) y la velocidad de deformación radial (ecs. 8 y 11).

En la Fig. 20 se encuentra graficada la Viscosidad Elongacional vs Velocidad de Deformación Radial. Para cualquier tiempo de cocimiento y tiempo de reposo la mayoría de las masas estuvo en un mismo rango de Viscosidad Elongacional, excepto la masa obtenida bajo las condiciones de 45 min de cocimiento y 14 h de reposo. Por otro lado, en esta misma Fig. se puede observar que para los tiempos de 25 y 45 min las masas obtenidas con 14 h de reposo presentaron mayor viscosidad que las obtenidas con 5 h. Esto pudiera deberse a que fue mayor el tiempo de contacto del grano con el nejayote, lo que permitió que éste absorbiera más agua y tuviera tiempo suficiente para distribuirla bien en todo el grano, lo cual aunado a la temperatura a la que se expuso; permitió que se presentaran mas cambios químicos entre los componentes del grano, almidón principalmente. Esto permitió una mayor viscosidad de la masa.

Con respecto a 65 min de cocimiento del maíz, se tiene que las masas obtenidas con 5 h de reposo dieron viscosidades de mayor magnitud que las de 14 h. Lo anterior puede ser debido a que con 65 min de cocimiento el almidón del maíz está sobregelatinizado, pero si solo se le da 5 h de reposo no está todo el almidón completamente dañado, ya que posiblemente quedaron gránulos sin dañar. En cambio con 65 min de cocimiento y 14 h de reposo el grano tiene



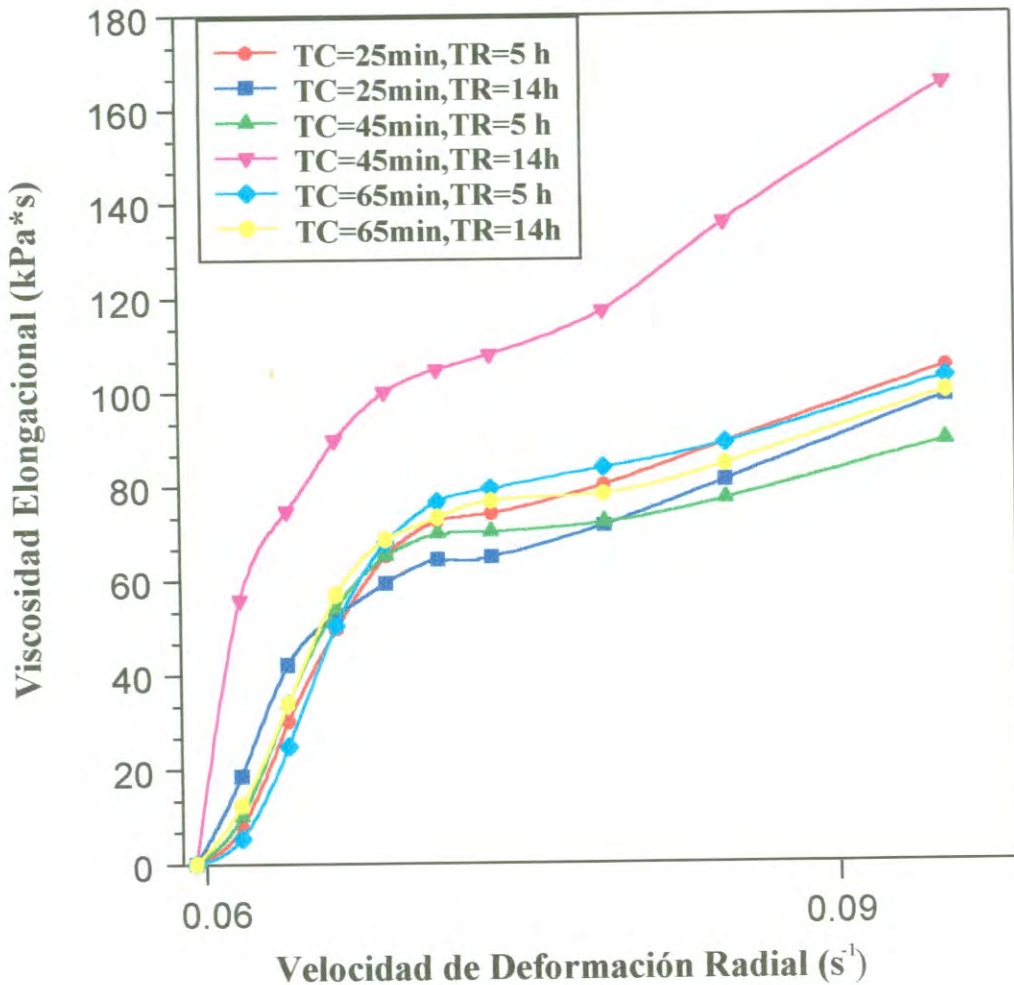


Fig. 20. Viscosidad Elongacional vs Velocidad de Deformación Radial de las Masas, Obtenidas a Diferentes Tiempos de Cocimiento y de reposo.

tiempo suficiente para distribuir el agua en todo el grano y con la temperatura el almidón será dañado casi totalmente lo que ocasionará que la viscosidad resultante sea menor a la de masas obtenidas a 65 min de cocimiento y 5 h de reposo.

Al igual que en otras investigaciones, el comportamiento reológico de las masas de maíz aquí estudiadas, fue muy similar. Es decir, que después de un flujo transiente, la viscosidad alcanza un valor máximo, el cual aumenta en menor magnitud al aumentar la deformación radial. Ahora bien, con respecto a la magnitud de la viscosidad, se puede decir que la viscosidad aquí obtenida fue similar a la de Gracia y Silva (1992), pero inferior a la reportada por Ramírez (1996) y Ortega (1992). Esto probablemente se debió a las condiciones en que se obtuvieron las masas, y a las velocidades de cabezal utilizadas en el Texturómetro.

### **Método de Retroextrusión**

El análisis de varianza de las propiedades reológicas de las masas evaluadas con el método de retroextrusión aplicado a la Ley de la Potencia (ec. 1) es presentado en la Tabla 21. Este método evalúa: el Índice de flujo (ec. 13) y el Índice de consistencia (ec. 15). El tiempo de cocimiento y el tiempo de reposo afectaron significativamente ( $p < 0.05$ ) al Índice de flujo (n).

La Tabla 22 presenta el efecto del tiempo de cocimiento sobre el Índice de Flujo, aquí se muestra que el valor máximo para n se obtuvo a 25 min de cocimiento y el menor a 45 min. Entre los tiempos de 45 y 65 no hubo efecto significativo, pero a 25min con respecto a 45 y 65 si hay diferencia.

Con respecto al efecto del tiempo de reposo (Tabla 23), el tiempo de 5 h de reposo presentó el valor máximo para el Índice de Flujo, y el menor a 14 h de reposo. Entre los tiempos de reposo de 5 y 14 h hay una diferencia del 17%.

Tabla 21. Análisis de Varianza, Cuadrados Medios de Algunas Propiedades Reológicas de Masas de Maíz, Obtenidas a Diferentes Tiempos de Cocimiento y de Reposo.

Fuente de Variación	GL	Propiedades Reológicas	
		Indice de Flujo (n)	Indice de Consistencia (Pa*s <sup>n</sup> )
Bloque (B)	1	13.14X10 <sup>-3</sup> NS <sup>1</sup>	25.3464NS
Tiempo de Cocimiento (TC)	2	18.63X10 <sup>-3</sup> * <sup>2</sup>	5.8201NS
E(TC*B) <sup>3</sup>	2	16.37X10 <sup>-3</sup> NS	26.1185NS
Tiempo de Reposo (TR)	1	33.49X10 <sup>-3</sup> * <sup>2</sup>	56.2402NS
TC*TR	2	56.44X10 <sup>-4</sup> NS	1.9538NS
E(TC*TR)B <sup>4</sup>	3	11.22X10 <sup>-3</sup> NS	32.9986NS
Repetición (R)	2	11.05X10 <sup>-3</sup> NS	15.5653NS
TC*R	4	13.50X10 <sup>-3</sup> NS	28.3480NS
TR*R	2	69.88X10 <sup>-4</sup> NS	43.2024NS
Error	16	49.28X10 <sup>-4</sup>	15.0091

<sup>1</sup>NS= No significativo a un nivel de 0.05 (p>0.05).

<sup>2</sup>\*= Significativo a un nivel de 0.05 (p<0.05).

<sup>3</sup>Error de la parcela grande.

<sup>4</sup>Error de la subparcela.

Tabla 22. Efecto del Tiempo de Cocimiento Sobre el Índice de Flujo de Masas de Maíz.

Tiempo de Cocimiento (min)	Índice de Flujo (n)
25	0.37a <sup>1</sup>
45	0.30b
65	0.32a,b
Promedio Global	0.33
DMS <sup>2</sup>	0.07

<sup>1</sup>Dentro de una misma columna, medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes a un nivel de 0.05 ( $p > 0.05$ ).

<sup>2</sup>Diferencia Mínima Significativa.

Tabla 23. Efecto del Tiempo de Reposo Sobre el Índice de Flujo de masas de maíz.

Tiempo de Reposo (h)	Índice de Flujo (n)
5	0.36a <sup>1</sup>
14	0.30b
Promedio Global	0.33
DMS <sup>2</sup>	0.05

<sup>1</sup>Dentro de una misma columna, medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes a un nivel de 0.05 ( $p > 0.05$ ).

<sup>2</sup>Diferencia Mínima Significativa.

Con base en los valores obtenidos para  $n$ , se puede decir que la masa de maíz presenta comportamiento reológico de un material pseudoplástico; este resultado fue similar al reportado por Ortega (1992).

## **Humedad y Textura de la Tortilla**

Así como es importante la evaluación de los cambios químicos, físicos y texturales para los diferentes productos del proceso para la elaboración de tortilla, también es muy importante conocer cual es el efecto del tiempo de cocimiento y tiempo de reposo sobre las propiedades físicas y texturales del producto final. Para esto se realizaron algunas determinaciones a la tortilla las cuales fueron: humedad, diámetro, peso, espesor y firmeza.

### **Humedad**

En la Tabla 24 se presenta el ANDEVA para la humedad de la tortilla. Se puede observar que el tiempo de cocimiento afectó muy significativamente ( $p < 0.01$ ), mientras que el tiempo de reposo afectó significativamente ( $p < 0.05$ ) a la humedad de la tortilla.

En la Tabla 25 se presenta el efecto del tiempo de cocimiento sobre la humedad de la tortilla. Al incrementar el tiempo de cocimiento, se incrementa el contenido de humedad de la tortilla, presentándose incrementos de 2.45 y 2.42% para los cambios de tiempos de cocimientos de 25 a 45 y de 45 a 65 min, respectivamente.

Por otro lado, al incrementar el tiempo de reposo de 5 a 14 h la humedad de la tortilla se incrementó en un 0.73% (Tabla 26). Los contenidos de humedad de la tortilla obtenidos en esta investigación fueron similares a los reportados por Gracia y Silva (1992), Vásquez (1995) y Campas (1997).

Tabla 24. Análisis de Varianza, Cuadrados Medios de Humedades de Tortilla, Obtenida a Diferentes Tiempos de Cocimiento y Reposo.

Fuente de Variación	GL	Humedad (%)
Tiempo de Cocimiento (TC)	2	71.2331** <sup>3</sup>
Tiempo de Reposo (TR)	1	4.7921* <sup>2</sup>
Bloque (B)	1	9.2660**
Repetición (R)	2	2.10333NS <sup>1</sup>
TC*TR	2	0.5319NS
E(TC*B) <sup>4</sup>	2	2.1142NS
TR*B	1	20.4468**
TC*R	4	1.6632NS
TR*R	2	0.08125NS
E(TC*TR)B <sup>5</sup>	2	6.1055*
Error	16	1.0636

<sup>1</sup>NS= No significativo a un nivel de 0.04 ( $p > 0.05$ ).

<sup>2</sup>\*= Significativo a un nivel de 0.05 ( $p < 0.05$ ).

<sup>3</sup>\*\*= Muy Significativo a un nivel de 0.01 ( $p < 0.01$ ).

<sup>4</sup>Error de la parcela grande.

<sup>5</sup>Error de la subparcela.

Tabla 25. Efecto del Tiempo de Cocimiento  
Sobre la Humedad de Tortilla.

Tiempo de Cocimiento (min)	Humedad (%)
25	43.44c <sup>1</sup>
45	45.90b
65	48.32a
Promedio Global	45.891
DMS <sup>2</sup>	1.09

<sup>1</sup>Dentro de una misma columna, medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes a un nivel de 0.05 ( $p > 0.05$ ).

<sup>2</sup>Diferencia Mínima Significativa.



Tabla 26. Efecto del Tiempo de Reposo Sobre la Humedad de la Tortilla.

Tiempo de Reposo (h)	Humedad (%)
5	45.52b <sup>1</sup>
14	46.25a
Promedio Global	45.89
DMS <sup>2</sup>	0.73

<sup>1</sup>Dentro de una misma columna, medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes a un nivel de 0.05 ( $p > 0.05$ ).

<sup>2</sup>Diferencia Mínima Significativa.

### Determinaciones Físicas

En la Tabla 27 se presenta el ANDEVA del efecto del tiempo de cocimiento y el tiempo de reposo sobre: diámetro, peso y espesor de la tortilla. El tiempo de cocimiento afectó muy significativamente ( $p < 0.01$ ) al peso, espesor y diámetro. La interacción del tiempo de cocimiento y tiempo de reposo afectaron muy significativamente ( $p < 0.01$ ) al peso y espesor de la tortilla.

La Tabla 28 muestra que entre los diámetros de tortillas obtenidas a 25 y 65 min de cocimiento no hubo diferencia, pero de 25 a 45 y de 45 a 65 sí. El peso de las tortillas obtenidas con los tres tiempos de cocimiento, fueron diferentes estadísticamente. Por otro lado, el espesor de tortillas obtenidas con tiempos de cocimiento de 25 y 45 min no dieron diferencia entre sí, pero si manifestaron diferencia con respecto a las tortillas obtenidas a 65 min.

Los valores promedios aquí obtenidos fueron de 13.44, 24.31 y 1.43 para diámetro, peso y espesor, respectivamente. Estos valores fueron muy similares a los reportados por Ortega (1992), Vásquez (1995), Orozco (1995) y Campas (1997); quienes desarrollaron la investigación en una torillería comercial. En cuanto a los datos reportados por Ramírez (1982), Gracia y Silva (1992) hay una pequeña diferencia posiblemente a que se trabajó con una torillería piloto.

### Firmeza

La firmeza es una de las propiedades texturales de las tortillas y en el presente trabajo fue desarrollada utilizando la prueba que simula la fuerza requerida para romper la tortilla al momento de masticarla. Los datos de esta prueba se sometieron a análisis estadístico (Tabla 29). El tiempo de cocimiento y el tiempo de almacenamiento presentaron efecto muy significativo ( $p < 0.01$ ) sobre la firmeza de la tortilla.

La Fig. 21 muestra que a medida que se incrementó el tiempo de cocimiento, la fuerza requerida para romper la tortilla fue menor. Esto puede deberse a que entre mas tiempo de cocimiento tenga el maíz, habrá mas daño

Tabla 27. Análisis de Varianza, Cuadrados Medios de Algunas Determinaciones Físicas de Tortilla de Maíz Obtenida a Diferentes Tiempos de cimiento y Reposo.

Fuente de Variación	GL	Determinaciones Físicas		
		Diámetro (cm)	Peso (g)	Espesor (mm)
Tiempo de Cocimiento (TC)	2	36.72X10 <sup>-3</sup> * <sup>2</sup>	49.08** <sup>3</sup>	12.29X10 <sup>-2</sup> **
Tiempo de Reposo (TR)	1	24.50X10 <sup>-3</sup> NS <sup>1</sup>	5.98NS	50.00X10 <sup>-5</sup> NS
TC*TR	2	19.50X10 <sup>-3</sup> NS	62.79**	13.40X10 <sup>-2</sup> **
Bloque (B)	1	24.94X10 <sup>-2</sup> **	0.41NS	53.39X10 <sup>-3</sup> *
E(TC*B) <sup>4</sup>	2	26.39X10 <sup>-3</sup> *	46.66**	11.56X10 <sup>-3</sup> NS
TR*B	1	29.39X10 <sup>-3</sup> NS	0.21NS	55.56X10 <sup>-6</sup> NS
Error	156	84.70X10 <sup>-4</sup>	1.62	12.17X10 <sup>-3</sup>

<sup>1</sup>NS= No significativo a un nivel de 0.05 (p>0.05).

<sup>2</sup>\*= Significativo a un nivel de 0.05 (p<0.05).

<sup>3</sup>\*= Muy significativo a un nivel de 0.01 (p<0.01).

<sup>4</sup>Error de la parcela grande.

Tabla 28. Efecto del Tiempo de Cocimiento Sobre Algunas Determinaciones Físicas de las Tortillas.

Tiempo de Cocimiento (min)	Determinaciones Físicas		
	Diámetro (cm)	Peso (g)	Espesor (mm)
25	13.43a,b <sup>1</sup>	23.36c	1.44a
45	13.46a	25.16a	1.47a
65	13.42b	24.43b	1.38b
Promedio Global	13.44	24.32	1.43
DMS <sup>2</sup>	0.04	0.55	0.05

<sup>1</sup>Dentro de una misma columna, medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes a un nivel de 0.05 ( $p > 0.05$ ).

<sup>2</sup>Diferencia Mínima Significativa.

Tabla 29. Análisis de Varianza, Cuadrados Medios de Textura de Tortillas, Obtenidas a Diferentes Tiempos de: Cocimiento, Reposo y Almacenamiento.

Fuente de Variación	GL	Firmeza (Pa)
Tiempo de Cocimiento (TC)	2	29.57X10 <sup>8***3</sup>
Tiempo de Reposo (TR)	1	10.53X10 <sup>7NS</sup> <sup>1</sup>
TC*TR	2	21.98X10 <sup>7**</sup>
Tiempo de Almacenamiento (TA)	2	63.08X10 <sup>7**</sup>
TC*TA	4	28.68X10 <sup>7**</sup>
TR*TA	2	87.12X10 <sup>6NS</sup>
Bloque (B)	1	29.39X10 <sup>7**</sup>
E(TC*B) <sup>4</sup>	2	15.17X10 <sup>6NS</sup>
TR*B	1	26.43X10 <sup>8**</sup>
B*TA	2	15.92X10 <sup>7*2</sup>
TC(TR*TA)	4	69.61X10 <sup>6NS</sup>
Error	156	40.89X10 <sup>6</sup>

<sup>1</sup>NS= No significativo a un nivel de 0.05 (p>0.05).

<sup>2</sup>\*\*= Significativo a un nivel de 0.05 (p<0.05).

<sup>3</sup>\*\*\*= Muy significativo a un nivel de 0.01 (p<0.01).

<sup>4</sup>Error de la parcela grande.

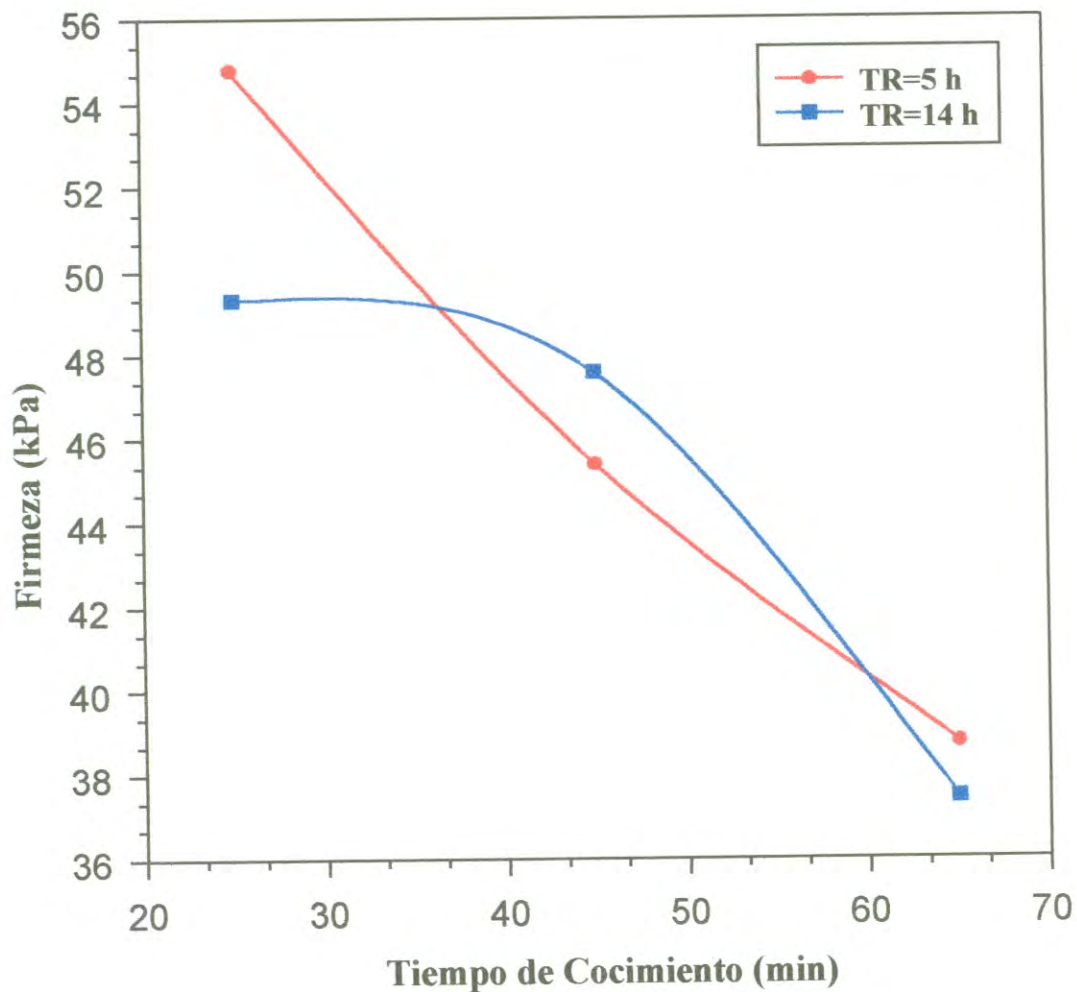


Fig. 21. Efecto del Tiempo de Cocimiento y Tiempo de Reposo Sobre la Firmeza de la Tortilla.

del almidón, mas gelatinización y durante el horneado la retrogradación de la tortilla será mayor. Este mismo comportamiento es reportado por Gracia y Silva (1992) y Vásquez (1995); aunque, los rangos que ellos presentan son de 36 a 45 kPa y de 40 a 60 kPa, mientras que en el presente fue de 38 a 52 kPa. <sup>103</sup>

Para los tiempos de cocimiento de 25 y 65 min se tuvo, que la firmeza de la tortilla fue mayor para las tortillas con 5 h de reposo que las obtenidas con 14; ésto probablemente debido a que el grano de maíz no estaba totalmente hidratado y por lo tanto tenía poca gelatinización con 5 h de reposo; en tanto que los de 14 h presentaran mas hidratación y reducción en la firmeza.

El efecto de la interacción tiempo de cocimiento vs tiempo de almacenamiento se presenta en la Fig. 22, donde se observa que al incrementar el tiempo de almacenamiento de tortillas obtenidas con 25 y 65 min de cocimiento la firmeza también se incrementó. Las tortillas obtenidas con 45 min de cocimiento el comportamietno de la firmeza fue en aumento en las primeras 24 h de almacenamiento, pero a las 48 h de almacenamiento esta firmeza se redujo.

Por otro lado, se observa, que los cambios más drásticos fueron en tortillas elaboradas con 25 min de cocimiento, y que las elaboradas a 65 min de cocimiento presentaron menor firmeza independientemente del tiempo de almacenamiento. Las tortillas obtenidas de masas con diferentes tiempos de cocimiento presentaron diferente humedad (Tabla 25), lo que afectó a la firmeza. Además, se tiene que a mayor gelatinización, mayor retrogradación y mayor firmeza. En este caso, se puede decir que son dos sistemas diferentes y que el efecto de retrogradación no se observa, aunque se esté llevando a cabo.

### **Viscosidades y Temperaturas Amilográficas de los Productos**

Para conocer el efecto de las variables Tipo de producto (TP), tiempo de cocimiento (TC) y tiempo de reposo (TR) en el comportamiento reológico

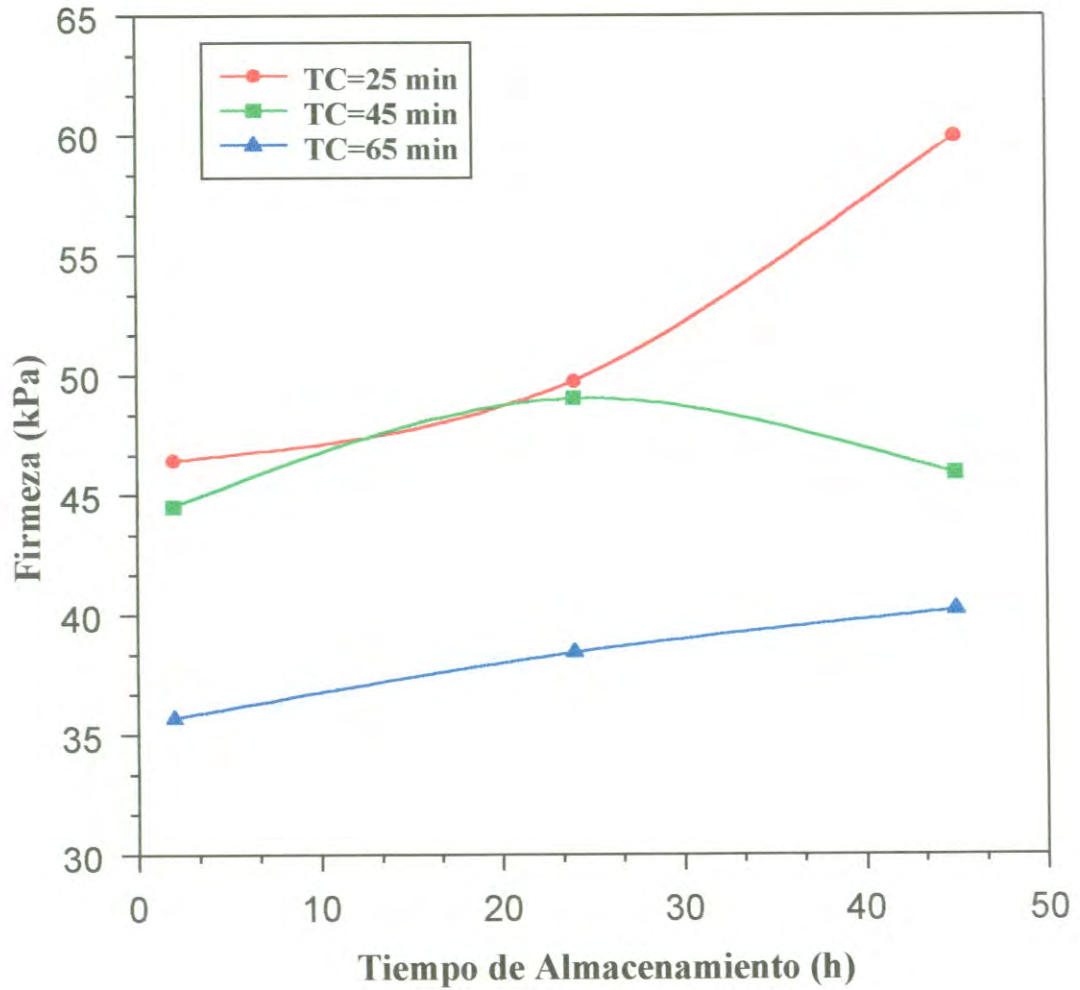


Fig. 22. Efecto del Tiempo de Almacenamiento y Tiempo de Cocimiento Sobre la Firmeza de la Tortilla.



viscosidad, se utilizó el amilógrafo; el cual da un registro de cada una de las etapas del proceso, cuyos cambios repercutirán en las características físico-químicas del producto final. Los resultados obtenidos son presentados a continuación:

### **Temperatura de Transición y Temperatura de Gelatinización**

El análisis de varianza del efecto de tiempo de cocimiento, tiempo de reposo y tipo de producto sobre la temperatura de transición (a la cual comienza a incrementarse la viscosidad medida con el amilógrafo) y la temperatura de gelatinización (temperatura de la máxima viscosidad antes de los 95°C) se presenta en la Tabla 30. La temperatura de transición (TT) fue afectada muy significativamente ( $p < 0.01$ ) por tiempo de cocimiento y tipo de producto; y significativamente ( $p < 0.05$ ) por tiempo de reposo. En cuanto a temperatura de gelatinización (TG), éste fue afectado muy significativamente ( $p < 0.01$ ) por el tipo de producto.

La temperatura de transición del maíz sin procesar fue de 68°C, pero para nixtamal y masa (Tabla 31) difieren de ésta en un 4.4 y 3.8% respectivamente. En tanto que, para temperatura de transición de tortilla ésta descendió únicamente 0.8% con respecto a la de maíz. Entre los productos (nixtamal, masa y tortilla) solamente la tortilla presentó diferencia significativa con respecto a masa y nixtamal. Como se muestra en la Tabla 31, la temperatura de gelatinización para los productos fue en aumento conforme avanzaba el procesamiento, dando diferencia estadística entre ellas.

La Fig. 23 muestra que la tendencia de la temperatura de transición de nixtamal y tortilla fue similar, pero la de nixtamal fue de mayor magnitud. Con respecto a masa éste presentó un incremento en la temperatura de transición conforme se incrementó el tiempo de cocimiento.

Tonella y col. (1983) reportan que la temperatura de transición se ve reducida al procesar el grano, en tanto que Orozco (1995) presenta que de maíz

Tabla 30. Análisis de Varianza, Cuadrados Medios, de las Temperaturas de Nixtamal, Masa y Tortilla, Obtenidos a Diferentes Tiempos de Cocimiento y de Reposo.

Fuente de Variación	GL	Características Reológicas	
		TT <sup>1</sup> (°C)	TG <sup>2</sup> (°C)
Producto (P)	2	83.7951** <sup>5</sup>	124.5339**
Bloque (B)	1	9.3889NS <sup>3</sup>	0.02NS
Tiempo de Cocimiento (TC)	2	371.6076**	15.2443NS
E(TC*B) <sup>6</sup>	2	33.2743NS	3.8262NS
Tiempo de Reposo (TR)	1	82.3472* <sup>4</sup>	14.4006NS
TC*TR	2	7.6285NS	2.7401NS
TR*B	1	0.125NS	0.5339NS
E(TC*TR)B <sup>7</sup>	2	81.6562**	8.3943NS
P*TC	4	139.6233**	17.6672NS
P*TR	2	27.816NS	0.9006NS
TC(P*TR)	4	146.6753**	22.0901*
Repetición(R)	1	14.2222NS	3.2089NS
TC*R	2	60.1076**	0.1526NS
TR*R	1	23.3472NS	9.245NS
Error	44	14.8344	7.0517

<sup>1</sup>Temperatura a la cual empieza a aumentar la viscosidad.

<sup>2</sup>Temperatura de la Viscosidad observada antes de los 95°C.

<sup>3</sup>No significativo a un nivel de 0.05 ( $p > 0.05$ ).

<sup>4</sup>Significativo a un nivel de 0.05 ( $p < 0.05$ ).

<sup>5</sup>Muy significativo a un nivel de 0.01 ( $p < 0.01$ ).

<sup>6</sup>Error de la parcela grande.

<sup>7</sup>Error de la subparcela.

Tabla 31. Temperatura de Transición y Temperatura de Gelatinización de Viscosidad de Nixtamal, Masa y Tortilla, Obtenidos a Diferentes Tiempos de Cocimiento y de Reposo.

Producto	Características Reológicas	
	TT <sup>1</sup>	TG <sup>2</sup>
Nixtamal	70.81a <sup>3</sup>	87.01c
Masa	70.56a	89.67b
Tortilla	67.46b	91.54a
Promedio Global	69.61	89.41
DMS <sup>4</sup>	2.70	1.86

<sup>1</sup>Temperatura a la cual empieza a incrementarse la viscosidad.

<sup>2</sup>Temperatura de la Viscosidad antes de los 95°C.

<sup>3</sup>Dentro de una misma columna, medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes a un nivel de 0.05 ( $p > 0.05$ ).

<sup>4</sup>Diferencia Mínima Significativa.

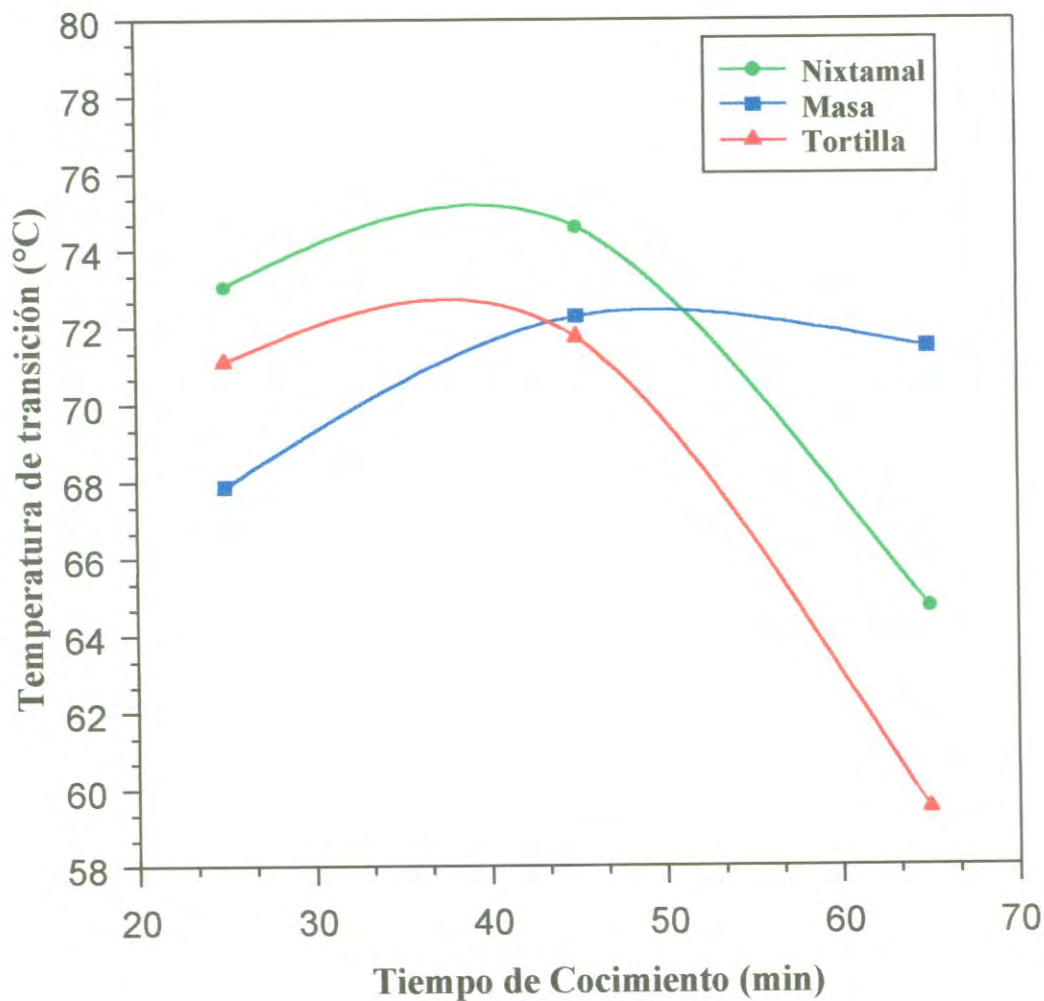


Fig. 23. Efecto del Tipo de Producto, Tiempo de Cocimiento y Tiempo de Reposo Sobre la Temperatura de Transición.

a nixtamal la temperatura de transición sufre un aumento del 1% y un descenso de maíz a masa y a tortilla en un 0.8 y 9.6%, respectivamente.

Para explicar el comportamiento de la temperatura de transición aquí obtenido, es importante tomar en cuenta: a) que el contenido de humedad presenta un papel muy importante, b) la relación de la fracción amilosa amilopectina y c) al procesar el grano, el almidón sufre daño, el cual cada vez es mayor al obtener los diferentes subproductos y producto final. Es decir, que conforme se va avanzando en el procesamiento el almidón va dañándose cada vez mas y hay mas porcentaje de agua, ya sea la adquirida durante la nixtamalización o bien la agregada durante la molienda y el mezcaldo.

### **Viscosidades Amilográficas**

Nixtamal. El análisis de varianza desarrollado para las viscosidades del nixtamal es presentado en la Tabla 32, aquí se observa que el tiempo de cocimiento afectó muy significativamente ( $p < 0.01$ ) a las viscosidades obtenidas a: los 95°C, después de 1 h de mantenimiento a los 95°C, durante el enfriamiento a los 50°C y la viscosidad obtenida después de 30 min de mantenimiento a 50°C. Con respecto a la variable tiempo de reposo ésta únicamente fue muy significativa ( $p < 0.01$ ) para la viscosidad a los 95°C y significativa ( $p < 0.05$ ) para la viscosidad obtenida después de 30 min en mantenimiento a 50°C.

La Fig. 24 muestra que las viscosidades del nixtamal obtenida de los diferentes tratamientos, son de mayor magnitud que los de maíz; ya que el almidón del maíz ha sido dañado por el procesamiento térmico-alcalino. La Fig. 24 presenta también, que el maíz tratado a 25 min de cocimiento para 5 y 14 h de reposo presentaron mayor retrogradación. Con respecto al tiempo de cocimiento a mayor tiempo es menor la viscosidad, ésto puede deberse a que como el almidón se encuentra fuertemente unido al calcio tardan mas en romperse estas uniones dando viscosidades mas elevadas durante la gelatinización y al momento de enfriarse ocasionó que se de mas rápido la

Tabla 32. Análisis de Varianza, Cuadrados Medios, de las Viscosidades Amiligráficas de Nixtamal, Obtenido a Diferentes Tiempos de Cocimiento y de Reposo.

Fuente de Variación	GL	VG <sup>1</sup>	V95°C <sup>2</sup>	V95°C/1h <sup>3</sup>	V50°C <sup>4</sup>	V50°C/30 <sup>5</sup>
Bloque (B)	1	1.0417NS <sup>6</sup>	11.70X103 <sup>**8</sup>	66.67X10 <sup>2*</sup>	54.15X10 <sup>3***</sup>	23.40X10 <sup>4*</sup>
Tiempo de Cocimiento (TC)	2	0.2917NS	10.58X10 <sup>4***</sup>	13.07X10 <sup>4***</sup>	45.91X10 <sup>4***</sup>	99.94X10 <sup>4***</sup>
E(TC*B) <sup>9</sup>	2	0.0417NS	129.17NS	554.17NS	14.0X10 <sup>2NS</sup>	75.12X10 <sup>2NS</sup>
Tiempo de Reposo (TR)	1	0.3750NS	1837.5 <sup>**</sup>	66.67NS	15.0X10 <sup>3NS</sup>	21.09X10 <sup>4*</sup>
TC*TR	2	0.8750NS	3462.5 <sup>**</sup>	44.79X10 <sup>3NS</sup>	38.15X10 <sup>3*</sup>	15.90X10 <sup>4**</sup>
TR*B	1	0.3750NS	37.5NS	24.0X10 <sup>2NS</sup>	52.27X10 <sup>3*</sup>	10.27X10 <sup>4NS</sup>
E(TC*TR)B <sup>10</sup>	2	0.1250NS	337.5NS	162.5NS	47.17NS	18.18X10 <sup>3NS</sup>
Repetición (R)	1	5.0417 <sup>*7</sup>	104.17NS	16.67NS	16.67X10 <sup>2NS</sup>	11.70X10 <sup>3NS</sup>
TC*R	2	0.7917NS	29.17NS	11.79X10 <sup>2NS</sup>	51.17X10 <sup>2*</sup>	34.45X10 <sup>3NS</sup>
TR*R	1	0.0417NS	204.17NS	13.50X10 <sup>2NS</sup>	816.67NS	18.70X10 <sup>3NS</sup>
Error	8	0.6042	97.9167	11.09X10 <sup>2</sup>	60.85X10 <sup>2</sup>	31.43X10 <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Viscosidad de gelatinización.

<sup>2</sup>Viscosidad a los 95°C.

<sup>3</sup>Viscosidad obtenida después de 1 hora de mantenimiento a 95°C.

<sup>4</sup>Viscosidad durante el enfriamiento a 50 °C.

<sup>5</sup>Viscosidad después de 30 min en mantenimiento a 50 °C.

<sup>6</sup>No significativo a un nivel de 0.05 (p>0.05).

<sup>7</sup>Significativo a un nivel de 0.05 (p<0.05).

<sup>8</sup>Muy significativo a un nivel de 0.01 (p<0.01).

<sup>9</sup>Error de la parcela grande.

<sup>10</sup>Error de la subparcela.

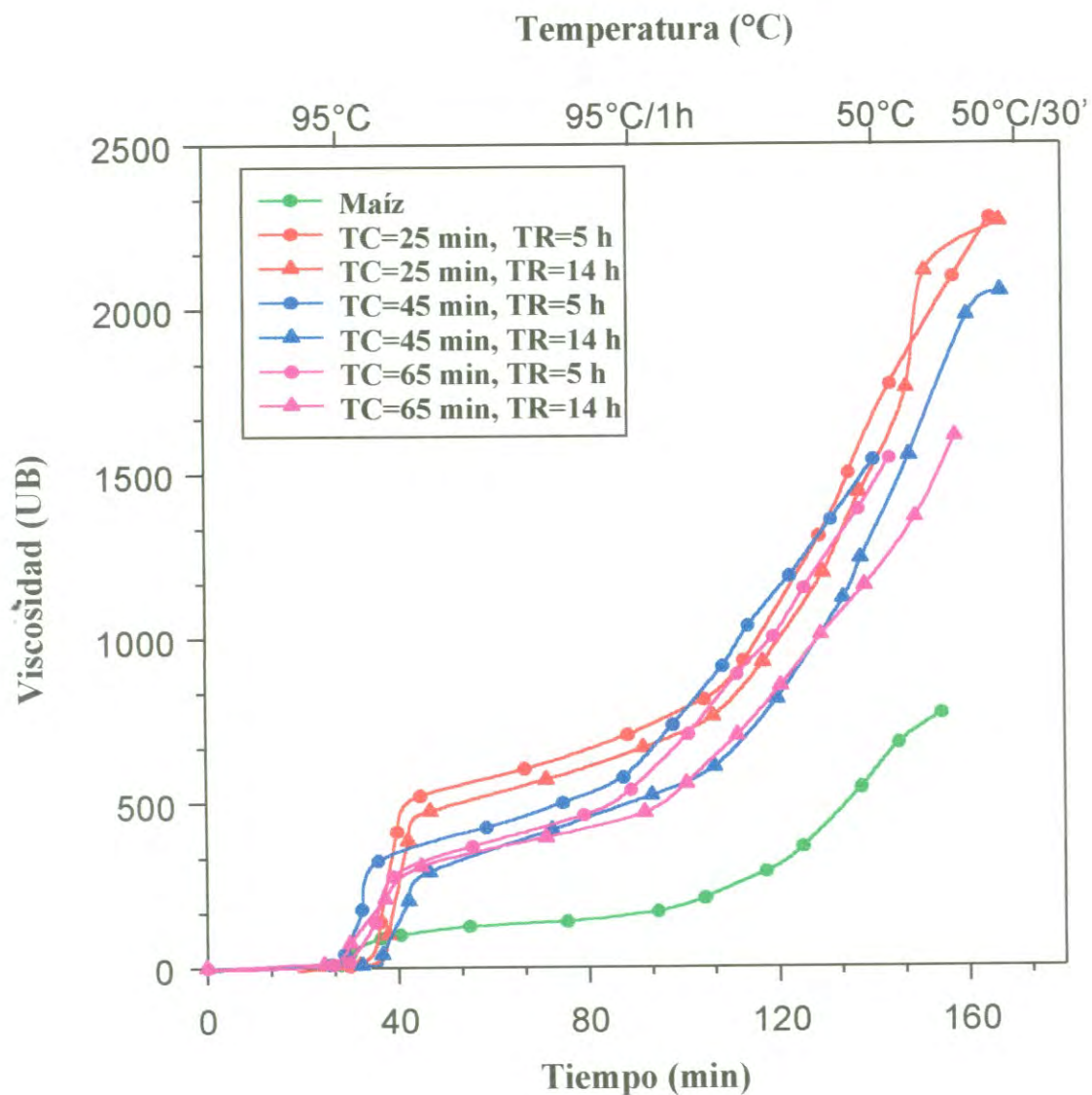


Fig. 24. Viscosidades Amilográficas del Nixtamal Obtenido a Diferentes Tiempos de Cocimiento y Tiempos de Reposo.

retrogradación. Con respecto a los tiempos de reposo, se tiene que las viscosidades fueron inferiores para el nixtamal sometido a 14 h que los de 5 h de reposo.

Masa. Para los datos obtenidos de amilogramas efectuados para muestras de masa, se desarrolló un análisis de varianza, el cual se muestra en la Tabla 33. La variable tiempo de cocimiento afectó muy significativamente ( $p < 0.01$ ) a la viscosidad a los  $95^{\circ}\text{C}$ , a la viscosidad durante el enfriamiento a  $50^{\circ}\text{C}$  y la viscosidad obtenida después de 30 min en mantenimiento a  $50^{\circ}\text{C}$ ; además afectó de manera significativa ( $p < 0.05$ ) a la viscosidad antes de los  $95^{\circ}\text{C}$  y a la viscosidad obtenida después de 1 h de mantenimiento a  $95^{\circ}\text{C}$ . Con respecto a la variable tiempo de reposo, ésta mostró efecto significativo ( $p < 0.05$ ) con respecto a la viscosidad obtenida después de 1 h de mantenimiento a  $95^{\circ}\text{C}$  y muy significativa ( $p < 0.01$ ) a la viscosidad obtenida a los  $95^{\circ}\text{C}$ .

La Fig. 25 muestra el comportamiento de las viscosidades de las masas obtenidas de los diferentes tratamientos y como se puede ver estas curvas siguen el mismo comportamiento de las descritas para las viscosidades del nixtamal, con la diferencia de que aquí las viscosidades son de mayor magnitud.

Tortilla. El análisis de varianza es mostrado en la Tabla 34. La variable tiempo de cocimiento presentó efecto significativo ( $p < 0.05$ ) para la viscosidad a los  $95^{\circ}\text{C}$ , a la viscosidad a los  $95^{\circ}\text{C}$  por 1 h de mantenimiento y a la viscosidad después de 30 min de mantenimiento a  $50^{\circ}\text{C}$ . Por otro lado, el tiempo de cocimiento presentó efecto muy significativo ( $p < 0.01$ ) para la viscosidad antes de los  $95^{\circ}\text{C}$  y para la viscosidad a los  $50^{\circ}\text{C}$ . El tiempo de reposo, afectó de manera muy significativa ( $p < 0.01$ ) a la viscosidad obtenida después de 1 h de mantenimiento a los  $95^{\circ}\text{C}$ .

Para mostrar de manera gráfica, el comportamiento de las viscosidades descritas para las muestras de tortilla se presenta la Fig. 26. Aquí se muestra que las viscosidades de mayor magnitud corresponden a las tortillas obtenidas



Tabla 33. Análisis de Varianza, Cuadrados Medios, de las Viscosidades Amiligráficas de Masas, Obtenidas a Diferentes Tiempos de Cocimiento y Tiempos de Reposo.

Fuente de Variación	GL	VG <sup>1</sup>	V95°C <sup>2</sup>	V95°C/1h <sup>3</sup>	V50°C <sup>4</sup>	V50°C/30 <sup>5</sup>
Bloque (B)	1	2.0417NS <sup>6</sup>	25.01X10 <sup>2***8</sup>	726.0*	2109.37NS	204.17NS
Tiempo de Cocimiento (TC)	2	8.3750* <sup>7</sup>	75.58X10 <sup>3***</sup>	18.86X10 <sup>3***</sup>	7434.37**	20.45X10 <sup>3***</sup>
E(TC*B) <sup>9</sup>	2	0.7917NS	41.70X10 <sup>2***</sup>	11.06X10 <sup>2***</sup>	396.87NS	50.17X10 <sup>2NS</sup>
Tiempo de Reposo (TR)	1	1.0417NS	23.01X10 <sup>2***</sup>	21.66X10 <sup>2***</sup>	459.37NS	32.67X10 <sup>2NS</sup>
TC*TR	2	1.0417NS	30.70X10 <sup>2***</sup>	703.5*	5571.87**	11.65X10 <sup>3*</sup>
TR*B	1	2.0417NS	876.04**	6.00NS	3151.04*	204.17NS
E(TC*TR)B <sup>10</sup>	2	0.7917NS	13.13X10 <sup>2***</sup>	838.5*	738.54NS	21.12X10 <sup>3***</sup>
Repetición (R)	1	1.0417NS	84.375NS	73.5NS	1426.04NS	266.67NS
TC*R	2	1.0417NS	378.125*	693.5*	1882.29NS	36.29X10 <sup>2NS</sup>
TR*R	1	1.0417NS	234.375NS	0.166NS	651.04NS	266.67NS
Error	8	1.1667	64.0625	105.79	6085.42	16.54X102

<sup>1</sup>Viscosidad de gelatinización.

<sup>2</sup>Viscosidad a los 95 °C.

<sup>3</sup>Viscosidad obtenida después de 1 hora de mantenimiento a 95°C.

<sup>4</sup>Viscosidad durante el enfriamiento a los 50°C.

<sup>5</sup>Viscosidad después de 30 min en mantenimiento a 50°C.

<sup>6</sup>No significativo a un nivel de 0.05 (p>0.05).

<sup>7</sup>Significativo a un nivel de 0.05 (p<0.05).

<sup>8</sup>Muy Significativo a un nivel de 0.01 (p<0.1).

<sup>9</sup>Error de la parcela grande.

<sup>10</sup>Error de la subparcela.

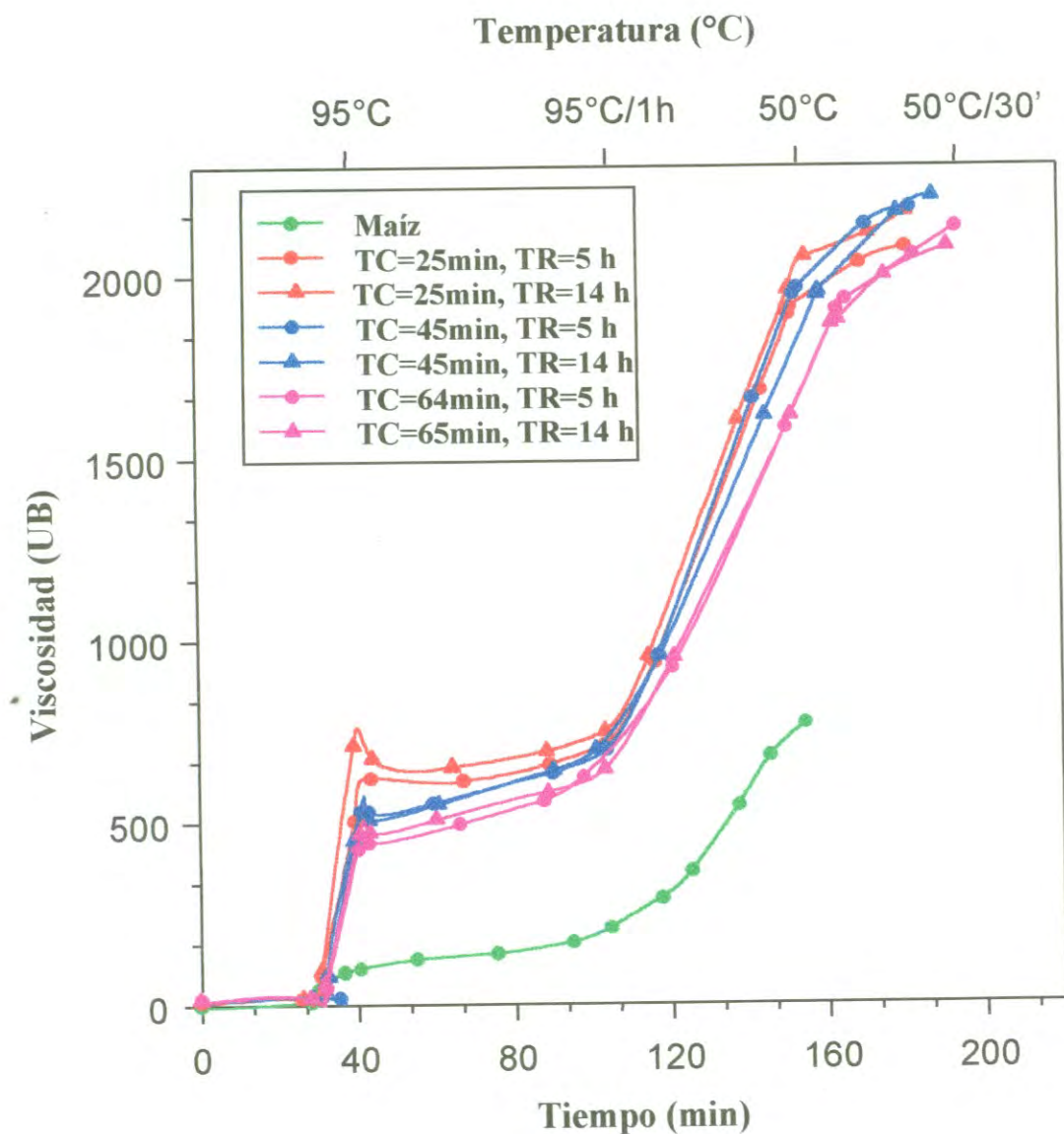


Fig. 25. Viscosidades Amilográficas de Masa Obtenidas a Diferentes Tiempos de Cocimiento y Tiempos de Reposo.

Tabla 34. Análisis de Varianza, Cuadrados Medios, de las Viscosidades Amiligráficas de Tortillas, Obtenidas a Diferentes Tiempos de Cocimiento y de Reposo.

Fuente de Variación	GL	VG <sup>1</sup>	V95°C <sup>2</sup>	V95°C/1h <sup>3</sup>	V50°C <sup>4</sup>	V50°C/30 <sup>5</sup>
Bloque (B)	1	66.67* <sup>7</sup>	84.37NS	150.0NS	66.67NS	10.84X10 <sup>3</sup> NS
Tiempo de Cocimiento (TC)	2	138.54*** <sup>8</sup>	11.22X10 <sup>3</sup> **	81.08X10 <sup>3</sup> **	13.38X10 <sup>5</sup> **	15.33X10 <sup>5</sup> **
E(TC*B) <sup>9</sup>	2	44.79*	487.5**	10.34X10 <sup>2</sup> NS	83.63X10 <sup>2</sup> NS	26.80X10 <sup>3</sup> NS
Tiempo de Reposo (TR)	1	16.67NS <sup>6</sup>	1.04NS	96.0X10 <sup>2</sup> *	33.75X10 <sup>3</sup> NS	26.00X10 <sup>3</sup> NS
TC*TR	2	94.79**	10.79X10 <sup>2</sup> **	17.47X10 <sup>2</sup> NS	14.65X10 <sup>3</sup> NS	19.33X10 <sup>3</sup> NS
TR*B	1	204.17**	459.37**	16.67NS	37.5NS	266.67NS
E(TC*TR)B <sup>10</sup>	2	63.54*	837.5**	76.88X10 <sup>2</sup> *	62.28X10 <sup>3</sup> *	55.11X10 <sup>3</sup> NS
Repetición (R)	1	4.17NS	51.04NS	150.0NS	26.04X10 <sup>2</sup> NS	337.5NS
TC*R	2	13.54NS	16.67NS	96.87NS	532.29NS	57.47X10 <sup>2</sup> NS
TR*R	1	16.67NS	176.04*	66.67NS	88.16X10 <sup>2</sup> NS	28.17X10 <sup>2</sup> NS
Error	8	9.635	28.385	889.32	11.99X10 <sup>3</sup>	17.72X10 <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Viscosidad del gelatinización.

<sup>2</sup>Viscosidad a los 95°C.

<sup>3</sup>Viscosidad obtenida después de 1 hora de mantenimiento a 95°C.

<sup>4</sup>Viscosidad durante el enfriamiento a 50°C.

<sup>5</sup>Viscosidad después de 30 min en mantenimiento a 50°C.

<sup>6</sup>No significativo a un nivel de 0.05 (p>0.05).

<sup>7</sup>Significativo a un nivel de 0.05 (p<0.05).

<sup>8</sup>Muy significativo a un nivel de 0.01 (p<0.01).

<sup>9</sup>Error de la parcela grande.

<sup>10</sup>Error de la subparcela.

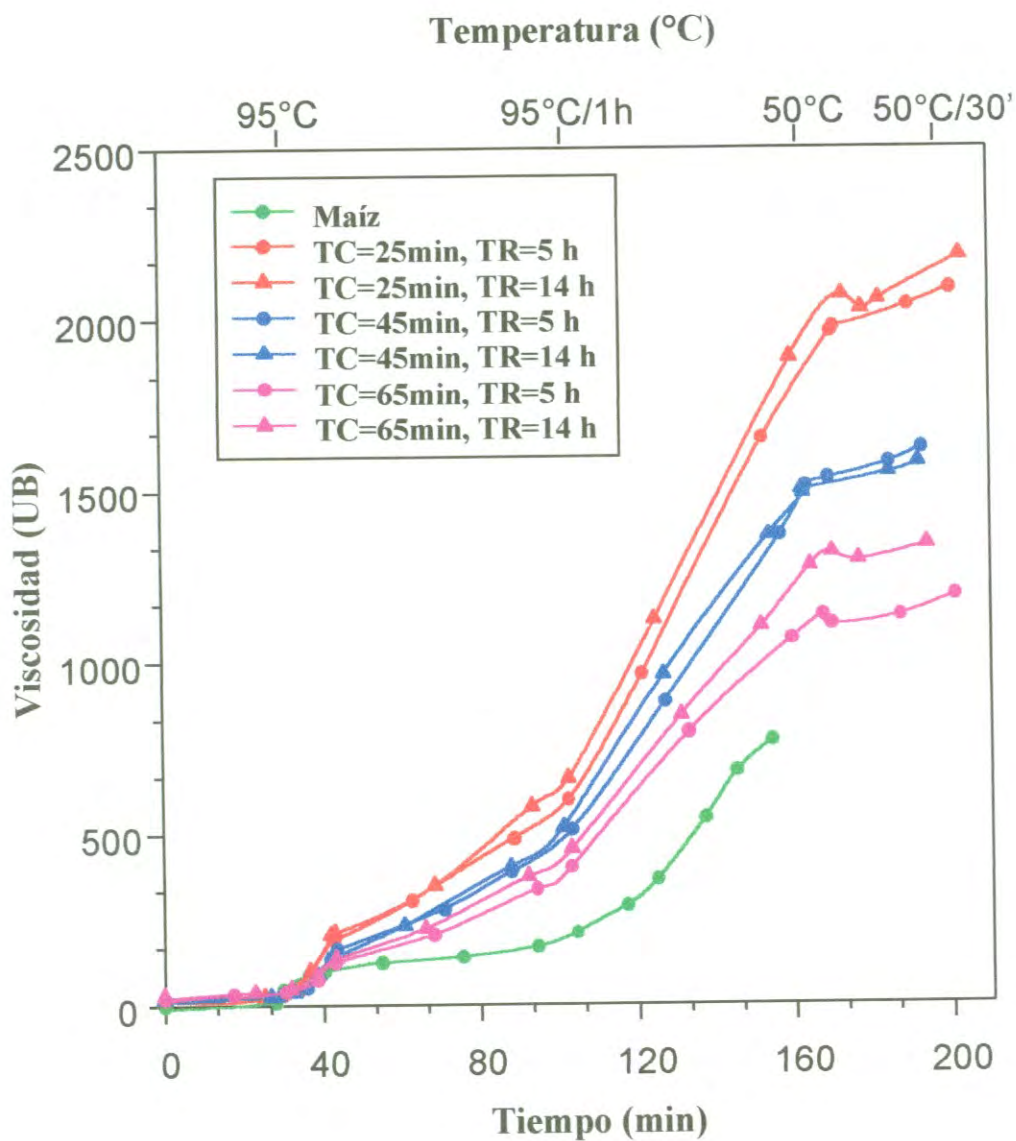


Fig. 26. Viscosidades Amilográficas de Tortillas Obtenidas a Diferentes Tiempos de Cocimiento y Tiempos de Reposo.

por los procesamientos de 25 min de cocimiento y los dos tiempos de reposo. Por otro lado, las viscosidades también fueron mayores para las tortillas obtenidas por un tiempo de 14 h de reposo. Ahora bien, al aumentar los tiempos de cocimiento las viscosidades se reducen debido a que al incrementar la temperatura hay mas daño de el almidón y al no haber mas almidón que gelatinizar entonces la viscosidad se verá reducida.

Productos. El análisis de varianza de los productos de la elaboración de tortilla se presenta en la Tabla 35; donde se observa, que el tipo de producto y el tiempo de cocimiento, presentaron diferencia muy significativa ( $p < 0.01$ ) para las 5 viscosidades aquí analizadas. En tanto que, el tiempo de reposo presentó efecto significativo ( $p < 0.05$ ) para las viscosidades obtenidas a: después de 1 h de mantenimiento a los  $95^{\circ}\text{C}$ , a la obtenida durante el enfriamiento a los  $50^{\circ}\text{C}$  y a la viscosidad después de 30 min en mantenimiento a  $50^{\circ}\text{C}$ .

Como se muestra en la Fig. 27, el comportamiento que siguieron las viscosidades de los diferentes productos fue similar al descrito por Campas (1997), ya que se tiene que la viscosidad del maíz se vió considerablemente en ascenso para los productos de nixtamal y masa; en tanto que la viscosidad de la tortilla fue mayor que la de maíz, pero fue inferior a la de nixtamal y la de masa.

El comportamiento descrito en las gráficas anteriores, en lo referente a viscosidad, puede deberse a: el maíz no presenta viscosidades altas debido a que no ha sufrido daño térmico, el almidón aun se encuentra sano, es decir dentro del gránulo de almidón y constreñido por paredes celulares. En lo referente a masa y nixtamal, como lo reporta Gómez y col. (1989), su comportamiento es debido a que con el tratamiento térmico-mecánico al que ha sido expuesto el maíz y en si el gránulo de almidón, hay mas rompimiento de células y ésto ocasiona que se incremente la viscosidad. En tortilla la viscosidad se reduce, en comparación con nixtamal y masa, ya que el grano de

Tabla 35. Análisis de Varianza, Cuadrados Medios, de las Viscosidades Amiligráficas de Nixtamal, Masa y Tortilla, Obtenidos a Diferentes Tiempos de Cocimiento y de Reposo.

Fuente de Variación	GL	VG <sup>1</sup>	V95°C <sup>2</sup>	V95°C/1h <sup>3</sup>	V50°C <sup>4</sup>	V50°C/30 <sup>5</sup>
Bloque (B)	1	10.89NS <sup>6</sup>	8X10 <sup>2</sup> NS	6.01X10 <sup>2</sup> NS	1063X10 <sup>3</sup> NS	44.50X10 <sup>3</sup> NS
Tiempo de Cocimiento (TC)	2	56.62*** <sup>8</sup>	16.39X10 <sup>4</sup> ***	19.64X10 <sup>4</sup> ***	11.74X10 <sup>5</sup> ***	16.83X10 <sup>5</sup> ***
E(TC*B) <sup>9</sup>	2	14.68NS	16.88X10 <sup>2</sup> NS	3.87X10 <sup>2</sup> NS	69.02X10 <sup>2</sup> NS	31.08X10 <sup>3</sup> NS
Tiempo de Reposo (TR)	1	6.72NS	12.500NS	61.98X10 <sup>2</sup> *	35.78X10 <sup>3</sup> *	15.31X10 <sup>4</sup> **
Producto (P)	2	2182.54**	87X10 <sup>4</sup> ***	17.19X10 <sup>4</sup> ***	30.81X10 <sup>5</sup> ***	13.73X10 <sup>5</sup> ***
TC*TR	2	20.43NS	4.24X10 <sup>3</sup> ***	5.76X10 <sup>2</sup> NS	111.28X10 <sup>2</sup> NS	23.66X10 <sup>3</sup> NS
P*TC	4	45.29**	14.34X10 <sup>3</sup> ***	17.13X10 <sup>3</sup> ***	31.54X10 <sup>4</sup> ***	43.50X10 <sup>4</sup> ***
P*TR	2	5.68NS	20.63X10 <sup>2</sup> * <sup>7</sup>	28.18X10 <sup>2</sup> NS	67.16X10 <sup>2</sup> NS	43.56X10 <sup>3</sup> NS
TR*B	1	88.89**	6.72X10 <sup>2</sup> NS	8.54X10 <sup>2</sup> NS	92.25X10 <sup>2</sup> NS	33.8X10 <sup>3</sup> NS
TC(P*TR)	4	38.14**	16.83X10 <sup>2</sup> *	31.76X10 <sup>2</sup> *	28.62X10 <sup>3</sup> *	83.17X10 <sup>3</sup> ***
E(TC*TR)B <sup>10</sup>	2	22.93NS	11.84X10 <sup>2</sup> NS	48.46X10 <sup>2</sup> *	36.93X10 <sup>3</sup> *	24.79X10 <sup>3</sup> NS
Repetición (R)	1	9.39NS	50.00NS	20.06NS	767.01NS	1800NS
TC*R	2	9.43NS	153.12NS	288.18NS	162.85NS	2534.38NS
TR*R	1	2.72NS	50.00NS	264.5NS	2750.34NS	1512.5NS
Error	44	10.01	586.69	963.26	7650.25	21.49X10 <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Viscosidad de gelatinización.

<sup>2</sup>Viscosidad a los 95°C.

<sup>3</sup>Viscosidad obtenida después de 1 hora de mantenimiento a 95°C.

<sup>4</sup>Viscosidad durante el enfriamiento a 50 °C.

<sup>5</sup>Viscosidad después de 30 min en mantenimiento a 50 °C.

<sup>6</sup>No significativo a un nivel de 0.05 (p>0.05).

<sup>7</sup>Significativo a un nivel de 0.05 (p<0.05).

<sup>8</sup>Muy significativo a un nivel de 0.01 (p<0.01).

<sup>9</sup>Error de la parcela grande.

<sup>10</sup>Error de la subparcela.

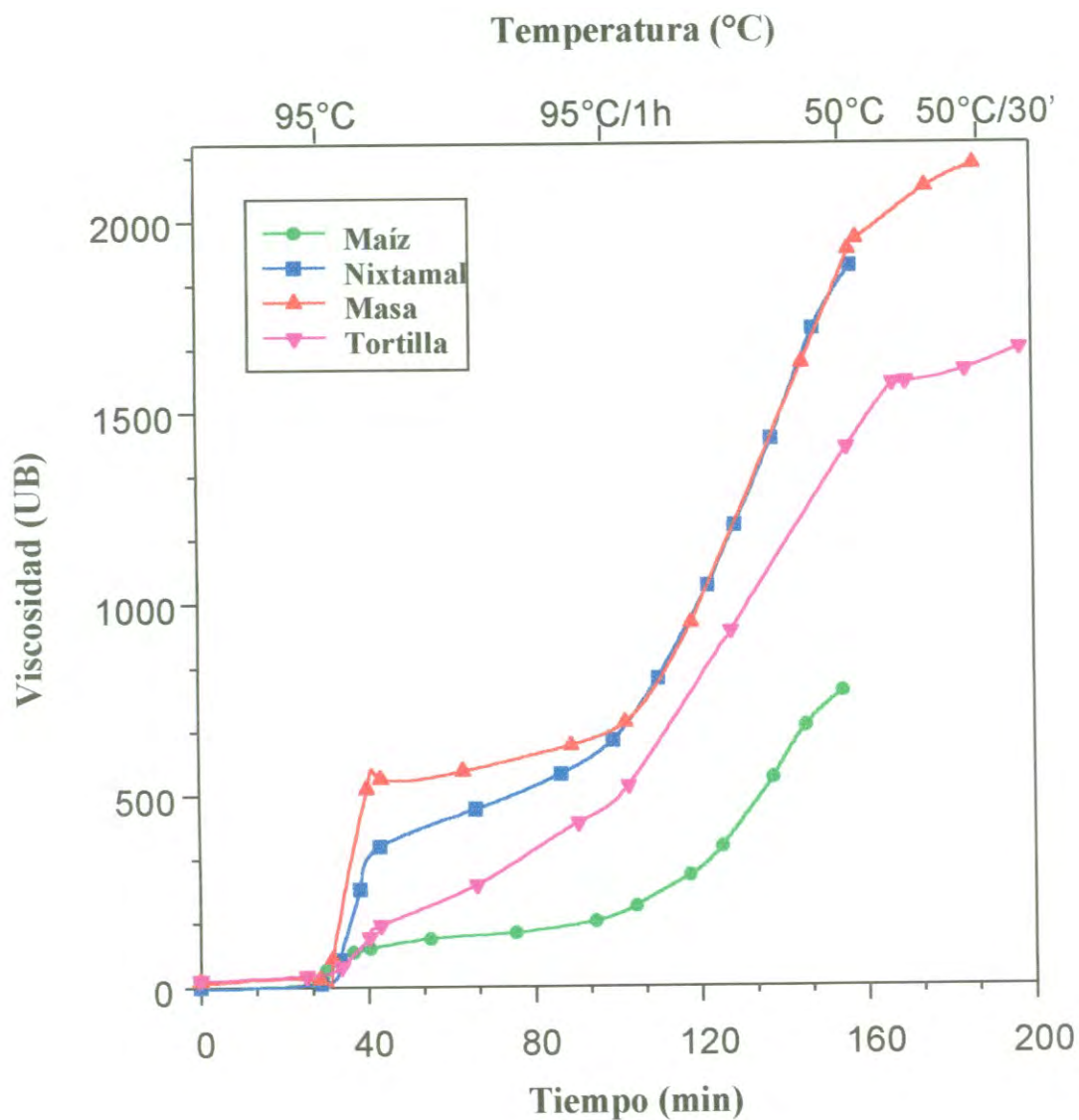


Fig. 27. Viscosidades Amilográficas de los Productos del Proceso de la Tortilla de Maíz.

maíz sufrió daño aun mayor y por lo tanto sobrecalentamiento durante el horneado, el gránulo de almidón está completamente dañado y es mínima la cantidad de almidón que puede hacer que la viscosidad se incremente.

### **Correlaciones Simples Entre las Determinaciones Realizadas**

Para conocer si había algún tipo de relación entre las determinaciones realizadas, se llevaron a cabo correlaciones simples ( $r$ ), utilizando los criterios recomendados por Ramírez y col. (1994). Para ello se efectuaron las siguientes consideraciones: correlación significativa débil si  $|r| < 0.5$ , correlación moderada si  $0.5 < r < 0.75$  y correlación significativa pero fuerte si  $r > 0.75$ .

La Tabla 36 presenta la correlación entre la humedad del nixtamal, masa y tortilla, pérdida de sólidos y remoción de pericarpio. Entre las determinaciones pérdida de sólidos y remoción de pericarpio existe una correlación significativa muy fuerte pero negativa, es decir, que al aumentar la remoción de pericarpio las pérdidas de sólidos disminuyen, lo cual posiblemente se deba a que en remoción de pericarpio no se está considerando el germen, ni sustancias solubles del endospermo; componentes que sí son considerados en las pérdidas de sólidos.

En lo referente a remoción de pericarpio con respecto a la humedad para nixtamal, masa y tortilla se obtuvo que la correlación fue débil pero no significativa, lo cual da idea de la poca dependencia de esta variable. Con respecto a las humedades para nixtamal y tortilla la correlación fue significativa y fuerte, es decir que al incrementar la humedad del nixtamal se esperará que se incremente la de tortilla. Este mismo comportamiento es para humedad de masa y de tortilla. Pero entre humedad de nixtamal y humedad de masa la correlación es moderada pero no significativa lo cual puede deberse a que durante la molienda y el mezclado se agregara agua de manera empírica. Las humedades aquí relacionadas implican que el efecto de gelatinización del



Tabla 36. Correlaciones Simples de las Características Físicas de Nixtamal, Masa y Tortilla de Maíz, Obtenidos a Diferentes Tiempos de Cocimiento y Tiempos de Reposo.

	HT	HM	HN	RP	PS
Pérdida de Sólidos (PS)	0.6378NS <sup>1</sup>	0.2253NS	0.5782NS	-0.8756*	1.0000
Remoción de Pericarpio (RP)	-0.3888NS	0.05123NS	-0.2524NS	1.0000	
Humedad del Nixtamal (HN)	0.8496* <sup>2</sup>	0.6932NS	1.0000		
Humedad de la Masa (HM)	0.8817*	1.0000			
Humedad de la Tortilla (HT)	1.0000				

<sup>1</sup>NS= No significativo a un nivel de 0.05 ( $p > 0.05$ ).

<sup>2</sup>\*= Significativo a un nivel de 0.05 ( $p < 0.05$ ).

almidón de maíz depende de la capacidad de retención de agua de los productos.

La Tabla 37 muestra la correlación entre las propiedades texturales adhesividad y firmeza de la masa con respecto a humedad y temperatura de gelatinización de la masa, así como la viscosidad final del nixtamal. La correlación entre humedad de la masa y cohesividad es significativa y fuerte, lo que implica que al aumentar la humedad la cohesividad también se incrementa porque se aumentan las fuerzas internas de las masas. Además, otra correlación también muy fuerte, es con la temperatura de gelatinización de la masa aunque es más significativa que la anterior, lo cual puede ser debido a que al aumentar las fuerzas de cohesión la temperatura de gelatinización también se verá incrementada debido a que se necesita mayor temperatura para lograr deshacer estas fuerzas de unión.

Por otra parte la correlación entre cohesividad y adhesividad es fuertemente significativa pero negativa, lo cual puede deberse a que al incrementarse las fuerzas internas de las masas, la adhesividad disminuye porque no hay suficiente fuerza de adhesión en la superficie.

La correlación entre la viscosidad de retrogradación del nixtamal para correa y adhesividad fue fuertemente significativa pero negativa, lo que se debe probablemente a que al aumentar las propiedades texturales la viscosidad final o retrogradación disminuye debido a la cantidad de almidón dañado.

La correlación entre firmeza y, humedad de masa y tortilla fueron significativa y fuerte (Tabla 38). Con la viscosidad de la masa a los 95°C fue correlación significativa fuerte y positiva al igual que con viscosidades de nixtamal y tortilla a 50°C mantenida por 30 min. Lo que sugiere aquí es que la firmeza de la tortilla esté íntimamente ligada con el comportamiento del almidón y el contenido de humedad.

Tabla 37. Correlaciones Simples entre las Propiedades Texturales de Masa de Maíz, y Propiedades Físicas y Reológicas de Nixtamal y Masa.

	Propiedades Texturales	
	Adhesividad	Cohesividad
Humedad de la Masa	0.8022NS <sup>1</sup>	0.9096* <sup>2</sup>
Temperatura Pico de la Masa	0.9543** <sup>3</sup>	0.9390**
Viscosidad del Nixtamal a 50°C/30'	-0.923**	-0.9807**
Cohesividad	0.9437**	1
Adhesividad	1	

<sup>1</sup>NS= No significativo a un nivel de 0.05 ( $p > 0.05$ ).

<sup>2</sup>\*= Significativa a un nivel de 0.05 ( $p < 0.05$ ).

<sup>3</sup>\*\*= Muy significativa a un nivel de 0.01 ( $p < 0.01$ ).

Tabla 38. Correlaciones Simples entre la Firmeza de la Tortilla y las Propiedades Físicas y Reológicas de Nixtamal, Masa y Tortilla de Maíz

Características Físicas y Reológicas	Firmeza
Humedad del Nixtamal	-0.7534NS <sup>1</sup>
Humedad de la Masa	-0.9392** <sup>2</sup>
Humedad de la Tortilla	-0.9759**
Viscosidad de la Masa a los 95°C	0.8138* <sup>3</sup>
Viscosidad del Nixtamal a 50°C/30'	0.8528*
Viscosidad de la Tortilla a 50°C/30'	0.8870*

<sup>1</sup>NS= No significativo a un nivel de 0.05 ( $p > 0.05$ ).

<sup>2</sup>\*\*= Muy significativo a un nivel de 0.01 ( $p < 0.01$ ).

<sup>3</sup>\*= Significativo a un nivel de 0.05 ( $p < 0.05$ ).

La Tabla 39 presenta que la humedad del nixtamal correlaciona significativamente y de manera fuerte con las viscosidades del nixtamal, masa y tortilla a los 95°C y, con la viscosidad a los 50°C mantenidos por 30 min.

Con respecto a la correlación entre humedad de la masas y las viscosidades a 50°C mantenida por 30 min de nixtamal y tortilla fueron significativas y fuertes, lo mismo se presentó para la temperatura de gelatinización de la masa.

La humedad de la tortilla correlacionó fuertemente con las viscosidades a los 95°C para nixtamal, masa y tortilla; y con las viscosidades a 50°C mantenidas por 30 min para nixtamal y tortilla.

Lo anterior implica que el contenido de humedad afecta de manera directa en las propiedades reológicas de nixtamal, masa y tortilla.

Tabla 39. Correlaciones Simples entre Humedad del Nixtamal, Masa y Tortilla, y Características Reológicas de Nixtamal, Masa y Tortilla.

Características Reológicas	Humedades		
	Nixtamal	Masa	Tortilla
Viscosidad del Nixtamal a 95°C	-0.294* <sup>3</sup>	-0.7605NS	-0.8828*
Viscosidad de la Masa a 95°C	-0.9431** <sup>2</sup>	-0.8009NS	-0.8932*
Viscosidad de la Tortilla a 95°C	-0.9669**	0.9318**	-0.8838*
Viscosidad del Nixtamal a 50°C/30'	-0.6321NS <sup>1</sup>	0.9318**	0.8285*
Viscosidad de la Tortilla a 50°C/30'	-0.9320**	-0.8730*	-0.9395**
Temperatura Pico de la Masa	0.4514NS	0.8240*	0.7279NS

<sup>1</sup>NS= No significativo a un nivel de 0.05 (p>0.05).

<sup>2</sup>\*\*= Muy significativo a un nivel de 0.01 (p<0.01).

<sup>3</sup>\*= Significaivo a un nivel de 0.05 (p<0.05).

## CONCLUSIONES

En el presente trabajo se estudió el efecto del tiempo de cocimiento y tiempo de reposo sobre la formación de la masa, a través de determinaciones físicas, químicas, texturales y reológicas.

La absorción de agua del maíz se dió principalmente durante la etapa de cocimiento (78% del total), y durante el tiempo de reposo únicamente se absorbió el 22%. Este fenómeno se dió con los tiempos de cocimiento de 25, 45 ó 65 min, y tiempo de reposo de 14 h. Por otro lado, se trató de disminuir el tiempo de reposo y se hicieron experimentos con 65 min de cocimiento y, 0 ó 2 h de reposo. Al moler el nixtamal hecho de esas condiciones, se obtuvieron materiales no cohesivos, sin adhesividad y con fragmentos de material sin hidratar, mientras que en otro experimento realizado con 65 min de cocimiento y 5 h de reposo sí fue posible obtener masa.

Posteriormente se llevaron a cabo determinaciones de pH y pérdida de sólidos, donde los resultados mostraron que: el pH del nejayote disminuyó al aumentar los tiempos de cocimiento y los tiempos de reposo (rango de 9 a 10.3). Por otro lado, el pH del nixtamal aumentó a medida que aumentó el tiempo de cocimiento y el tiempo de reposo (rango de 6 a 6.3). Lo anterior da idea de que aun cuando el cocimiento del maíz se efectue en un medio con pH de 11, el maíz nixtamalizado unicamente absorbe poca cantidad de calcio, y por lo tanto no incrementa su pH, al valor del nejayote.

Con respecto a la pérdida de sólidos, se tuvo que el mayor porcentaje fue cuando se trabajó con mayores tiempos de cocimiento y tiempos de reposo, lo cual permite concluir que para tener un mejor rendimiento del proceso y tener menos cantidad de material contaminante, es necesario acortar los tiempos de cocimiento y los tiempos de reposo.

Con el incremento del tiempo de cocimiento y el tiempo de reposo la remoción del pericarpio fue mayor, lo cual es importante por que en base a la magnitud de ésta, será la facilidad que presente el grano para una mayor absorción del agua.

Para la determinación de las propiedades texturales de la masa se estudiaron los efectos del tiempo de cocimiento y tiempo, utilizando para ello el método de cohesividad y, el método de compresión y tensión (MCT).

La adhesividad de la masa, evaluada por el MCT, se vió afectada por el tiempo de cocimiento y el tiempo de reposo, donde se observó que al aumentar estos tiempos, la adhesividad de la masa también aumentó. Se concluye que con tiempos de cocimiento y tiempos de reposo grandes se tendrán masas muy adhesivas, y por otro lado, tiempos cortos producirán masas con poca adhesividad. Por otro lado, la cohesividad de la masa aumentó con el tiempo de cocimiento, sin embargo, al aumentar el tiempo de reposo ésta característica disminuyó.

Con respecto a las propiedades reológicas, se estudió el efecto del tiempo de cocimiento y tiempo de reposo utilizando el método de retroextrusión y el método de compresión uniaxial con lubricación. Las masas fueron clasificadas como un material pseudoplástico ( $n < 1$ ). Además, las masas con mejor viscosidad fueron las obtenidas con el tiempo de cocimiento de 45 min y tiempo de reposo de 14 h.

Otra de las determinaciones realizadas fueron la de las propiedades físicas y texturales de la tortilla, donde el tiempo de cocimiento presentó mayor efecto sobre estas propiedades. La firmeza de la tortilla se redujo (mas blandas) al aumentar el tiempo de cocimiento, pero al disminuir el tiempo de reposo y aumentar el tiempo de almacenamiento, la firmeza de la tortilla aumentó (mas duras).



El contenido de humedad es uno de los factores determinantes en la textura de nixtamal, masa y tortilla, pero no se puede discutir de una manera aislada; ya que también es necesario considerar que los diferentes tratamientos a que somete el maíz, afecta o daña al almidón, lo que repercute en la gelatinización y retrogradación del mismo.

El método tradicional para la obtención de la tortilla de maíz, aun es efectuado de manera empírica por el operador. Estas personas acondicionan según su experiencia, el tamaño de partícula y la cantidad de agua "necesaria" durante la molienda y el mezclado. Esto ocasionó cambios en las propiedades texturales y reológicas de los productos, que realmente no fueron debido a los tratamientos aplicados.

Durante el tiempo de cocimiento, el maíz absorbe la mayor cantidad de agua, absorbe cal, se llevan a cabo reacciones químicas (gelatinización del almidón principalmente) y el grano de maíz aumenta su tamaño. En el tiempo de reposo, la humedad que el grano absorbió durante el cocimiento la distribuye a través de todo el grano, y el almidón presenta más gelatinización y retrogradación. Por lo que se puede concluir que para poder formar la masa es necesario ambas etapas; es decir, que después del tiempo de cocimiento ya sea de 25, 45 ó 65 min, es necesario un tiempo de reposo de por lo menos 5 h.

Todos estos cambios ocurridos durante la formación de la masa, repercuten en las características texturales y reológicas de la masa, como cohesividad, adhesividad y viscosidad, entre otras. Estas características son las responsables de obtener tortillas de buena calidad.

## RECOMENDACIONES

Buscar métodos para que las determinaciones de calidad de los productos del procesamiento de producción de tortilla de maíz sean objetivos, prácticos y fácil de interpretar.

Reevaluar los métodos para las determinaciones reológicas, como el métodos de retroextrusión y el método de compresión uniaxial con lubricación, principalmente en lo que se refiere a cabezal.

Llevar a cabo estudios de otros componentes químicos de maíz como lípidos, y ver si hay alguna correlación con la textura de la masa y la tortilla.

Efectuar estudios sobre los componentes del almidón ( amilosa y amilopectina) durante la obtención de la tortilla de maíz.

Realizar las mismas determinaciones que el presente estudio, pero en diferentes variedades de maíz.

## BIBLIOGRAFIA

- American Association of Cereal Chemists, 1991. Approved Methods of the AACC Metod 08-03, 30-20, 44-40, 46-12. The Association: St. Paul Minnesota.
- Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis, Fifteenth ed., 1990. Virginia 222201 USA.
- Badui, D. S. 1990. Química de los Alimentos. Ed. Alhambra México. pp 80-82.
- Beadly, J.B., Just, D.E., Morgan, R.E. and Reiners, R.A. 1965. Composition of Corn Oil. J. Amm. Oil. Chemists Soc. 42: 90-95.
- Bedolla, S and Rooney, L. 1982. Cooking Maize for Masa Production. Cereal Food Wuordl. pp27:219.
- Bressani, R., Paz y Paz, R. and Scrimshaw, N.S. 1958. Chemical Changes in Corn During Preparation of Tortillas. Agriculture and Food Chemistry. 6:770-774.
- Brown, W.L., Zuber, M.S.,Derrah, L.L., and Glover, D.L. 1988. Origins, Adaptation and Type of Corn. In:NCH-10, National Corn Handbook. Purdue University Cooperative Extension Service, West. Lafayette. pp. 3-6.
- Cabrera, A., Pineda, J.C.,Duran de Bazua, C., Segura-Jauregui, J.S. and Vernon, E.S. 1984. Kinetic of Water Diffusion and Starch Gelatinization During Corn Nixtamalization. En B. McKeana (ed) Engineering and Food. Elsevier Applied Science Publ., London. Vol. 1: 117-124.

- Campanella, O.H. and Peleg, M. 1987. Squeezing Flow Viscometry of Peanut Butter. *J. Food Sci.* 52: 180-184.
- Chartrei, S.H., Makosco, C.W., and Winter, H.H. 1981. A New-biaxial Extensional Rheometer. *J. Reol.* 25:433-443.
- Cravioto, R.O. 1945. Nutritive Value of Mexican Tortilla. *Science.* pp. 91-93.
- Darby, R. 1976. *Viscoelastic Fluids: An Introduction to their Properties and Behavior.* Chemical Processing and Engineering. Marcel Dekker Inc. New York, NY. pp 51-394
- Dervisoglu, M. and Kokini, J.L. 1986. Effect of Different Tube Materials on the Steady Shear Tube Flow of Semi-Solid Foods. *J. of Food Process Eng.* 8:137-146.
- De Walt, K.M. 1983. *Nature Origins of the Mesoamerican Core Diet. Nutritional Strategies and Agricultural in a Mexican Community.* UMI Research Press Ann Arbor, Michigan. pp 16-22.
- Duffus, C. y Slaughter, C. 1988. *Las Semillas y sus Usos.* Ed. AGTSA México D.F. pp 1-28, 188.
- Earle, F.R., Curtis, J.J. and Hubbard, J.E. 1946. Composition of Components Parts of Corn Kernel. *Cereal Chem.* 23: 504-511.
- Figuroa, J. y Col. 1994. Modernización Tecnológica del Proceso de Nixtamalización. *Avances y Perspectivas México, D.F.* 13: 323-329.
- Gómez, M.H. McDonough, L.W., Rooney, L.W. and Waniska, R.D. 1989. Changes in Corn and Sorghum During Nixtamalization and Tortilla Baking. *J. Food Sci.* 54:330-336.

- Gracia, R. y Silva, B.A. 1992. Estudio de Algunas Variables del Proceso de Producción de Tortilla de Maíz a Nivel Planta Piloto y sus Efectos en la Textura de la Masa y la Tortilla. Tesis de Licenciatura. Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora.
- Inglett, G.E. 1970. Kernel Structure, Composition and Quality. En: G.E. Inglett(ed). Corn: Culture, Processing, Products. The AVI Publishing Co. Inc., Westport, C.T. pp 123-150.
- Johnson, L.A. 1991. Corn: Production, Processing and Utilization. Ed. Lorenz, K.J y Kulp, K. Handbook of Cereal Science and Technology. Marcel Dekker, Inc. New York. EUA. pp 55-63.
- Kramer, A. 1973. Texture Definition, Measurement of Foods. D.Reidel Publishing Company. Dordrecht, Holanda.
- Matus, L y Redondo, J. 1997. Evaluación de Métodos que Permitan el Control de la Calidad de Harina, Masa y Tortilla de Maíz en un Proceso Industrial. Tesis de Licenciatura. Universidad de Sonora. Hermosillo, Sonora.
- Martínez-Herrera, M.L. and Lachance, P.A. 1979. Corn (Zea mays) Kernel Hardness as an Index of the Alkaline Cooking Time for Tortilla Preparation. J. Food Sci. pp. 44, 377-379.
- Morad, M.M; Iskander, F.Y; Rooney, L.W. and Eart, C.E. 1986. Physico-Chemical properties of Alkaline-Cooked Corn Using Traditional and Pre-soaking Procedures. Cereal Chem. 63:255-259.
- Moshenini, N.N. 1986. Physical Properties of Plant and Animal: Structure, Physical Characteristics and Mechanical Properties. Gordon and Breach Science Publishers, New York, NY. pp 383-479.
- Orozco, M.D. 1995. Caracterización Físico-Química de la Materia Prima, Productos Intermedios y Final de los Procesos Comerciales para Elaborar

- Paredes-Lopez, O. and Saharopulus, M.E. 1982. Scanning Electromicroscopy Studies of Limed Corn Kernel for Tortilla Making. *J. Food Tech.* 17: 687-693.
- Paredes-Lopez, O. and Saharopulus, M.E. 1983. Maize a Review of Tortilla Production Technology. *Bakers Digest.* pp. 16-22.
- Parsons . 1991. Manual del Maíz. Serie Manuales para la Educación Agropecuaria, Area de Producción Vegetal (Maíz). Ed Trillas. México.
- Perry, R.H. y Chilton, C. 1984. Manual del Ingeniero Químico. Vol. 1:3.
- Pflugfelder, R.L. 1986. Dry Matter Distribution on Comercial Alkaline Cooking Process for Production of Tortilla and Snack Foods. Tesis de Doctorado. Texas A&M University, College Station, TX.
- Pflugfelder, R.L., Rooney, L.W. and Waniska, R.D. 1988. Fractionation and Composition of Commercial Corn Masa. *Cereal Chem.* 65: 262-266.
- Ramírez, B. 1989. Measurement and Evaluation of Texture and Rheological Properties of Fresh Corn Masa. Tesis de Doctorado. Univesidad de Texas A&M, Colege Station, TX.
- Ramírez, F. 1992. Evaluación de las Propiedades Reológicas y Texturales de la Masa y la Tortilla de dos Tortillerías Comerciales. Tesis de Licenciatura. Universidad de Sonora. Hermosillo, Sonora. México.
- Ramírez, W. 1993. Seminario: Excelencia en la Calidad para la Industria de la Masa y la Tortilla de Maíz y Trigo. Asociación Americana de Soya. DIPA. México D.F.
- Ramírez, B; Sweat, V; Torres, P. and Rooney, L. 1994. Cooking Time, Grinding and Moisture Content Effect on Fresh Corn Masa Texture. *Cereal Chem.* 71(4): 337-343.

- Rooney, L.W. and Serna-Saldivar, S.O. 1987. Food Uses of Whole Corn and Dry-Milles Fractions. *Corn Chemistry and Technology*. American Association of Cereal Chemists, Inc. St Paul, MN 55121, USA. pp. 51-70.
- Salunke, D.K., Kadam, S.S. and Chavan, J.K. 1985. *Postharvest Biotechnology of Cereals*. CRC press Inc. Boca Raton, Florida. p. 95
- Santos, M.A. 1980. *Bioquímica de los Cereales y sus Productos*. Chapingo México. Universidad Autónoma de Chapingo. p. 57.
- Serna-Saldivar, S.O., Knabe, D.A., Rooney, L.W., Tanksley, T.D. 1987a. Effects of Lime Cooking on Energy and Protein Digestibilities of Maize and Sorghum. *Cereal Chem.* 64:247-252.
- Serna-Saldivar, S.O., Gomez, M.H. and Rooney, L.W. 1990. The Chemistry Technology and Nutritional Value Alkaline-Cooked Corn Products. *Cereal Chem.* 10:243-307.
- Tonella, M., Sánchez, M. y Salazar, G. 1983. Physical, Chemical, Nutritional and Sensory Properties of Corn-Based Fortified Food Products. *Journal of Food Science*. Vol. 48 pp 1637-1643.
- Torres, P. 1988. Characteristics of Dough and Tortillas Prepared with Composite Wheat-Sorghum Flours. Tesis de Maestría. Texas A&M University, College Station, Tx.
- Trejo-Gonzales, A., Feria Morales, A., and Wild -Altamirano, C. Jr. 1982. The Role of Lime in the Alkaline Treatment of Corn for Tortilla Preparation 198:245-263. In: R.E. Freney and J.R. Whitaker (eds). *Advances in Chemistry Series. Modification of Proteins*. Amer. Chem. Soc. Washington, D.C.

Vásquez, F. 1997. Evaluación de los Cambios de Solubilidad que sufren las Proteínas Durante el Proceso de Elaboración de la Tortilla de Maíz y sus Efectos en la Textura de la masa y Producto Final. Tesis de Licenciatura. Universidad de Sonora. Hermosillo, Sonora.