



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**"CARACTERIZACION FISICA DE 10 VARIETADES
DE MAIZ (Zea mays) Y SU INFLUENCIA EN LA
NIXTAMALIZACION"**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERA EN ALIMENTOS
P R E S E N T A :
ROCIO DEL CARMEN JUAREZ CIPRES**

ASESOR: M. en C. DORA LUZ VILLAGOMEZ ZAVALA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1997

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR

DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS AFROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el trabajo de Tesis: "Caracterización Física de 10 variedades de maíz (Zea mays) y su influencia en la mixtamalización."

que presenta 1 pasante: Donato del Carmen Muñoz Tordec
con número de cuenta: 7212100-5 para obtener el TITULO de:
Ingeniera en Alimentos

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

A T E N T A M E N T E .
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cuautitlan Izcalli, Edo. de Méx., a 19 de septiembre de 1997

PRESIDENTE	<u>L. A. Torres A. Arriaga Ornela</u>	<u>Arriaga</u>	<u>1-OCT-97</u>
VOCAL	<u>Dra. Sara E. Villán Martínez</u>	<u>Sara E. Villán</u>	<u>22/IX/97</u>
SECRETARIO	<u>Don J. José Luis Villalobos</u>	<u>José Luis Villalobos</u>	<u>1-IX-97</u>
1er. SUPLENTE	<u>L.A. Rosalía Valéndez Pérez</u>	<u>Rosalía</u>	<u>22/IX/97</u>
2do. SUPLENTE	<u>L.A. Federico Roto Salas</u>	<u>Federico</u>	<u>22/IX/97</u>

Dedicatorias

**A mis padres
por su cariño y apoyo constante**

**En especial a tí mamá
por tu ayuda incondicional**

**A mi esposo Eduardo Laguna
por su labor titánica de apoyo y
comprensión**

**A mis hermanos
Alex, Gaby y Hugo**

**A mis queridos hijos
Eduardo, Alain y Carlos**

A mi querida Universidad

Reconocimientos

Un sincero agradecimiento a mi directora de tesis M en C. Dora Luz Villagómez Zavala, coordinadora de la maestría en Ciencias de la Nutrición y de los Alimentos en la Universidad Iberoamericana, por su incansable asesoría en el desarrollo del presente trabajo.

Al Dr. Andrés Iruegas Evaristo, Profesor Investigador del Depto. de Ciencias de la Nutrición y de los Alimentos de la Universidad Iberoamericana, por su asesoría en la elaboración del diseño experimental y estadístico.

Al Dr. Alfredo Zalazar, Profesor Investigador Titular del Laboratorio de Tecnología de Cereales del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarios (INIFAP) en la Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, Edo de México, y al Dr. Javier Peña Bautista, Jefe del Laboratorio de Cereales del Centro de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), ambos por su apoyo en la disponibilidad de equipo y asesoría para las determinaciones físicas del maíz.

A la Universidad Iberoamericana y a la Universidad Nacional Autónoma de México, por el desarrollo experimental efectuado en sus instalaciones.

A mi hijo Eduardo por su ayuda en el manejo de paquetería en computación.

INDICE GENERAL

Pag.

A.- Indice de Tablas.....	v
B.- Indice de Figuras.....	vi
1.- Resumen.....	1
2.- Introducción.....	2
3.- Objetivos.....	4
3.1 Objetivo General.....	4
3.2 Objetivos Particulares.....	4
4.- Antecedentes.....	5
4.1 Origen del maíz.....	5
4.2 La planta del maíz.....	5
4.3 Clasificación del maíz.....	6
4.4 Antecedentes Estadísticos.....	8
4.5 Generalidades del maíz.....	19
4.5.1 Características Generales y Estructurales.....	19
4.5.1.1 Estructura del Grano de Maíz.....	20
a) Germen.....	22
b) Endospermo.....	22
c) Pericarpio.....	23
d) Punta.....	24
4.5.2 Composición Química del grano de maíz.....	24
a) Minerales.....	24
b) Vitaminas.....	25
c) Compuestos Nitrogenados.....	25
d) Lípidos.....	26
e) Carbohidratos.....	26
f) Otras sustancias.....	26
4.5.3 Propiedades Físicas del grano de maíz.....	27
a) Tamaño y forma.....	27
b) Color.....	27
c) Humedad.....	28
d) Dureza.....	29
e) Densidad.....	31
f) Volumen de Vacío.....	32
g) Vitreosidad.....	32
4.6 Proceso de Nixtamalización.....	33
4.7 Elaboración de la Tortilla.....	34
4.8 Atributos de Calidad del grano de maíz.....	36
4.9 Evaluación de la Calidad del grano de maíz.....	36
4.10 Factores críticos de procesamiento.....	38
4.10.1 Cocimiento y Reposo.....	38
4.10.2 Lavado.....	39

	Pag.
4.10.3 Molienda.....	39
4.10.4 Mezclado y Formado de la Masa.....	40
4.10.5 Horneado de Tortillas.....	40
4.10.6 Función de la Cal en la Nixtamalización.....	41
4.11 Cambios Estructurales, Físicos y Químicos en el grano de maíz durante la Nixtamalización.....	41
4.11.1 Cambios Estructurales.....	41
4.11.2 Cambios Físicos y Químicos.....	42
a) Proteínas.....	42
b) Almidón.....	42
c) Lípidos.....	43
4.11.3 Pérdidas de Materia Seca durante la cocción y el remojo.....	44
4.11.4 Fracción y Composición de la Masa.....	44
4.12 Mejoramiento de la Calidad de Productos Nixtamalizados.....	45
4.12.1 Atributos de Calidad de las Tortillas.....	45
4.13 Programas de Calidad: Análisis de Textura.....	45
5.- Metodología.....	47
5.1 Selección de Materia Prima.....	47
5.2 Estandarización de Humedad del grano.....	47
5.3 Empacado del grano.....	47
5.4 Homogenización de las muestras.....	49
5.5 Muestreo.....	49
5.6 Determinación de Humedad del grano.....	49
5.7 Inspección General de Maíz.....	49
5.8 Limpieza manual del grano.....	50
5.9 Muestreo.....	50
5.10 Caracterización Física del Maíz.....	50
5.10.1 Humedad.....	52
5.10.2 Peso de 1000 granos.....	52
5.10.3 Espesor de la Capa de Pericarpio.....	52
5.10.4 Densidad Aparente.....	52
5.10.5 Peso por Hectolitro.....	52
5.10.6 Dureza.....	54
5.10.7 Vitreosidad.....	54
5.10.8 Dimensiones del grano.....	55
5.11 Selección de las Variedades de Maíz.....	55
5.12 Estandarización del Proceso de Nixtamalización.....	55
5.12.1 Cocción.....	55
5.12.2 Reposo.....	57
5.12.3 Lavado.....	57
5.12.4 Ecurrimiento del grano.....	57
5.12.5 Empacado del grano.....	57
5.12.6 Molienda.....	57
5.13 Elaboración de la Tortilla.....	58
5.13.1 Obtención de la masa.....	58

	Pag.
5.13.2. Obtención de Testales.....	58
5.13.3. Moldeado.....	58
5.13.4 Cocimiento de la Tortilla.....	58
5.13.5 Enfriamiento.....	59
5.13.6 Empacado.....	59
5.14 Selección de las variables de respuesta en el proceso de nixtamalización.....	59
5.15 Evaluación de las variables de respuesta en el grano nixtamalizado.....	60
5.15.1 Determinación de Absorción de agua del grano.....	60
5.15.2 Determinación de Humedad del grano.....	60
5.15.3 Determinación de Sólidos en el agua de cocción (Nejayote).....	60
5.15.4 Rendimiento de Harina de maíz nixtamalizada.....	60
5.16 Evaluación de las variables de respuesta en la masa de maíz.....	61
5.16.1 Determinación de humedad de la masa.....	61
5.16.2 Rendimiento de masa de maíz.....	61
5.16.3 Maquinabilidad de la masa.....	61
5.16.4 Análisis granulométrico.....	61
5.16.5 Análisis Sensorial.....	62
5.17 Evaluación de las variables de respuesta en la tortilla de maíz.....	62
5.17.1 Determinación de humedad en la tortilla.....	62
5.17.2 Análisis sensorial de la tortilla.....	63
5.17.3 Evaluación de la tortilla durante la cocción.....	63
5.17.4 Determinación de flexibilidad y rollabilidad en la tortilla.....	63
5.18 Evaluación de las variables de respuesta en la vida de anaquel de la tortilla.....	64
5.19 Análisis estadístico de resultados.....	64
6.- Resultados y Análisis de Resultados.....	67
6.1 Resultados del análisis físico a materia prima.....	67
6.2 Análisis de Resultados en la Nixtamalización.....	76
6.2.1 Humedad del grano nixtamalizado en función del tiempo de cocción y tiempo de reposo.....	76
6.2.2 Incremento en Peso del grano nixtamalizado.....	78
6.2.3 Incremento en Peso del grano en función del % de cal.....	79
6.2.4 Pérdida de sólidos en función del tiempo de cocción y tiempo de reposo.....	79
6.2.5 Incremento en Peso de Harina de Maíz.....	80
6.2.6 Análisis de la cantidad de agua adicionada durante la molenda.....	88
6.2.7 Análisis de la Humedad final en la masa.....	88
6.2.8 Análisis del color en la masa.....	89
6.2.9 Análisis de la maquinabilidad en la masa.....	89
6.2.10 Análisis de Resultados de granulometría en la masa.....	96
6.3 Análisis de Resultados en la Tortilla.....	101
6.3.1 Análisis de Humedad inicial en la tortilla.....	101

	Pag.
6.3.2 Análisis de Formación de Ampollas.....	101
6.3.3 Análisis de Formación de puntos quemados o manchas.....	103
6.3.4 Análisis de Resultados de Rollabilidad y Flexibilidad de la tortilla en vida de anaquel.....	103
6.3.4.1 Resultados de Rollabilidad.....	103
6.3.4.2 Resultados de Flexibilidad.....	104
6.4 Análisis de la Matriz de Correlaciones de las características del proceso de nixtamalización y elaboración de la tortilla.....	106
7.- Conclusiones y Recomendaciones.....	117
8.- Bibliografía.....	120

A.- Índice de Tablas.

Pag.

Tabla 1. Cultivos Principales Superficie Cosechada: Años Agrícolas 1989-1993.....	8
Tabla 2 Superficie Cosechada y Producción de Cultivos Agrícolas seleccionados según entidad federativa 1990. Avance 1995.....	13
Tabla 2A. Producción de Maíz según Entidad Federativa. Años agrícolas 1991 a 1995.....	14
Tabla 2B. Consumo aparente de Principales Productos Agrícolas 1986-1991.....	16
Tabla 3. Evolución de la Oferta 1981-1986.....	12
Tabla 4. Participación de Conasupo y el Sector Privado en las Adquisiciones Nacionales y de Importación. 1983-1986.....	16
Tabla 5. Principales países productores de maíz a nivel mundial 1989.....	17
Tabla 6. Superficie Cosechada, Rendimiento y Producción de maíz según países seleccionados. 1991.....	18
Tabla 7. Partes componentes y su composición en el grano de maíz.....	22
Tabla 8. Análisis aproximado del grano de maíz.....	25
Tabla 9. Resultados de la Inspección General de las 10 variedades de maíz.....	68
Tabla 10. Resultados del Análisis Físico de las 10 variedades de maíz.....	70
Tabla 11. Resultados del Análisis Estadístico de las 10 variedades de maíz Selección de 5 variedades.....	74
Tabla 12. Propiedades Físicas de las variedades seleccionadas para la nixtamalización.....	75
Tabla 13. Resultados de la Nixtamalización de maíz Maíz clave 1.....	81
Tabla 14. Resultados de la Nixtamalización de maíz Maíz clave 2.....	81
Tabla 15. Resultados de la Nixtamalización de maíz Maíz clave 5.....	82
Tabla 16. Resultados de la Nixtamalización de maíz Maíz clave 6.....	82
Tabla 17. Resultados de la Nixtamalización de maíz Maíz clave 9.....	83
Tabla 18. Incremento en Peso de Harina de Maíz Nixtamalizado en función del tiempo de cocción y tiempo de reposo (1 5% y 3 0% de cal).....	90
Tabla 19. Cantidad de agua adicionada a la masa de maíz en función del tiempo de cocción y tiempo de reposo (1 5% y 3 0% de cal).....	92
Tabla 20. Humedad de la masa de maíz en función del proceso de nixtamalización (1 5% y 3 0% de cal).....	94
Tabla 21. Reporte de Maquinabilidad en las masas de las variedades seleccionadas.....	97
Tabla 22. Resultados de Granulometría Distribución de Tamaño de Partícula en masa de maíz nixtamalizado.....	100
Tabla 23. Resultados de Humedad inicial en tortilla el día de su elaboración.....	102
Tabla 24. Pérdida de Rollabilidad y Flexibilidad de la Tortilla de maíz durante el almacenamiento a temperatura ambiente. (Pendiente y Factor de Correlación).....	108
Tabla 25. Matriz de Correlaciones del Proceso de Nixtamalización y Elaboración de la tortilla.....	109

B.- Índice de Figuras.

	Pag.
Fig. 1. Clasificación Taxonómica del maíz.....	6
Fig. 2. Cultivos Principales Superficie cosechada: Años Agrícolas 1989-1993.....	9
Fig. 3. Cultivos Principales Producción: Años Agrícolas 1989-1993.....	9
Fig. 4. Superficie Sembrada, Cosechada y Producción Ciclos O-I Promedio 1989-1993 vs avance 1994.....	10
Fig. 5. Superficie Sembrada, Cosechada y Producción Ciclos P-V Promedio 1989-1993 vs avance 1994.....	11
Fig. 6. Esquema estructural de la Planta de Maíz.....	20
Fig. 7. Estructura del grano de maíz.....	21
Fig. 8. Diagrama General de Nixtamalización.....	35
Fig. 9. Diagrama General de Experimentación.....	48
Fig. 10. Inspección General de maíz.....	51
Fig. 11. Balanza Fija de Peso Hectolítrico.....	53
Fig. 12. Diagrama de Bloques para la Elaboración de Tortilla de maíz.....	56
Fig. 13. Esquema del espacio intergranular.....	71
Fig. 14. Esquema de comparación del tamaño de granos grandes vs granos chicos.....	73
Fig. 15. Esquema de las diferentes capas de un grano de maíz.....	78
Fig. 16. Comportamiento de la Humedad del grano de maíz nixtamalizado en función del Tiempo de Cocción y Tiempo de Reposo (3 0% Cal).....	84
Fig. 17. Incremento en Peso del grano de maíz nixtamalizado en función del Tiempo de Cocción y Tiempo de Reposo (3 0% Cal).....	85
Fig. 18. Pérdida de Sólidos en el agua de cocción en función del Tiempo de Cocción y Tiempo de Reposo (3 0% Cal).....	86
Fig. 19. Incremento en Peso del grano en función del Porcentaje de Cal.....	87
Fig. 20. Incremento en Peso de Harina de maíz en función del tiempo de cocción y tiempo de reposo (3 0% de cal).....	91
Fig. 21. Cantidad de agua adicionada a la masa de maíz en función del tiempo de cocción y tiempo de reposo (3 0% de cal).....	93
Fig. 22. Comportamiento de la Humedad de la masa de maíz en función del proceso de nixtamalización (3 0% de cal).....	95
Fig. 23. Distribución del tamaño de partícula de masa de maíz nixtamalizado.....	100
Fig. 24. Comportamiento de la Rollabilidad de la Tortilla de maíz durante el almacenamiento a temperatura ambiente Maíz clave 9.....	110
Fig. 25. Comportamiento de la Rollabilidad de la Tortilla de maíz durante el almacenamiento a temperatura ambiente Maíz clave 5.....	111
Fig. 26. Comportamiento de la Flexibilidad de la Tortilla de maíz durante el almacenamiento a temperatura ambiente Maíz clave 9.....	112
Fig. 27. Comportamiento de la Flexibilidad de la Tortilla de maíz durante el almacenamiento a temperatura ambiente Maíz clave 6.....	113
Fig. 28. Comportamiento de la Flexibilidad de la Tortilla de maíz durante el almacenamiento a temperatura ambiente Maíz clave 5.....	114
Fig. 29. Comportamiento de la Flexibilidad de la Tortilla de maíz durante el almacenamiento a temperatura ambiente Maíz clave 2.....	115
Fig. 30. Comportamiento de la Flexibilidad de la Tortilla de maíz durante el almacenamiento a temperatura ambiente Maíz clave 1.....	116

1.- RESUMEN

Las condiciones del proceso de nixtamalización dependen de varios factores, principalmente de la variedad del grano de maíz, ya que las propiedades físicas del grano -las cuáles son diferentes para cada variedad- influyen determinantemente en variables del proceso como son el tiempo y temperatura de cocción, tiempo de reposo, concentración del álcali, variables que determinan la absorción de agua del grano, rendimiento del proceso, pérdida de sólidos, etc.

Se analizaron las propiedades físicas de 10 variedades de maíz de diferentes regiones de la República Mexicana, evaluando humedad, peso de 1000 granos, espesor de la capa de pericarpio, densidad del grano, densidad volumétrica, dureza, vitreosidad y dimensiones del grano. Se seleccionaron 5 variedades cuyas propiedades físicas presentarían diferencias significativas, y se sometieron a 9 tratamientos de nixtamalización que consistieron en Tiempos de cocción (50, 60 y 70 minutos), Tiempos de reposo (0, 7 y 14 horas) y Concentraciones de cal (1.5, 2.25 y 3.0%).

Se evaluó: Humedad del grano, Incremento en peso del grano por absorción de agua, pérdida de sólidos en el agua de cocción y rendimiento del proceso; la textura de la masa y las propiedades de la tortilla analizando flexibilidad y rollabilidad. Se almacenaron las tortillas 7 días a temperatura ambiente y se evaluaron flexibilidad y rollabilidad al inicio y cada tercer día.

Se encontró en las 10 variedades estudiadas: 5 de endospermo suave, 3 de endospermo duro y 2 de endospermo semiduro, de los tamaños observados fueron: 3 de grano grande, 3 de grano chico y 4 de grano mediano. El tiempo de reposo y el tiempo de cocción presentaron gran influencia en la maquinabilidad de la masa, su rendimiento y las propiedades de la tortilla. El espesor de la capa de pericarpio fué determinante en la humedad del nixtamal y las pérdidas de sólidos en el nejayote.

La dureza del grano de maíz y el espesor de la capa de pericarpio presentaron una relación directa en las condiciones del proceso de nixtamalización así como en su rendimiento. Sin importar la variedad se obtuvieron tortillas con mejor evaluación de rollabilidad y flexibilidad a tiempos de reposo de 14 hrs., siendo éstos tratamientos los que presentaron menor tamaño de partícula en la masa nixtamalizada y por consiguiente mejores propiedades físicas en la tortilla de maíz.

Las tortillas elaboradas a partir de granos de maíz con endospermo semiduro tuvieron las mejores características de flexibilidad y rollabilidad durante el almacenamiento de las mismas presentando menor pérdida de éstas propiedades que aquellas tortillas provenientes de maíces con endospermo suave o duro.

INTRODUCCION

Aún cuando la tortilla es un alimento básico en la dieta del mexicano y en la de muchos países latinoamericanos, la tecnología aplicada en su elaboración es totalmente empírica y no ha sufrido cambios apreciables a nuestros días, únicamente la mecanización de su proceso, pero en sí las bases de su procesamiento siguen siendo las mismas (Fonseca, P. M. 1990).

Por otra parte, no se han establecido los valores específicos para las variables en el tratamiento térmico-alcálico del maíz, ya que se manejan diversos tiempos, temperaturas, concentraciones del alcalí, proporciones de agua-grano, así como mezcla de variedades. Una prueba de esto es que el punto final del cocimiento se determina subjetivamente usando tres criterios: desintegración de la cascarrilla, suavidad del grano y apariencia del endospermo (S.O.Serna-Saldivar et al 1993).

En la actualidad los cambios que ha tenido éste proceso sólo han sido para hacer posible el manejo de grandes volúmenes de materia prima, sin logros en la optimización de las condiciones generales del proceso. Y se sabe que la calidad de la tortilla y de los productos de maíz dependen en gran medida de las condiciones de nixtamalización y de la calidad de la materia prima (S.O. Serna-Saldivar et al 1990). Se considera durante el proceso como el factor más importante el grado de cocción, porque éste afecta la maquinabilidad de la masa, las propiedades de la tortilla y el rendimiento del producto (S.O Serna-Saldivar et al 1993).

Durante la cocción se ha observado que granos de maíz con endospermo duro absorben la solución de cal más lentamente que aquellos de endospermo suave (S.O.Serna-Saldivar et al 1993) , y que granos suaves requieren menores tiempos de cocción para alcanzar el contenido óptimo de humedad del nixtamal considerado de 45-52% porque la masa resultante presenta adecuada plasticidad, cohesividad y maquinabilidad (Gómez et al, 1991), (S.O.Serna-Saldivar et al 1993).

Se ha determinado también que el espesor de la capa de pericarpio del grano y su facilidad de remoción durante la cocción y el reposo, están relacionados con la absorción de agua del maíz y la pérdida de sólidos. La presencia de remanentes de pericarpio afecta el color y la textura del producto final. La dureza del endospermo, también contribuye a las pérdidas de materia seca, particularmente cuando el grano es suave y se ha abusado durante su manejo, cocción, lavado y transporte (S.O.Serna-Saldivar et al 1993).

Dentro de las propiedades importantes del grano de maíz que influyen en el proceso de nixtamalización, principalmente durante la cocción están; dureza del grano, peso por hectolitro, espesor de la capa de pericarpio y vitreosidad, las cuáles difieren de una variedad a otra.

Cabe señalar que a nivel comercial, los molinos de nixtamal reciben grano de diferentes variedades y tipos de endospermo, sin tener un control adecuado para cada variedad sobre las condiciones del proceso, lo que implica el manejo de diferentes variedades durante la nixtamalización de manera simultánea. El resultado de esta falta de información ha hecho que los molineros y el ama de casa tengan problemas cuando se ven obligados a manejar maíces que no están acostumbrados a procesar. Las consecuencias de esto resultan en productos de calidad no uniforme y no adecuados (Ochoa Cortéz 1981).

Considerando estos antecedentes, el presente trabajo tiene como objetivo principal estudiar el efecto que tiene la variedad del grano de maíz sobre las condiciones del proceso de nixtamalización.

3.- OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL.-

Evaluar la influencia que tienen las propiedades físicas de diferentes variedades de maíz sobre las condiciones del proceso de nixtamalización, analizando las características sensoriales y propiedades físicas de la masa y tortilla obtenidas.

3.2- OBJETIVOS PARTICULARES.-

1.- Caracterizar 10 variedades de maíz de diferente región de la República Mexicana en función de las propiedades físicas de interés en la nixtamalización.

2.- Seleccionar 5 variedades cuyas propiedades físicas estudiadas difieran entre sí.

3.- Determinar las condiciones óptimas del proceso de nixtamalización en función de las propiedades físicas del grano de maíz.

4.- Evaluar la influencia de las condiciones del proceso de nixtamalización sobre las propiedades de la tortilla de maíz.

5.- Analizar durante el almacenamiento las propiedades físicas de la tortilla obtenida para cada tratamiento propuesto.

4.- ANTECEDENTES

4.1 ORIGEN DEL MAIZ.

El origen del maíz se pierde en la antigüedad. La mazorca está construida especialmente para producir elevados rendimientos de grano bajo la protección del hombre. El maíz silvestre no ha sido encontrado nunca por el hombre moderno. Excavaciones arqueológicas y geológicas indican que la planta debe haberse originado cuando menos hace 5 mil años. Los granos de polen de *Zea*, *Tripsacum* y *Euchlaena* encontrados bajo la ciudad de México son mucho más antiguos. (Jugenhenur R.W., 1981).

Debido a la gran diversidad de formas nativas encontradas en la región, se cree que el maíz pudo originarse en los altiplanos de Perú, Bolivia y Ecuador. Otros investigadores piensan que el maíz se originó en el sur de México y Centroamérica pues parece ser el hogar original del *Euchlaena*. Se ha insinuado el origen asiático del maíz, pero la mayoría de los investigadores coinciden que probablemente la planta se originó en México. (Jugenhenur RW, 1981).

4.2 LA PLANTA DEL MAIZ.

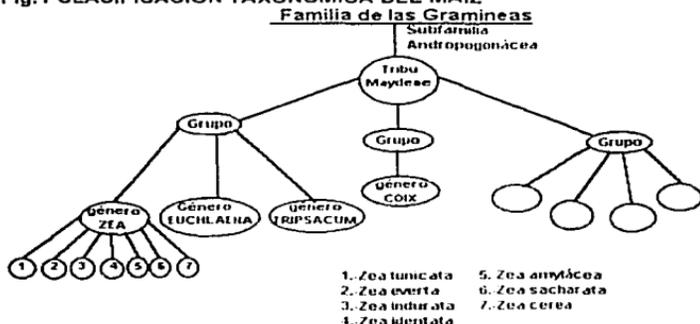
El maíz es una planta herbácea que pertenece a la extensa familia *Gramineae*. Pertenece a la tribu *Maydeae*, la cuál incluye 8 géneros, 5 de los cuáles son géneros de relativamente poca importancia. (Jugenhenur R.W., 1981), (fig 1)

- 1.- *Cox*
- 2.- *Schlerachno*
- 3.- *Polytoca*
- 4.- *Chinonachno*
- 5.- *Trilobachne*

Los tres géneros americanos son:

- 1.- *Zea*. género de suma importancia representado por la especie única *Zea Mays*, que es el maíz indio o maíz. Los grupos agrícolas son el dentado, el reventón, el harinoso, el dulce y el ceroso. Cada grupo puede mejorarse por fitomejoramiento.
- 2.- *Tripsacum*, género que posee cierto valor como cultivo forrajero, pero ninguno como cultivo de grano.
- 3.- *Euchlaena* (teosinte), parece ser el pariente silvestre más cercano del maíz, y ha adquirido gran importancia en el conocimiento actual del origen y evolución del maíz bajo domesticación. (Jugenhenur R.W., 1981).

Fig.1 CLASIFICACION TAXONOMICA DEL MAIZ



4.3 CLASIFICACION DEL MAIZ.

La clasificación original del maíz la realizó el botánico Carlos Lineo, quien lo denominó *Zea mays* como único representante del género *Zea*, pero años después otros científicos estudiaron las diferentes especies de esta gramínea para ampliar aquella clasificación. Las principales especies que se conocen actualmente son. (Jugenhenur RV, 1981, Fortson, J.R.,1986).

1- *Zea tunicata* o maíz tunicado, es un tipo raro de maíz, cada grano está encerrado en una túnica o vaina, no presenta importancia económica, pero si tiene valor como material genético y citogenético para el mejoramiento del maíz, es de considerable interés en estudios sobre el origen del maíz. (Fortson, J.R.,1986).

2- *Zea everta* o maíz palomero, tiene granos pequeños, su endospermo es duro y revienta al tostarse por lo que se utiliza únicamente en la industria de la transformación para hacer palomitas de maíz y presenta una relativa importancia en la economía por su uso en confituras (Fortson, J.R.,1986).

3- *Zea indurata* o maíz cristalino, es conocido como maíz flint, tiene granos grandes redondeados y de consistencia dura pues contienen poco almidón suave, este maíz se usa tanto en la alimentación humana y animal, y como materia prima para la obtención de alcohol y almidón. Es el tipo de maíz de más cultivo en Europa. (Fortson, J.R.,1986).

4.- *Zea dentata* o maíz dentado, este es el grupo mayormente cultivado en el mundo, se caracteriza por una depresión o "diente" en la corona de la semilla. A los lados presenta almidón córneo, mientras que el almidón suave se extiende hacia el ápice (corona) de la semilla. Al secarse y contraerse rápidamente el almidón suave, se tiene como resultado el característico dentado. Este maíz se utiliza en general para consumo humano, alimentación animal y para uso industrial en la producción de harina de maíz, los granos presentan forma aplanada y gran parte de los híbridos norteamericanos pertenecen a este grupo (Fortson, J.R., 1986)

5.- *Zea amyloacea* o maíz semidentado, generalmente el grano presenta una corona redondeada y el endospermo es en su mayoría harinoso incluye variedades que se utilizan en la alimentación humana por su mayor contenido de lisina y triptofano, aunque se utiliza también para mejoramiento genético del maíz (Fortson, J.R., 1986)

6.- *Zea sacharata* o maíz dulce, está caracterizado por una apariencia translúcida y córnea cuando está inmaduro y por una condición vitrea cuando está seco. Se siembra principalmente en Estados Unidos. Las mazorcas se recogen verdes y se usan para enlatado y para consumo en fresco. El maíz dulce difiere del duro solamente por un gen recesivo (*su*), el cual impide la conversión de una parte del azúcar en almidón (Fortson, J.R., 1986)

7.- *Zea cerea* o maíz ceroso, debe su nombre a la apariencia un tanto cerosa de sus granos. El almidón ceroso está totalmente compuesto por la forma molecular ramificada de amilopectina, se utiliza en la elaboración de gomas y adhesivos pues los granos presentan altos contenidos de amilopectina. (Fortson, J.R., 1986) (Fig 1)

Estas especies se han ido cruzando entre sí y han dado lugar a nuevas razas, lo que explica la diversidad de variedades que se conocen actualmente, además gracias a este cruzamiento puede decirse que existe un tipo de maíz para cada necesidad específica: los hay resistentes a las sequías, a las heladas, adaptables a la calidad y textura de los diferentes suelos, a la altitud y latitud, etc. (Fortson, J.R., 1986)

A nivel mundial se han identificado hasta el año de 1974, 305 razas de maíz llamados maíces criollos, de las cuales 32 son mexicanas. Entre los principales mexicanos están el pepitilla, el olotón, el palomero toluqueño, el blando de Sonora, el conico norteno, el reventador, el cacahuacinte o pozolero, el zapalote grande, el zapalote chico, el chalqueño, el mushito, el conejo, el Celaya, el Tuxpeño, el Vandeño. Estas tres últimas razas pertenecen al grupo del maíz dentado y se utilizan en la fabricación de tortillas. (Fortson, J.R., 1986)

4.4 ANTECEDENTES ESTADISTICOS.

El maíz es y ha sido a través de la historia el alimento de mayor consumo en los hogares mexicanos, representativo de la cultura nacional y en torno al cuál gira el quehacer cotidiano de varios millones de personas. Es por lo tanto el principal cultivo del país en función de la superficie total cosechada y de la producción de los principales cultivos anuales, debido a que en ambos sentidos absorbe alrededor del 75% (Tabla 1 y Figuras 2 y 3); constituye además el soporte de la economía campesina como lo demuestra el hecho de que el 85% de la superficie cultivada se encuentre en tierras de temporal (S.A.R.H. Cultivos Básicos, 1960-1991)

Tabla 1 CULTIVOS PRINCIPALES
Superficie Cosechada Años Agrícolas 1989-1993
miles de hectáreas

Cultivo	1989	1990	1991	1992	1993/1/
Granos Básicos	9,086	10,471	10,005	9,521	10,133
Arroz	151	105	85	90	61
Frijol	1,321	2,094	1,989	1,296	1,797
Maíz	6,470	7,339	6,947	7,219	7,397
Trigo	1,144	933	984	916	878

Fuente: S.A.R.H. avance a julio de 1994

Las Figuras 4 y 5 muestran la superficie sembrada, cosechada y producción de maíz promedio para el periodo 1989-1993 contra el avance hasta julio de 1994 para los ciclos agrícolas P-V y O-I. De las gráficas se observa que se cultivan alrededor de 7.5 millones de hectáreas entre los dos ciclos agrícolas, obteniéndose una producción global de 15 millones de toneladas aproximadamente durante el avance a julio de 1994, correspondiéndole al ciclo P-V una participación del 90%.

Durante los dos ciclos agrícolas se cultivaron alrededor de 7.5 millones de hectáreas, correspondiendo más del 90% al ciclo P-V y el resto al ciclo O-I. De la superficie mencionada alrededor del 85% es de temporal y la restante de riego, por lo tanto la producción de maíz está sujeta a un alto grado de aleatoriedad característico de las condiciones climatológicas inherentes al cultivo practicado en zonas temporales. Los rendimientos promedio nacionales registrados para el maíz han oscilado entre 1.2 y 1.8 toneladas por hectárea para las áreas de temporal, y entre 2.7 y 3.2 toneladas por hectárea para las de riego (S.A.R.H. Cultivos Básicos 1960-1991)

Fig. 2 CULTIVOS PRINCIPALES
Superficie Cosechada: Años Agrícolas 1989-1993

GRANOS BASICOS

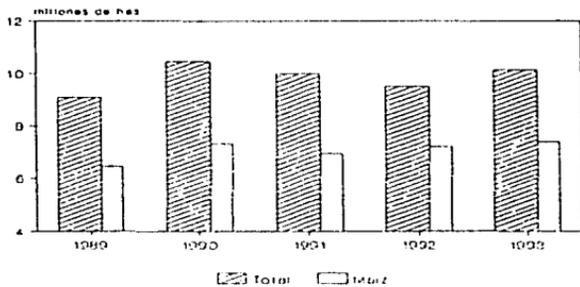


Fig. 3 CULTIVOS PRINCIPALES
Producción: Años Agrícolas 1989-1993

GRANOS BASICOS

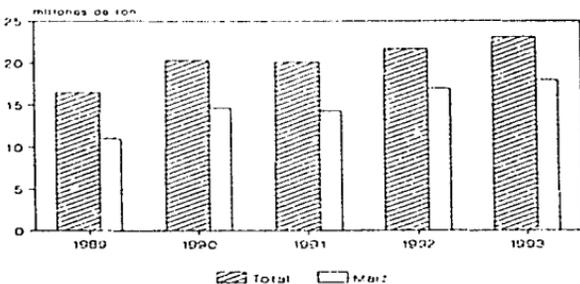
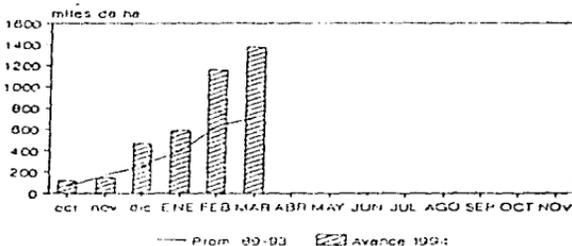
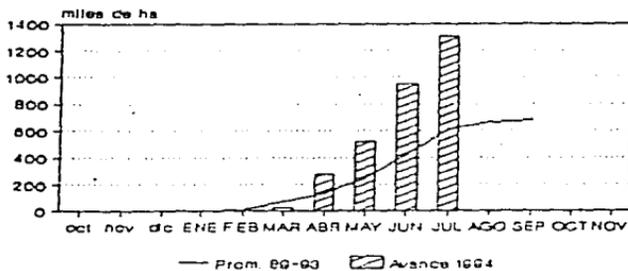


Fig. 4 Superficie Sembrada, Cosechada y Producción. Ciclos O-I Promedio 1989-1993 vs avance 1994

SUPERFICIE SEMBRADA



SUPERFICIE COSECHADA



PRODUCCION

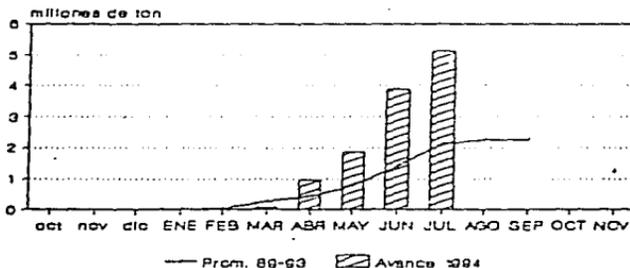
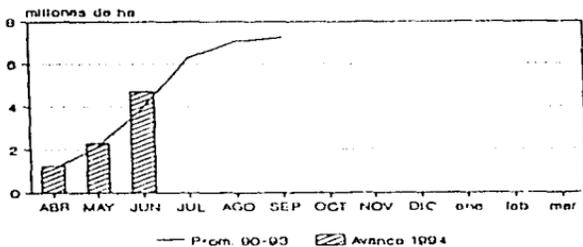
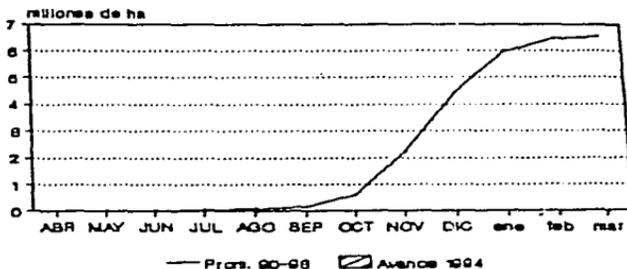


Fig. 5 Superficie Sembrada, Cosechada y Producción. Ciclos P-V Promedio 1990-1993 vs Avance 1994

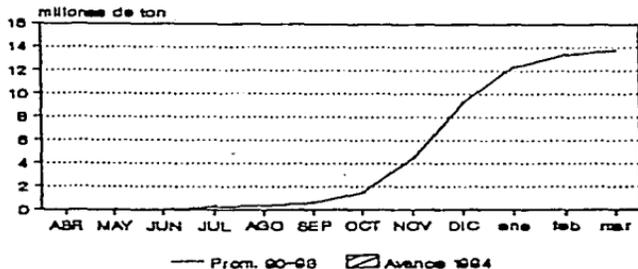
SUPERFICIE SEMBRADA



SUPERFICIE COSECHADA



PRODUCCION



En México, el maíz se cultiva en todo el país, sin embargo destacan por su alta participación los estados de México, Jalisco, Chiapas, Puebla, Michoacán y Tamaulipas como puede observarse su participación durante el año 1990 (Tabla 2) y 1990 a 1995 (Tabla 2A)

La oferta nacional de maíz se integra con los volúmenes procedentes de las cosechas nacionales y del mercado externo. La producción nacional representó en promedio durante 1981-1986 el 86% de la oferta y las importaciones abarcaron el 14% restante (Tabla 3). La producción nacional se obtiene de las cosechas de los ciclos Primavera-Verano (P-V) -el cuál es el período de los cultivos anuales que comprende desde las siembras que se realizan en el mes de marzo hasta el último día de septiembre y la conclusión de las cosechas de estos cultivos en general son de julio a marzo del año siguiente- y del Otoño-Invierno (O-I) -período de los cultivos anuales que comprende el lapso entre las siembras realizadas a partir del mes de octubre de un año hasta febrero del siguiente año y el término de sus respectivas cosechas en general se obtienen de enero a septiembre.

Tabla 3. Evolución de la Oferta
1981-1986

Miles de Toneladas

AÑO	OFERTA	PRODUCCION		IMPORTACIONES	
	TOTAL (1)=(2)+*(3)	NACIONAL (2)	%	(3)	%
1981	15 014 7	12 536 7	83.5	2 478 0	16.5
1982	14 942 2	14 697 2	98.4	245 0	1.6
1983	13 801 4	9899 4	71.7	3 902 0	28.3
1984	15,831 9	13 318 9	84.1	2 513 0	15.9
1985	14 909 8	13 109 3	87.9	1 800.5	12.1
1986	15 435 6	13 919 2	90.2	1 516 4	9.8

Fuente: S A R H, CONASUPO y Comité Participativo de Comercialización de Maíz.

La producción primaria se obtiene a través de un extenso universo de unidades -en su gran mayoría minifundios- dispersos a lo largo del territorio nacional, situación que de alguna manera determina que una porción significativa del producto cosechado sea retenida para autoconsumo; debido a que para el sector campesino el maíz constituye el principal componente de su seguridad alimentaria, esto explica que una parte considerable de la producción cosechada sea retenida por el productor, (para 1986 representó el 38% de la producción obtenida, pero estudios posteriores estimaron que este porcentaje aumentó bajo el impacto de la crisis económica) (Maíz, Abasto y Comercialización, INEGI 1988). El resto de la producción transita

**TABLA 2. SUPERFICIE COSECHADA, PRODUCCION Y RENDIMIENTO DE MAIZ
SEGUN ENTIDAD FEDERATIVA 1990.**

ENTIDAD FEDERATIVA	SUP. COSECHADA (Hectáreas)	PRODUCCION (Toneladas)	RENDIMIENTO (Ton./Ha.)
TOTAL NACIONAL	7,338,872	14,635,439	1,994
AGUASCALIENTES	79,096	74,222	0,938
BAJA CALIFORNIA NORTE	1,238	3,273	2,644
BAJA CALIFORNIA SUR	9,010	26,643	2,957
CAMPECHE	69,261	92,766	1,339
COAHUILA	40,318	46,408	1,151
COLIMA	27,621	75,270	2,725
CHIAPAS	698,111	1,075,348	1,540
CHIHUAHUA	237,763	435,729	1,833
DISTRITO FEDERAL	10,840	21,786	2,010
DURANGO	195,341	234,458	1,200
GUANAJUATO	399,007	666,431	1,670
GUERRERO	463,068	828,356	1,789
HIDALGO	247,224	439,723	1,779
JALISCO	676,892	2,226,388	3,289
MEXICO	668,210	2,397,144	3,587
MICHOACÁN	464,939	904,757	1,946
MORELOS	42,689	95,854	2,245
NAYARIT	55,773	144,399	2,589
NUEVO LEON	48,208	61,180	1,269
OAXACA	390,655	452,964	1,159
PUEBLA	567,118	1,077,138	1,899
QUERÉTARO	88,050	107,156	1,217
QUINTANA ROO	49,868	34,370	0,689
SAN LUIS POTOSÍ	146,073	197,093	1,349
SINALOA	107,329	317,517	2,958
SONORA	35,251	119,401	3,387
TABASCO	50,113	92,162	1,839
TAMAULIPAS	243,123	658,631	2,709
TLAXCALA	144,571	305,474	2,113
VERACRUZ	539,649	846,122	1,568
YUCATÁN	141,316	118,860	0,841
ZACATECAS	401,147	458,416	1,143

Fuente: S.A.R.H. El Sector Alimentario en México. 1993

**TABLA 2A. PRODUCCIÓN DE MAÍZ SEGUN ENTIDAD FEDERATIVA (TON).
AÑOS AGRÍCOLAS 1991 A 1995**

ENTIDAD FED.	1991	1992	1993	1994	1995
TOTAL NACIONAL	14,251,500	16,929,342	18,125,263	18,235,826	18,305,780
AGUASCALIENTES	47,420	73,188	65,997	74,037	85,562
BAJA CALIFORNIA NORTE	2,012	25,912	61,878	23,661	6,315
BAJA CALIFORNIA SUR	77,843	87,715	89,601	97,492	40,862
CAMPECHE	55,565	111,122	82,268	115,314	54,869
COAHUILA	62,955	130,403	104,002	96,172	22,514
COLIMA	65,372	58,119	76,546	90,568	90,645
CHIAPAS	983,415	1,607,369	1,594,100	1,096,254	1,696,001
CHIHUAHUA	739,955	948,238	880,082	487,031	303,627
DISTRITO FEDERAL	22,168	16,565	16,070	16,216	12,249
DURANGO	239,127	248,521	289,215	325,088	207,052
GUANAJUATO	532,760	784,174	1,255,706	1,020,245	824,005
GUERRERO	786,516	983,801	886,836	765,736	1,112,267
HIDALGO	383,867	485,430	362,081	453,166	406,140
JALISCO	2,310,590	2,421,193	2,379,659	2,125,336	2,230,327
EDO. DE MÉXICO	1,755,997	1,901,215	1,233,450	1,561,746	2,146,471
MICHOACÁN	979,195	920,566	1,060,769	1,042,268	1,283,807
MORELOS	67,511	102,929	94,753	97,599	115,942
NAYARIT	177,992	170,805	181,366	317,063	225,790
NUEVO LEÓN	91,140	92,629	99,691	159,112	54,759
OAXACA	422,014	512,818	547,654	623,953	727,210
PUEBLA	1,020,398	1,164,429	1,018,884	881,146	1,058,236
QUERÉTARO	60,640	136,505	111,856	168,409	186,490
QUINTANA ROO	16,227	33,546	16,848	6,616	10,410
REGIÓN LAGUNERA					80,711
SAN LUIS POTOSÍ	210,361	174,692	135,392	193,209	161,849
SINALOA	821,000	960,109	2,449,096	2,762,275	2,037,460
SONORA	393,714	291,271	456,659	542,981	455,944
TABASCO	74,294	67,025	71,205	125,365	99,995
TAMAULIPAS	443,304	747,037	1,108,758	1,355,550	818,091
TLAXCALA	262,051	379,671	253,806	310,065	296,067
VERACRUZ	797,570	895,397	779,912	929,953	1,092,870
YUCATÁN	131,844	153,048	116,297	94,582	64,784
ZACATECAS	216,683	243,900	244,826	277,618	296,459

FUENTE : SAGAR-FAO-IMTA en base a datos oficiales de la SAGAR

por los circuitos comerciales bajo un régimen de precios de garantía fijados periódicamente por el Gabinete Agropecuario

La comercialización y abasto del maíz, se lleva a cabo a través del sector público por conducto de CONASUPO y el sector privado, vía múltiples agentes, instancias que conforman la oferta nacional con adquisiciones nacionales e importaciones; y cuya oferta tiene los siguientes destinos: El consumo humano, principalmente a través de la tortilla de masa nixtamalizada o harina (el 63.4% del maíz destinado al consumo humano se utiliza en la elaboración de tortilla)(Consumo de Maíz-tortilla por Entidad Federativa 1986. INEGI), el consumo animal, la manufactura industrial comprendida principalmente por la producción de almidones, glucosas, féculas y frituras; y como semilla para siembra, cabe destacar que existe un 10% de mermas las cuales ocurren durante la movilización del grano, el almacenamiento y su comercialización (Consumo Nacional según destino, en Maíz: Abasto y Comercialización. INEGI 1988)

Durante el periodo 1983-1986 el volumen total de maíz comercializado se mantuvo alrededor de los 10 millones de toneladas anuales, sin embargo en ese lapso se registró un cambio significativo: CONASUPO dejó de ser el principal agente comercializador al reducir su participación total de 55% en 1983 al 35% en 1986, en contrapartida, el sector privado logró una mayor presencia pasando de 45% a un 65% en los años referidos (Participación de CONASUPO y el Sector Privado en las adquisiciones nacionales y de importación, en: Maíz, Abasto y Comercialización. INEGI 1988).

Lo anterior fue resultado de una estrategia que buscaba inducir una mayor participación del sector privado en la comercialización de granos y contribuir para una función más eficiente de CONASUPO en la regulación del mercado de productos básicos

A partir de 1985, el organismo paraestatal dejó de ser el único importador del grano al entrar en operación el Comité Participativo de Comercialización de Maíz, lo que permitió que para 1985 y 1986 se importara el 11.1% y 21.8% respectivamente (Tabla 4). Para el periodo registrado de 1987 a 1991 CONASUPO participa en la comercialización de maíz con un 22.9%, y destina un mayor porcentaje de participación a la comercialización de leche en polvo durante los años referidos (Participación de CONASUPO en la comercialización nacional de granos, en: El Sector Alimentario en México, 1993).

El consumo aparente de maíz durante los años 1986 a 1991 mantiene un promedio de alrededor de 15 millones de toneladas (Tabla 2B) y se observa una muy considerable diferencia con relación al consumo de los demás productos agrícolas (El Sector Alimentario en México, 1993), lo que confirma que el maíz es el principal cereal de consumo a nivel nacional. Este consumo se realiza principalmente a través de tortilla, siendo las principales

entidades federativas consumidoras de maíz como tortilla: el Estado de México, Distrito Federal, Veracruz, Jalisco, Puebla, Guanajuato y Michoacán (Consumo de Maíz-Tortilla por Entidad Federativa 1986 en: Maíz Abasto y Comercialización de Productos Básicos INEGI)

Tabla 2B. Consumo Aparente de Principales Productos Agrícolas 1986-1991 (miles de toneladas)

PROD AGRICOLAS	1986	1987	1988	1989	1990	1991
Productos Básicos						
Arroz Limpio	351	407	302	531	411	229
Frijol	1 264	1 063	899	705	1 617	1 410
Maíz	13,420	15,201	13,896	14,600	18,737	15,658
Trigo	4,994	4 830	4,687	4,574	4,268	4,602
Ajónjolí	1	18	ND	34	33	ND
Cártamo	161	219	247	142	159	88
Soya	1,536	1 890	1,324	2,102	1,472	2,214

Fuente: IV Informe de Gobierno, 1992

ND No Disponible

INEGI, Anuario Estadístico del Comercio Exterior de los Estados Unidos Mex.

Tabla 4. Participación de Conasupo y el Sector Privado en las Adquisiciones Nacionales y de Importación: 1983-1986 (miles de toneladas)

CONCEPTOS	1983		1984		1985		1986	
	VOLUMEN	%	VOLUMEN	%	VOLUMEN	%	VOLUMEN	%
Compras totales	10 039.6	100.0	10 770.7	100.0	9 928.3	100.0	10 146.3	100.0
CONASUPO	5 530.3	54.9	4 979.7		3 689.0	37.2	3 538.1	34.9
Sector Privado	4 530.3	45.1	5 791.0		6 239.3	62.8	6 608.2	65.1
				53.8				
Compras Nacional	6 137.6	100.0	8 257.7	100.0	8 127.8	100.0	8 629.9	100.0
CONASUPO	1 607.3	26.2	2 466.7		2 089.0	25.7	2 353.0	27.3
Sector Privado	4 530.3	73.8	5 791.0		6 038.8	74.3	6 276.9	72.7
				70.1				
Compras/Import	3 902.0	100.0	2 513.0	100.0	1 800.5	100.0	1 516.4	100.0
CONASUPO	3 902.0	100.0	2 513.0	100.0	1 600.0	88.9	1 185.1	78.2
Sector Privado	-----	---	-----	---	200.5	11.1	331.3	21.8
				0				

Fuente: S.A.R.H., CONASUPO y el Comité Participativo de Comercialización de Maíz.

A fin de complementar la oferta interna de maíz y con el objeto de satisfacer las necesidades de consumo nacional, a lo largo del año CONASUPO realiza importaciones para cubrir oportunamente los requerimientos de los estados deficitarios de grano y para mantener en un nivel adecuado la reserva técnica. A través de los años, las exportaciones de maíz se han visto disminuidas y las importaciones se han incrementado manteniéndose durante el periodo 1987-1990 alrededor de 3 a 4 millones de toneladas mismas que ayudaron a satisfacer la demanda nacional (Maíz, Exportaciones e Importaciones, en Cultivos Básicos, Principales Indicadores, SARH, 1960-1991)

El maíz actualmente se cultiva en casi todos los países del mundo gracias a las variedades híbridas que se adaptan a todos los climas. Los principales países productores a nivel mundial son por orden de importancia: Estados Unidos, China, Brasil, Francia, Rumania y Sudáfrica (Tabla 5)

Tabla 5. Principales Países productores de Maíz a nivel mundial 1989

País	Producción (miles de toneladas)
Estados Unidos	191,197
China	75,840
Brasil	26,508
Francia	12,926
Rumania	11,800
Sudáfrica	11,700

Fuente: INEGI/CONAL. El Sector Alimentario en México, 1991

Para el año 1991, la producción mundial de maíz representó casi 479 millones de toneladas en una superficie cosechada de 129 millones de hectáreas, en donde los países anteriormente citados se distinguieron por su mayor producción y rendimiento por hectárea. México contribuyó para ese año con alrededor de 13.5 millones de toneladas en una superficie cosechada de alrededor de 7 millones de hectáreas (Tabla 6).

La industria del maíz está constituida por establecimientos que procesan el grano mediante la molinera y/o nixtamalización para la obtención de insumos y bienes de consumo directo. La industria está orientada principalmente a tres tipos de actividad: Molinera de nixtamal, Fabricación de harina, y Fabricación de derivados del maíz, esta última subdividida en molinera húmeda (para la obtención de almidones, glucosas, etc.) y molinera seca (para la fabricación de hojuelas, frituras, botanas, etc.).

El principal consumo de maíz, como ya se ha mencionado es a través de la tortilla elaborada con masa de nixtamal y/o harina, representando éste el mayor porcentaje de la oferta comercial del grano. Los molinos de nixtamal

TABLA 6. SUPERFICIE COSECHADA, RENDIMIENTO Y PRODUCCION DE MAIZ SEGUN PAISES SELECCIONADOS, 1991.

	SUPERFICIE COSECHADA (Miles de Ha.)	RENDIMIENTO (Kg./Ha.)	PRODUCCION (Miles de Ton.)
TOTAL MUNDIAL	129 150	3 707	478 775
AFRICA	20 739	1 593	33 038
Sudáfrica	a/3 026	2 710	a/8 200
Egipto	a/911	5 785	a/5 270
Kenya	1 550	1 452	2 250
Tanzania	1 848	1 262	2 332
Zimbawa	1 101	1 441	1 386
Etiopia	b/1 050	1 514	b/1 590
Otros	11 253	1 049	11 810
AMERICA	54 899	4 557	250 197
Estados Unidos	27 859	6 815	189 867
Brasil	11 892	1 901	22 604
México	7 051	1 918	13 527
Canadá	1 084	6 752	7 319
Venezuela	a/525	2 095	a/1 100
Guatemala	600	1 917	b/1 150
Otros	5 888	2 485	14 630
ASIA	38 554	3 307	127 514
China	20 490	4 556	b/93 350
India	5 700	1 459	8 200
Indonesia	3 009	2 130	6 409
Tailandia	1 545	2 583	3 990
Filipinas	3 589	1 297	4 655
R.D. de Corea	b/714	6 303	b/4 500
Otros	3 507	1 828	6 410
EUROPA	10 921	5 418	59 168
Rumania	2 570	4 083	10 493
Francia	1 766	7 241	12 787
Yugoslavia	a/2 300	3 826	b/8 800
Italia	857	7 244	6 208
Hungría	1 126	6 669	7 509
España	483	6 524	3 151
Otros	1 819	5 618	10 220
OCEANÍA	87	5 343	358
Australia	45	3 533	159
Nueva Zelandia	a/18	10 833	a/195
Otros	4	1 000	4
URSS	3 970	2 141	b/8 500

Nota: Debido al redondeo, la suma de los parciales puede no coincidir con los totales.

a/ Cifras Extraoficiales.

b/ Estimaciones de la FAO.

FUENTE: ONU, FAO, "Anuario de Producción" (varios años).

son pequeñas unidades que sustentan procesos productivos semi-manufacturados, mientras que las fábricas de harina de maíz representan establecimientos industriales de mayor escala productiva.

La masa de nixtamal es obtenida mediante el cocimiento del grano en una solución de agua con cal durante un tiempo determinado necesario para obtener el grano nixtamalizado, el cual se lava y somete a molienda húmeda en molinos de piedra con la consiguiente obtención de la masa de nixtamal, misma que deberá comercializarse de inmediato debido a su carácter perecedero. En la elaboración de harina de maíz se obtiene la masa de nixtamal siguiendo el proceso anterior, después ésta se seca y somete a molinos de impacto hasta obtener la harina con la textura descada.

Para 1986, la industria tradicional del maíz estaba integrada por 12,390 molinos, 10,642 tortillerías y 9,659 molino-tortillerías distribuidos a lo largo del país. El 52.8% del total de establecimientos se encontraban ubicados en el Distrito Federal, Área Metropolitana y los estados de Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Puebla y Veracruz. (Establecimientos de la Industria Tradicional del Maíz por Entidad Federativa, en Maíz, Abasto y Comercialización INEGI 1988).

La industria harinera de maíz se considera relativamente nueva pues su origen data de 1949, año en que inicia actividades el grupo industrial Molinos Azteca, S.A. (MASECA) con la instalación de un pequeño establecimiento procesador de maíz en Nuevo León. Para 1986, la producción de harina de maíz se lleva a cabo a través de establecimientos industriales los cuales sumaban 17 distribuidos para Industrias CONASUPO, S.A. de C.V. (ICONSA), Maíz Industrializado CONASUPO S.A. (MICONSA), ambas paraestatales, y el grupo MASECA perteneciente al sector privado.

La industria de derivados del maíz está orientada a la producción de almidones, fculas, glucosas y frituras, pero tiene una baja incidencia en el consumo nacional de maíz con relación al consumo de tortilla pues para 1986 participó escasamente con el 3.6% (Consumo Nacional según destino, en Maíz, Abasto y Comercialización, INEGI 1988). La capacidad instalada total de esta industria se encuentra localizada el 71% en el estado de Jalisco y el 29% restante en los estados de México y Querétaro (Capacidad Instalada y Participación de la Industria Harinera y Almidonera según ubicación Regional, en Maíz, Abasto y Comercialización, INEGI 1988).

4.5 GENERALIDADES DEL MAÍZ.

4.5.1 Características Generales y Estructurales

Los granos de maíz son producidos dentro de una inflorescencia femenina llamada espiga. Aproximadamente 800 granos se producen en una espiga desarrollada adecuadamente y deben ser removidos de la mazorca por el proceso de desgrane. (Watson, S.A., Ramstad, P.E. 1987) (Fig. 5 Estructura de la planta de Maíz)

El grano de maíz es clasificado botánicamente como cariósipide, un fruto seco indehiscente (significa que no se abre por sí solo) de una semilla simple. Este tipo de fruto en el cual la pared ovárica madura conocida como pericarpio no se separa naturalmente de la semilla, es característica de todos los cereales. El grano se encuentra unido a la mazorca a través del pedúnculo, cuando el grano es removido de la mazorca, el pedúnculo se rompe al azar dejando un final dentado. La estructura cónica, que permanece unida al grano se llama tip cap o punta (Watson, SA, Ramstad, PE, 1987).

Las diferencias en tamaño y forma de los granos de maíz son debidas a diferencias de origen genético y a su colocación dentro de la mazorca. Un peso promedio de grano de maíz dentado es de 250-300 mg (Watson, SA, Ramstad, PE, 1987).

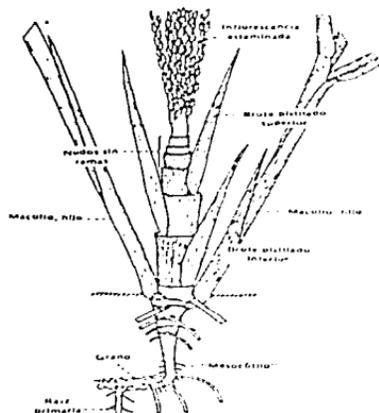


Fig. 6 Esquema Estructural de la Planta de Maíz. (Weatherwax, 1935).

4.5.1.1 Estructura del grano de maíz

El grano de maíz es la semilla reproductora de la planta del maíz, de tal forma que su estructura y composición existen para propósitos de

reproducción más que de proceso. El grano está compuesto de 4 partes principales: germen, endospermo, pericarpio y punta, cada una de ellas presenta diferentes características de composición de importancia en la utilización del grano de maíz (E. Food Science, Food Tech. and Nutrition, 1993), (Fig 7 Estructura del grano de Maíz)

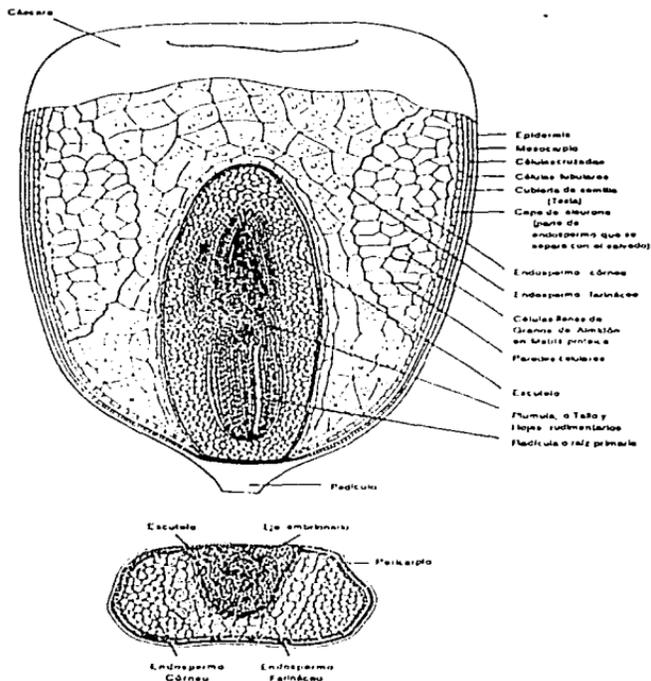


Fig. 7 Estructura del Grano de Maíz. Cortes longitudinal y transversal.

a) Germen.- desde el punto de vista reproductivo, es el foco primario del grano de maíz, ya que contiene todas las enzimas esenciales, nutrientes y material genético para producir una planta de maíz. El germen está compuesto por el embrión y el escutelo, éste funciona como un órgano nutritivo para el embrión

El germen representa del 10-12% del peso seco del grano(Tabla 7)(Watson, SA, Ramstad, PE, 1985), almacena nutrientes y hormonas los cuáles son movilizados por enzimas elaboradas durante las etapas iniciales de la germinación. El escutelo es una sencilla capa de células secretoras las cuáles forman el contacto primario entre el germen y el endospermo (Watson, SA, Ramstad, PE, 1987),(E. Food Science, Food Tech and Nutrition, 1993)

b) Endospermo.- representa la mayor porción del grano, constituye 82-84% del peso seco del grano y está compuesto principalmente por almidón (86-89%), (Tabla7)(Watson, SA, Ramstad, PE,1987) Está comprendido por células alargadas empacadas con gránulos de almidón de 5 - 30 μ m empotrados en una matriz proteica continua. El endospermo almidonoso es de dos tipos harinoso y córneo, ambos están comprimidos por la matriz proteica que encapsula los gránulos de almidón. El endospermo harinoso rodea la fisura central del grano y es opaco para transmitir la luz. La opacidad es debida a la refracción de la luz sobre bolsas de aire alrededor de los gránulos de almidón las cuáles resultan del desgarramiento de la delgada matriz proteica cuando se encoge ésta durante el secado. La matriz no se alarga completamente alrededor de los gránulos de almidón y éstos asumen una forma redondeada. El endospermo córneo se encuentra principalmente a los lados del grano, la matriz proteica que lo cubre es más gruesa y permanece intacta durante el secado, los granulos de almidón se encuentran comprimidos en forma polihédrica, son de aspecto translúcido y no presentan cavidades aéreas (Watson, SA, Ramstad, PE,1987), (Hoseney, R Carl, 1991)

Tabla 7 Partes Componentes y su Composición en el Grano de Maíz.

Parte	% en Peso del grano entero (b s)	Composición				
		Al	Gr	Pr	C	Az
Endospermo (prom)	82.9	87.6	0.80	8.0	0.3	0.62
Germen (prom)	11.1	8.3	33.2	18.4	10.5	10.8
Pericarpio (prom.)	5.3	7.3	1.0	3.7	0.8	0.34
Punta (prom.)	0.8	5.3	3.8	9.1	1.6	1.6
Grano Entero (prom)	100	73.4	4.4	9.1	1.4	1.9

Fuente: Watson, S.A., Ramstad, P.E., 1987 (Al=almidón, Gr=grasa, Pr=proteína, C=cenizas, Az=azúcares).

La matriz proteica del endospermo está comprendida por glutelina y zeína, la glutelina debido a sus fuertes enlaces disulfuro proporciona al endospermo características estructurales, no ocurre así con la zeína la cuál existe como balones esféricos empotrados dentro de la matriz proteica. (E. Food Science, Food Tech. and Nutrition, 1993)

La proporción de endospermo córneo y harinoso depende del tipo y variedad del maíz. En el maíz dentado, la relación de endospermo córneo/harinoso es en promedio 2.1(Wolf MJ, et al 1952) La capa externa del endospermo, llamada Aleurona, es una capa sencilla de células de apariencia totalmente diferente. Esta capa cubre completamente el endospermo almidonoso y el germen, y es interrumpida sólo a la altura de la punta del grano. Es más delgada cerca del germen. El contenido de las células de aleurona es granular en apariencia conteniendo gránulos de proteína pero no de almidón, éstas células son ricas en minerales y proteína de alta calidad pero nutricionalmente no disponibles para las enzimas digestivas a menos que las células sean desintegradas durante la molienda. En el maíz flint, la capa aleurona representa el 2.2% del grano en base seca y contiene 19.2% de proteína (Watson, SA, Ramstad, PE, 1987)

c) Pericarpio.- es la estructura más externa de la semilla, es una membrana delgada, transparente, casi invisible, llamada cubierta de la semilla. Se adhiere firmemente a la superficie externa de la capa aleurona y además imparte propiedades semipermeables al grano de maíz, esto se demuestra porque granos de maíz completamente hidratados muestran efectos de presión osmótica sobre la transferencia entre agua pura y soluciones salinas (Watson, SA, Ramstad, PE, 1987)

El pericarpio representa el 5 - 6% del peso seco del grano (Tabla 7)(Watson, SA, Ramstad, PE, 1987) Todas las partes del pericarpio están compuestas de células muertas que son tubos celulósicos. La capa más externa de tubos celulares es una hilera de tubos longitudinales presionados fuertemente a la capa aleurona. Cerca está una área muy abierta y poco compacta llamada capa de células cruzadas, la cuál tiene una gran distribución de espacio intercelular, esta se encuentra cubierta por una capa delgada y bastante compacta conocida como Mesocarpio formada por células alargadas empacadas y con numerosos hoyos, éstos hoyos y las áreas abiertas en el cruce de la capa celular proveen interconexiones capilares entre todas las células lo cual facilita la absorción de agua. La capa más externa de células llamada Epidermis, está formada por una cubierta cerosa que probablemente retarda el intercambio de humedad. Helm y Zuber (1969) encontraron que el espesor de la capa de pericarpio varía desde 62 µm a 160 µm y demostraron que el cultivo de granos de ambos espesores delgado o grueso puede ser exitosa (Helm y Zuber 1972) El pericarpio se extiende desde la base del grano hasta la punta.

d) Punta.- la punta del grano es el lugar de unión de éste con la mazorca y el pasillo donde se realiza el movimiento de nutrientes para el desarrollo del grano (E. Food Science, Food Tech. and Nutrition, 1993), constituye aproximadamente 1% del peso seco del grano (Tabla 7) (Watson, SA, Ramstad, PE,1987) Dentro de la punta hay células esponjosas en forma de estrella conectadas solo por los finales de las ramas formando así una estructura abierta que es continua con la capa de células cruzadas. Quitando la punta se expone una capa circular café oscura conocida como capa negra que se encuentra contra la base del germen y del endospermo, esta capa parece ser una capa de separación con una probable función de sellado de la punta al grano, y sirve como una barrera que protege al grano contra la invasión de insectos y microorganismos (E. Food Science, Food Tech. and Nutrition, 1993) La aparición de la capa negra coincide aproximadamente con la maduración del grano y la suspensión de la acumulación de la sustancia seca (Watson, SA, Ramstad, PE,1987).

4.5.2 COMPOSICION QUIMICA DEL GRANO DE MAIZ

El principal componente del maíz es el almidón, el 98% de éste se encuentra en el endospermo. Sobre la base del grano entero el contenido de almidón es de 72-73% (Tablas 7 y 8)(Watson, SA, Ramstad, PE,1987). El endospermo también contiene 74% de la proteína del grano, de las cuáles la mayoría son proteínas insolubles almacenadas. El germen es el mayor depositario de lípidos lo cual equivale a 83% del total de lípidos del grano. La mayor parte de lípidos del germen son triacilglicéridos los que por extracción dan el bien conocido aceite comercial de maíz. El germen es un tejido activo potencial metabólicamente y contiene el 70% de azúcar del grano y 26% de la proteína del mismo. La mayoría de las proteínas del germen son albúminas o globulinas y probablemente son componentes del aparato enzimático de las células (Watson, SA, Ramstad, PE,1987).

a) Minerales

El germen de maíz es rico en elementos minerales (cenizas) probablemente porque son esenciales para el crecimiento del embrión. El componente inorgánico más abundante es el fósforo (Tabla V,Watson, SA, Ramstad, PE,1987), está presente como sales de magnesio y potasio del ácido fítico, el fósforo es liberado por las enzimas fitasas para iniciar el desarrollo embrionario. El azufre es el cuarto elemento inorgánico más abundante del maíz, se encuentra presente en la forma orgánica como un constituyente de los aminoácidos metionina y cisteína. Los metales pesados tóxicos están presentes en el maíz por debajo de los niveles que causan toxicidad en animales. El maíz es una fuente importante de selenio en las raciones para animales.(Watson, SA, Ramstad, PE,1987).

b) Vitaminas.

El maíz contiene 2 vitaminas solubles en grasa: vitamina A (b-caroteno) y vitamina E, y la mayoría de las vitaminas solubles en agua (Tabla VI, Watson, SA, Ramstad, PE,1987) El contenido del b-caroteno del maíz es genéticamente variable en maíces híbridos y naturales. Este es gradualmente destruido por oxidación junto con otros pigmentos carotenoides durante el almacenaje prolongado. Las vitaminas solubles en agua Tiamina (B1) y Piridoxina están presentes en concentraciones suficientes para ser importantes en raciones para animales. La niacina se encuentra presente a altas concentraciones en la forma ligada, la cuál es en su mayor parte no disponible para animales monogástricos, sin embargo el tratamiento con alcali tal como ocurre en la mixtamalización, la hace disponible. (Watson, SA, Ramstad, PE,1987)

Tabla 8. Análisis Aproximado del Grano de Maíz

COMPOSICION	RANGO	PROMEDIO
Humedad (% base seca)	7 23	16.0
Almidón (% base seca)	61 78	71.7
Proteína (% base seca)	6 12	9.5
Grasa (% base seca)	3.1 5.7	4.3
Cenizas (óxido) (% base seca)	1.1 3.9	1.4
Pentosas (como xylosa) (% b s)	5.8 6.6	6.2
Fibra (residuo deterg n) (% b s)	8.3 11.9	9.5
Celulosa+lignina (r deterg ácido)(% b s)	3.3 4.3	3.3
Azúcares totales (glucosa) (% b s)	1.0 3.0	2.6
Carotenoides totales (mg/kg)	5 40	30

Fuente: Watson, S A , Ramstad, P E 1987

c) Compuestos Nitrogenados.

El contenido proteico está influenciado por la disponibilidad de nitrógeno del suelo y por genética, éste puede variar desde 4.4% hasta 26.6% (Watson, SA, Ramstad, PE,1987) La aplicación de abono o fertilizante normal al maíz dentado puede incrementar el contenido total de proteína hasta 11.5%, y el crecimiento del maíz en suelo carente de nitrógeno puede producir granos con proteína tan baja como 6%. Los cambios en el contenido total de proteína son ante todo cambios en la proteína del endospermo principalmente zeína. Si el contenido de proteína se incrementa, la cantidad de endospermo corno se incrementa (Hamilton et al,1951). La proteína total del maíz es un complejo de numerosas moléculas proteicas, cada una de las cuáles son polímeros de aminoácidos.

d) Lípidos.

Las principales sustancias lipídicas son grasas, ceras, fosfátidos, cerebrosidos, esteroides y carotenoides. Aproximadamente el 85% de los lípidos del maíz ocurre en el germen, el cual es la fuente comercial de aceite de maíz. La composición del aceite refinado de maíz es principalmente triglicéridos de ácidos grasos (Inglett GE, 1970). El contenido total de lípidos en el grano de maíz varía desde 1.2% a 5.7% (Inglett GA, 1970), aunque se han producido híbridos con contenido lipídico tan alto como 7-8% pero la producción de granos no es la óptima (Watson, SA, Ramstad, PE, 1987). La riqueza en aceite del maíz varía mucho, son variables, tanto la proporción de germen en el grano, como la proporción de aceite en el germen y las dos variables parecen estar controladas genéticamente (Hoseney R Carl, 1991). Los pigmentos del maíz están asociados con la proteína del endospermo, y su concentración es mayor en el endospermo córneo (Blessin et al, 1963)

e) Carbohidratos

El almidón es el principal carbohidrato del maíz y representa el 72-73% del grano. Los azúcares presentes son principalmente sucrosa, glucosa y fructosa en cantidades de sólo 1-3% del grano (Tabla 7)(Watson, SA, Ramstad, PE, 1987). La sucrosa es el azúcar mayoritario encontrándose 3/4 del total en el germen y el 1/4 remanente en el endospermo. Los granos de maíz también contienen 2-3% de fibra cruda, el pericarpio proporciona 41-46% de hemicelulosa por extracción alcalina (Inglett GE, 1970).

El gránulo de almidón en el maíz dentado normal contiene 2 clases de moléculas amilosa y amilopectina, en proporción aproximada de 27% de amilosa y 73% de amilopectina, ambas moléculas son polímeros de alto peso molecular formadas por unidades de D glucosa. Se han encontrado mutantes de maíz cuyo almidón está compuesto prácticamente por 100% de amilopectina, estos almidones se llaman cerosos y el maíz es llamado maíz céreo debido a la apariencia cerosa de su endospermo (Inglett GE, 1970). También se conocen mutantes cuyos almidones tienen niveles de amilosa extraordinariamente altos. Algunas líneas de maíz tienen el almidón con 70% de amilosa, estos se llaman amilotipos (Hoseney R Carl, 1991).

f) Otras sustancias

El maíz contiene otros compuestos químicos y materiales en muy bajas concentraciones, muchas de estas sustancias son enzimas o sus precursores vitales para el crecimiento del embrión. El maíz seco maduro tiene un bajo nivel de la actividad de la α -amilasa la cual se incrementa durante la germinación exclusivamente en el escutelo. Las lectinas, las cuales son glucoproteínas con actividad hemaglutinante se han encontrado presentes en el endospermo y el germen del grano de maíz ((Watson, SA, Ramstad, PE, 1987),(Hoseney R Carl, 1991), (Badui D. S. 1993)

4.5.3 PROPIEDADES FISICAS DEL GRANO DE MAIZ.

a) Tamaño y Forma

Comparado con otros granos cereales, el maíz dentado presenta el tamaño de grano más grande y la menor densidad específica (Tabla I, Watson, SA, Ramstad, PE, 1987). Las diferencias en tamaño y forma de los granos de maíz, son debidas a diferencias de origen genético y a su colocación dentro de la mazorca. Los granos al final de la cabeza son largos y redondeados y aquellos al final de la punta son pequeños y redondos. Los de enmedio generalmente son aplanados debido a la presión de granos adyacentes durante el crecimiento. Un peso promedio de grano dentado es 250-350 mg con un rango de 100-600mg. Las medidas promedio de un grano en el centro de la mazorca son 4mm espesor, 8 mm ancho y 12 mm largo. La variedad y el medio ambiente producen variaciones en el tamaño y la forma del grano (Watson, SA, Ramstad, PE, 1987)

La clasificación del maíz está basada en las características físicas del grano (Watson, SA, Ramstad, PE, 1987)

Maiz Flint. - tiene una corona redondeada y los granos más duros debido a la presencia de un mayor volumen de endospermo córneo

Maiz Palomero. - es un tipo de maíz flint pequeño

Maíz Amiláceo. - generalmente tiene una corona redondeada o plana y su endospermo es en su mayoría suave o harinoso

Maíz Dentado. - presenta una corona deprimida que se forma cuando el grano maduro se deshidrata. Este maíz es un derivado de la cruce del flint y el amiláceo, por lo que puede mostrar diferencias significativas en la relación córneo/harinoso del endospermo causadas por influencias heredables y de medio ambiente

Maíz Dulce. - este difiere del maíz duro solo por un gen recesivo (*su*) el cuál impide la conversión de una parte del azúcar en almidón, presenta una apariencia translúcida y cornea cuando está inmaduro y una condición vítrea cuando está seco

b) Color

Los granos de maíz pueden diferir significativamente en color, desde el blanco al amarillo, naranja, rojo, morado y café. Las diferencias en color pueden ser debidas a diferencias genéticas en pericarpio, aleurona, germen y endospermo (Watson, SA, Ramstad, PE, 1987). Cada una de estas fracciones puede presentar diferente coloración, desde el incoloro hasta el café, obviamente el pericarpio y la capa aleurona deberán ser incoloros para que el verdadero color del endospermo sea visto. Sólo los maíces dentados blancos o amarillos son cultivados comercialmente (Watson, SA, Ramstad, PE, 1987)

c) Humedad

La humedad o contenido de agua del grano de maíz es un componente natural que tiene influencia significativa sobre los cambios de calidad, las propiedades del proceso y sobre aspectos económicos (Watson, SA, Ramstad, PE, 1987). El agua en el grano es un diluyente de las substancias orgánicas presentes que lo hacen de mayor utilidad. A contenidos de humedad altos de 28-32% el maíz está fisiológicamente maduro, se baja hasta aproximadamente 20% de humedad, donde los granos tienen una textura suave que permite fácilmente el manejo de la cosecha mecánica. A menores contenidos de humedad, los granos son más duros y pueden resistir el manejo brusco. Por debajo de 12% de humedad, los granos se convierten especialmente quebradizos. El contenido de humedad óptimo (23-24%) para la cosecha, no resulta óptimo para su transportación, almacenaje o usos subsecuentes, de ahí que deba secarse después de cosechado para prevenir deterioro por contaminación o germinación (Watson, SA, Ramstad, PE, 1987). La manera como es removida el agua del grano, presenta también efectos sobre la calidad del mismo. La rápida remoción del agua ocasiona grietas y fisuras por presión dentro del grano. El secado a temperatura ambiente o a bajas temperaturas reduce el daño por fisuras y la susceptibilidad al rompimiento del grano (Watson, SA, Ramstad, PE, 1987).

El maíz generalmente es cosechado mecánicamente con contenidos de humedad que van de 18% a 30% y secado hasta una humedad segura para el almacenaje. Si el maíz es cosechado sobre la inflorescencia femenina, donde los granos permanecen en la mazorca durante el secado, éste es cosechado a contenidos de humedad que no excedan 21% y secado en cribas o botes de alambre por ventilación natural. La selección del procedimiento de secado depende de la disponibilidad de equipo, costos de energía, velocidad de cosecha, tiempo de secado, etc. (E. Food Science, Food Tech. and Nutrition, 1993).

El secado del grano a temperaturas por arriba de 55°C puede resultar en un decremento del rendimiento de producto y en un incremento de problemas durante el proceso. El secado rápido frecuentemente ocasiona fracturas internas del grano las cuales reducen la fuerza mecánica del mismo y resultan en mayor porcentaje de granos rotos durante el manejo (E. Food Science, Food Tech. and Nutrition, 1993).

Para un almacenaje prolongado del grano de maíz, se requiere un contenido de humedad de 13%, sin embargo para almacenaje mayor a un año en climas moderados, el maíz puede ser almacenado con contenidos de humedad de 14%. La humedad máxima de almacenaje permitida varía con la temperatura y la humedad relativa del aire en los espacios que rodean a los granos de maíz. Las fluctuaciones en la temperatura y la humedad atmosférica pueden resultar en migración de humedad dentro del grano, lo que propicia crecimiento de hongos e insectos (E. Food Science, Food Tech. and Nutrition, 1993).

La mayoría de las propiedades físicas del grano varían con diferencias en el contenido de humedad, de una variedad a otra, de un año a otro y en la producción de una región a otra. Deficiencias de humedad en el cultivo pueden producir granos más pequeños, heladas prematuras pueden ocasionar granos de menor densidad (Watson, SA, Ramstad, PE, 1987) El contenido de humedad del grano afecta también su densidad volumétrica, debido a que el agua tiene una gravedad específica de 1.0 y los sólidos del maíz de aproximadamente 1.3, la densidad volumétrica se incrementa conforme decrece el contenido de humedad (Watson, SA, Ramstad, PE, 1987)

Cuando se determinan las propiedades físicas del grano de maíz el contenido de humedad debe ser determinado con precisión. Estos cambios en las propiedades del grano con cambios en el contenido de humedad son debidos en gran parte a la absorción o desorción de vapor de agua lo que produce cambios en la densidad y el volumen. Tales cambios son aún más dramáticos cuando los granos están puestos en contacto directo con agua líquida como ocurre cuando el maíz es remojado en agua. Fan y colaboradores (1962) demostraron que los incrementos en volumen de maíz dentado y palomero a temperaturas de 0-100°C fueron linealmente relacionados al incremento en peso. Los granos harinosos de maíz opaco 2 se hinchan un mayor volumen que los granos de maíz dentado (Watson, SA, Ramstad, PE, 1987)

Como la mayoría de plantas deshidratadas, el maíz absorbe agua inicialmente a una velocidad alta para llenar sus capilares. Esto es seguido de una gradual caída en la velocidad mientras el agua se difunde a través del tejido y es absorbida dentro de sus componentes celulares. Los niveles de velocidad son de 4 a 8 horas a temperaturas arriba de 71°C. Por encima de esta temperatura, la gelatinización del almidón causa el más rápido hinchamiento. A partir de aquí, la humidificación de los contenidos celulares del endospermo y del germen se realiza por un proceso de difusión más lenta, el cual se incrementa en proporción con el incremento en la temperatura del agua (Fan et al 1962)

El germen absorbe de 3 a 5 veces más agua que el endospermo (Ratkovic et al 1982) (Watson, SA, Ramstad, PE, 1987). Syarif y colaboradores (1984) evaluaron las propiedades de absorción de agua de las diferentes partes de un grano de maíz, y encontraron que el coeficiente de difusión del germen fue 3.5-3.8 veces el del endospermo harinoso y 4.7-5.3 veces el del endospermo córneo (Watson, SA, Ramstad, PE, 1987)

d) Dureza

La dureza es una propiedad intrínseca importante de los granos de maíz, debido a que afecta los requerimientos de la molienda, las propiedades nutritivas, la formación de polvos, la densidad del grano, la densidad

volumétrica, la elaboración de alimentos especiales y el rendimiento de productos en la molinera seca y molinera húmeda.

La dureza es una característica heredable que es modificada por condiciones de manejo post-cosecha. La dureza se ve disminuida por el secado artificial del grano, el cual produce fisuras internas que favorecen la susceptibilidad al rompimiento del grano. El secado lento en el campo no desarrolla grietas. La dureza resulta difícil de medir debido a la complejidad de la estructura del grano, pero está cercanamente relacionada con la razón de endospermo córneo y endospermo harnoso. Diferencias en la compactación de los componentes celulares, tamaño de las células y espesor de la pared celular dentro del endospermo, influyen en las diferencias en dureza (Bennett et al 1950, 1952). Hinton (1953) encontró que el endospermo córneo era 1.5 a 2.0% más alto en proteína que el endospermo harnoso.

Se conoce como textura de los granos de maíz a la proporción relativa de endospermo duro(córneo) a suave(harnoso), la cual se ve afectada por factores genéticos y ambientales. En general, los granos de maíz dentado cuentan con una textura intermedia que varía dependiendo de las condiciones de crecimiento durante la madurez. La textura está estrechamente relacionada con la dureza del maíz, se ha correlacionado en forma positiva con el valor de densidad verdadera y el valor de peso de prueba o densidad volumétrica, y en forma negativa con los valores de flotación. Se han propuesto una serie de métodos para medir la textura, incluyendo mediciones de las áreas duras y suaves del endospermo en las secciones del grano, sin embargo estos métodos son tediosos e imprecisos. Un método práctico es el de medir la textura en forma subjetiva mediante observación de los granos con luz transmitida y calificarla sobre una escala de 1 a 5 (L. W. Rooney, 1995).

Recientemente Pomeranz y colaboradores (1985, 1986a, 1986b) han evaluado la dureza del maíz con el equipo de prueba de dureza Stenvert para el trigo (Stenvert 1974). Esta prueba fue aplicada empleando un molino microhammer y se evaluó tiempo de molinera, altura de la columna de maíz molido y la relación de partículas finas y gruesas tamizadas (Watson, SA, Ramstad, PE, 1987).

Así como la susceptibilidad al rompimiento, el contenido de humedad de los granos tiene una fuerte influencia sobre las mediciones de dureza, ya que el maíz presenta menor resistencia a la molinera cuando el contenido de humedad es reducido por debajo de 16%. Por lo tanto, para comparaciones de mediciones de dureza, las muestras de maíz deberán ser ajustadas a niveles de humedad iguales (usualmente en el rango de 11 - 14%) o aplicar el factor de corrección a los resultados obtenidos (Watson, SA, Ramstad, PE, 1987).

o) Densidad

La densidad es una medida del peso por unidad de volumen, y en el grano de maíz puede ser expresada de dos formas: Densidad Volumétrica y Densidad verdadera. La determinación de la densidad verdadera se realiza por medición del peso de un volumen dado de líquido tal como agua, tolueno o etanol desplazado por un peso conocido del material de prueba (en este caso grano de maíz). La densidad es usualmente expresada como gravedad específica y comparada con agua la cual tiene una gravedad específica de 1.0. La medición de la densidad del grano en agua daría una lectura directa, pero los granos de maíz atrapan burbujas de aire cuando son colocados en agua, no ocurre así con el tolueno o etanol. La densidad promedio de un maíz dentado a 12% de humedad es 1.2 g/cm³, de harina de maíz 1.1 g/cm³, y de un maíz flint o palomero arriba de 1.3 g/cm³. La densidad de un grano de maíz es la suma de las densidades de sus componentes. Un endospermo córneo es muy denso, mientras que el endospermo harinoso está lleno de espacios vacíos y su densidad es menor (Watson, SA, Ramstad, PE, 1987).

La densidad del grano se ha medido con métodos de desplazamiento utilizando alcohol, aire, helio o gas nitrógeno. Se determina el volumen de un peso medido de maíz y su densidad se expresa en g/cm³. La densidad del maíz se encuentra entre 1.18 - 1.4 g/cm³ expresada como densidad verdadera. La densidad está estrechamente relacionada con la dureza y la textura del grano de maíz. Los maíces más duros presentan mayores densidades porque el endospermo córneo se encuentra más apretado y con menores espacios de aire; en el caso del endospermo suave, los granos de almidón presentan muchos espacios vacíos de aire presentando menores densidades (L. W. Rooney et al 1995).

La Densidad Volumétrica o Peso de Prueba, es la medición de densidad más ampliamente usada y representa una medida de la densidad volumétrica expresada en libras por bushel (ó Kg/Hl.) y se obtiene por pesado de un volumen específico del grano de maíz. Esta determinación es importante en el almacenaje y transportación del maíz porque determina el tamaño del contenedor requerido para un lote dado de maíz (Watson, SA, Ramstad, PE, 1987). En los Estados Unidos, el Peso de Prueba es medido en libras por bushel, pero en el sistema métrico, se determina en kilogramos por hectolitro. El mínimo peso de prueba para el grado U.S. No 1 es 56 lb/bu (72.08 kg/hl). La densidad volumétrica se considera una medición útil debido a la combinación de densidades de los granos y a la manera como se empacan en un contenedor. Se considera relativamente independiente del tamaño del grano, como lo ilustra el hecho de que muchos productores agrícolas incluyen otras semillas, trigo, soya, y papas, y todas tienen cercanamente los mismos pesos de prueba (Hlynka et al 1959). Pomeranz y colaboradores (1985), encontraron que granos de maíz planos tenían aproximadamente 1.93 kg/hl (1.5 lb/bu) menores en el peso de prueba que

granos redondos, y que dentro de 2 clases de formas el tamaño tenía una influencia insignificante sobre el peso de prueba.

La Densidad Volumétrica (Peso de Prueba, o Peso/Hectolitro) representa el peso del grano dentro de un contenedor con capacidad de 1 litro (67.2 pulgadas cúbicas en la de peso bushel), y el peso registrado se expresa en Kg/Hl (o libras por bushel). Se desea un maíz con una densidad volumétrica de 77.2 Kg/Hl (60 lb/bu) (L.W. Rooney, 1995; S.O. Serna Saldívar, 1993). Granos con menores densidades volumétricas frecuentemente tienen un menor porcentaje de endospermo duro (Cecilia Dorsey, 1991). Mayores pesos de prueba indican que el maíz tiene granos perfectamente rellenos con una mayor proporción de endospermo duro. Por lo tanto el tamaño, forma y suavidad del endospermo afectan la densidad volumétrica del grano de maíz (L.W. Rooney, 1995). El contenido de humedad del grano afecta la determinación del Peso de Prueba, debido a la influencia que ejerce sobre la densidad. La determinación se realiza empleando una balanza de peso por hectolitro.

El tamaño y forma del grano, la densidad volumétrica, la densidad verdadera y el volumen de vacío, son propiedades físicas del grano importantes para el diseño de equipo de manejo y almacenamiento del grano.

f) Volumen de Vacío

El volumen de vacío es una medida del espacio entre granos a granel. Generalmente la menor densidad a granel (densidad volumétrica) proporciona el mayor volumen de vacío. El maíz tiene un volumen de vacío promedio de 42.3%, el cual es un valor intermedio comparado con el de otros cereales: avena 50%, trigo 40%, cebada 47%, sorgo y frijol de soya 36%. El volumen de vacío influye en la velocidad de paso del aire o de fumigantes a través del grano colocado en un recipiente (Watson, SA, Ramstad, PE, 1987).

g) Vitreosidad

Además de la dureza, el aspecto del endospermo es una característica física importante del grano de maíz. Algunos granos son vitreos o de aspecto translúcido, mientras que otros son opacos o harinosos. Tradicionalmente se ha asociado la calidad vitrea con la dureza y alto contenido de proteína, y la opacidad con la blandura y escasez de proteína. Sin embargo la calidad vitrea y la dureza no son producto de la misma causa fundamental, de tal forma que es posible tener granos duros que sean opacos y granos blandos que son vitreos, aunque esto pueda resultar poco frecuente (Hoseney R Carl, 1991).

Las cavidades aéreas del grano, difractan y difunden la luz y hacen que el grano aparezca como opaco o harinoso. En los granos bien repletos, sin cavidades aéreas, la luz se difracta en la interfase aire-grano, pero luego viaja a través del grano sin sufrir la difracción una y otra vez. El resultado es

un grano translúcido o vítreo. Como era de esperar, la presencia de espacios aéreos dentro del grano, es motivo para que los granos opacos sean menos densos. Aparentemente, estos espacios aéreos se forman durante la desecación del grano. Al ir perdiendo agua, la proteína se encoge y rompe dejando espacios con aire. En los granos vítreos la proteína también encoge, pero queda incólume, provocando mayor densidad en el grano. Si se recolecta el grano sin madurar y se deseca por hidratación quedará completamente opaco. Esto indica que el carácter vítreo es el resultado de la desecación final en el campo (Hoseney R Carl, 1991)

En resumen, el endospermo varía en textura (dureza) y en aspecto (calidad vítreo). En general granos duros ricos en proteína tienden a ser vítreos, y granos blandos pobres en proteína tienden a ser opacos. Sin embargo, las causas de su dureza y de su transparencia son diferentes y no siempre se presentan juntas las dos. La dureza es producida por la fuerza de unión entre la proteína y el almidón en el endospermo, fuerza que es controlada genéticamente. La transparencia en cambio, es el resultado de la escasez de cavidades aéreas en el grano. No está claro el mecanismo de control, pero parece estar relacionado con la cantidad de proteína (Hoseney R Carl, 1991).

4.6 PROCESO DE NIXTAMALIZACIÓN.

La palabra "nixtamal" es un derivado del Nahuatl que se compone de las palabras "nextli" cenizas o cenizas de cal, y "tamali" masa de maíz. La "nixtamalización" es el tratamiento alcalino con cal, el cual es una técnica de lixiviación prehispánica empleada para cocer el grano de maíz y obtener una masa apta para la elaboración de tortillas y otros productos derivados tradicionales (Lopez M y Segura-Jauregui J, 1986). La nixtamalización es también el proceso de cocción, remojo y lavado del grano de maíz para producir el nixtamal el cual es entonces molido para formar una masa húmeda y suave, la masa obtenida representa la materia prima para la obtención de diversos productos tales como: tortillas, frituras, harina de maíz, tamales etc. (S.O Serna-Saldivar et al. 1990). Algunas veces el término nixtamalización se refiere al proceso completo de convertir el maíz en tortillas.

La tecnología para la elaboración de la tortilla ha sido transmitida de generación en generación en Mesoamérica. En América Central y México, el procedimiento para la elaboración de tortillas ha sido realizado por mucho tiempo con la tecnología antigua de los aztecas. El maíz es cocido con cal para formar el nixtamal, este es lavado a mano para remover el pericarpio, y entonces molido en un metate hasta formar una fina masa, con la cual se forman las tortillas manualmente y éstas son cocidas sobre un comal, la tortilla resultante tiene un diámetro aproximado de 20 cm (S.O.Serna-Saldivar et al 1990).

El tratamiento del maíz con cal fué muy importante en la antigüedad pues se consideró como distintivo de las sociedades indígenas y tuvo gran influencia en el desarrollo respectivo de estas (Trejo-González A et al, 1982). En la actualidad el maíz continúa siendo la fuente más importante de calorías y proteínas para mucha gente de México y Centroamérica, principalmente en las áreas rurales donde suministra aproximadamente el 70% de la ingesta calórica y cerca del 50% de las proteínas de la dieta diaria (Trejo-González A et al, 1982) (Paredes-López O et al, 1983)

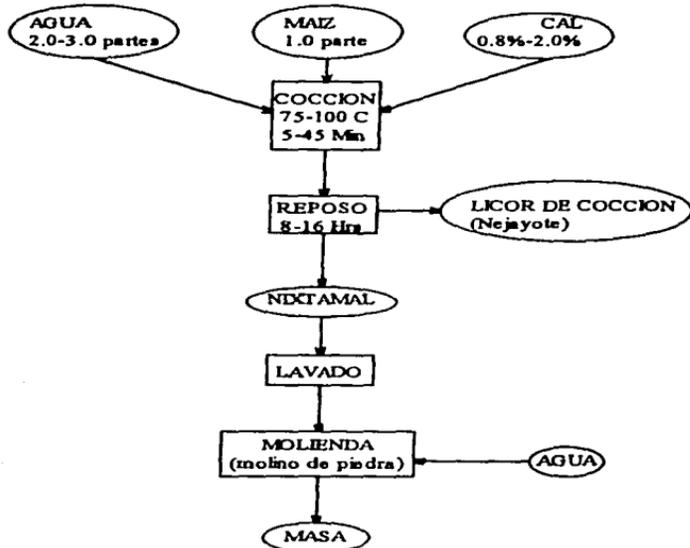
El proceso general de Nixtamalización se describe en la Fig. 8 y consiste en mezclar una parte de grano de maíz con 2 a 3 partes de agua y 0.8 a 2.0% de cal en base al peso del grano, esta mezcla se cuece durante 5 a 45 minutos a temperaturas que oscilan entre 75° y 100°C, se suspende la cocción y el nixtamal obtenido se deja en reposo en la solución caliente con cal de 8 a 16 horas. Posteriormente el licor de cocimiento conocido como nejayote es drenado y el nixtamal es lavado con la finalidad de remover la mayor parte de pericarpio y el exceso de cal hasta que el pH del agua de lavado decrece a 8.5. El nixtamal lavado se muele en molino de piedras talladas radialmente, una de las cuales está fija y la otra gira entre 500 y 700 rpm. Durante la molenda el nixtamal es triturado hasta formar partículas finas y gruesas las cuales son amasadas para obtener una masa cohesiva y plástica que será la materia prima para obtener diferentes productos de maíz principalmente la elaboración de tortillas (L W Rooney, 1995, S O Serna-Saldívar 1990). Las características de la masa obtenida estarán relacionadas directamente con el tipo de maíz, la relación Tiempo/Temperatura de Cocción, el tiempo de remojo, la separación o presión entre las piedras del molino así como el tamaño y profundidad de las ranuras (L W Rooney, 1995)

4.7 ELABORACION DE LA TORTILLA

El maíz, el agua y la cal son los tres ingredientes básicos para la producción de masa. La masa fresca es la base para la manufactura de tortillas suaves de mesa y otros productos como snacks fritos y harina de maíz. La masa obtenida de la nixtamalización es entonces moldeada en pequeñas piezas de aproximadamente 30-50 gr para formar discos planos de diámetro variable (10-20 cm) y de espesor de 0.2-0.3 cm. Estos son cocinados sobre una plancha caliente a 185°C por 15 seg de un lado, 30 seg del otro y vuelta a calentar por el lado inicial hasta que el vapor producido dentro de la tortilla sea suficiente para inflarla (Trejo-González A. et al, 1982)

En el proceso industrial de elaboración de la tortilla, la masa es suministrada a extrusores que la alimentan a la máquina formadora o los rodillos plegadores, durante la formación la masa se va enrollando hasta formar una hoja delgada que es cortada por un cortador giratorio que está colocado debajo de los rodillos. Las piezas de masa formadas entran a un horno de 3

Fig. 8 Diagrama General de Nixtamalización



hileras de hornillas de gas para ser horneadas a temperaturas que oscilan entre 250° y 400 ° C durante 30 a 45 seg. Enseguida son enfriadas y empacadas. Cuando se trata de producción industrial de tortillas se añaden a la masa acidulantes, gomas y agentes antihongos, tales como sorbatos y propionatos a fin de mejorar la vida de anaquel de las tortillas. Los aditivos son incorporados durante la molienda o el amasado de la masa. Tanto en Centroamérica como en México, las tortillas se compran diariamente y no se utilizan aditivos. Sin embargo se ha incrementado la venta de tortillas empacadas en supermercados y tiendas de autoservicio (L.W.Rooney, 1995).

4.8 Atributos de Calidad del Grano de Maíz

La calidad de la tortilla, los parámetros de cocción y el color del producto, dependen principalmente de las características de la materia prima. El grano óptimo para someter al proceso de nixtamalización deberá ser sano, libre de fisuras o grietas, de tamaño uniforme y de textura del endospermo intermedia a dura (Jackson et al,1988, Pflugfelder et al, 1988a, 1988b). El color de la tortilla está ampliamente influenciado por el color del grano y de la mazorca y por la cantidad de cal empleada durante la cocción alcalina.

El criterio primario de selección del grano de maíz incluye cubrir las siguientes características. Densidad Volumétrica=77.2kg/hl.(60lb/bu); Peso de 1000granos > 300g, Densidad verdadera (determinada con picnómetro por desplazamiento de nitrógeno) >1.3g/cm³ ; dureza (determinada como porcentaje de material removido por abrasión) < 40%; y fácil remoción del pericarpio. En la práctica actual, las características ideales del grano difícilmente se encuentran disponibles en la mayoría de los países, sin embargo éste se considera el grano ideal que permitiría obtener productos alimenticios de maíz de buena calidad (S O Serna-Saldívar et al, 1993).

4.9 Evaluación de la Calidad del Maíz

El nivel y la uniformidad de la calidad del grano de maíz empleado como materia prima para la nixtamalización es determinante para la calidad del producto final. Las características de calidad del grano son determinadas por factores genéticos y de producción y manejo. Algunas de éstas características incluyen: (Helbert D. Almeida y Lloyd W. Rooney, 1996).

- a) Tipo de maíz empleado como semilla
- b) Dureza del endospermo (tejido interno del grano)
- c) Color del pericarpio (cascarilla) y olote
- d) Facilidad de remoción del pericarpio durante el cocimiento
- e) Tamaño del grano
- f) Contenido de granos dañados, fracturados y quebrados
- g) Contenido de materia extraña, olotes, espigas

Granos que alcanzan la madurez adecuada antes de la cosecha generalmente poseen mejor calidad que aquellos que son cosechados con altos niveles de humedad y posteriormente secados artificialmente, lo cual desarrolla fracturas en el grano que en combinación con el manejo mecánico resultan en granos quebrados, éstos favorecen la penetración del agua durante el cocimiento aumentando el riesgo al sobrecocimiento produciendo una masa pegajosa (Helbert D. Almeida y Lloyd W. Rooney, 1996).

La dureza del endospermo determina en parte la velocidad de penetración del agua durante el cocimiento. Granos suaves se hidratan rápidamente requiriendo tiempos cortos de cocimiento pero son muy susceptibles al sobrecocimiento. Granos con dureza intermedia-alta son adecuados para la nixtamalización porque resisten cierto abuso o falta de control durante el proceso de producción de masa y tortillas con calidad aceptable (S. O. Serna-Saldívar et al 1993).

El color del pericarpio, ya sea blanco o amarillo, debe ser claro y brillante. Las manchas rojas, amarillas, café o negras en el pericarpio producidas como consecuencia de las condiciones climáticas y el ataque por hongos, insectos o pájaros producen coloraciones opacas u oscuras indeseables en el producto. Varios pigmentos con carácter fenólico (antocianinas) y los azúcares y proteínas libres son agentes responsables del desarrollo de oscurecimiento. Estas coloraciones indeseables son expresadas en el producto especialmente cuando se usan altos niveles de cal $[Ca(OH)_2]$ durante el cocimiento en combinación con lavados mínimos. En estas condiciones, los pigmentos permanecen en el producto y se oscurecen a pH alto. Los valores bajos de pH en el rango de 5.0-6.0 aclaran el color de los productos (Helbert D. Almeida y Lloyd W. Rooney, 1996).

La facilidad con que el pericarpio se elimina durante la nixtamalización afecta la permeabilidad del grano al agua (grado de cocimiento-hidratación), la textura y el color de los productos. Cuando el pericarpio se elimina o suaviza (hidrata y digiere parcialmente) fácil y rápidamente durante el cocimiento, la penetración de agua es rápida y el grano se cuece pronto. Por otro lado, la retención del pericarpio en el producto final puede resultar en una mayor cohesividad (en ocasiones deseable) debido a la presencia de gomas naturales, y posiblemente en oscurecimiento (indeseable) debido a la presencia de los pigmentos y cal atrapada en las gomas que tiende a aumentar el pH. Este oscurecimiento es particularmente notable cuando el grano está manchado.

El efecto del tamaño del grano sobre las condiciones de nixtamalización se relaciona con la superficie total disponible para el intercambio de calor (calentamiento). En condiciones comparables, los granos grandes requieren más calor para cocerse que los granos pequeños debido a que tienen menos superficie total. Tamaños intermedios-grandes son deseables ya que resisten cierto grado de sobreprocesamiento, y todavía producen masa y

tortillas con calidades aceptables. (Helbert D. Almeida y Lloyd W. Rooney, 1996).

El exceso de materia extraña y granos quebrados en el maíz a menudo requiere de limpieza previa al procesamiento que resulta en una disminución en el rendimiento del producto. Se requieren además equipos para el manejo y cribado del grano.

La uniformidad en las características de calidad del maíz es fundamental para el control de calidad de los productos, sean masa, tortillas o productos fritos. Las mezclas de granos enteros con quebrados, duros con suaves, manchados con limpios, etc., complican la toma de decisión en cuanto a las condiciones específicas de procesamiento a aplicar. Cuando se optimiza el proceso para granos enteros, duros y limpios, los otros granos (quebrados, suaves y sucios) tienden a producir masa pegajosa y tortillas oscuras que se endurecen rápidamente. El establecimiento de rangos máximos de variabilidad en las características del grano puede ser útil en la optimización de procesos aunque muy probablemente incurrirá en un aumento en el costo de maíz. Debe recordarse sin embargo, que debido a las diferencias naturales que existen entre los granos de una misma mazorca y a las condiciones ambientales fuera del control humano, siempre existirán variaciones en las características de los granos de maíz. Corresponde a los productores y los procesadores del grano la responsabilidad de minimizar dicha variabilidad en la calidad del maíz (Helbert D. Almeida y Lloyd W. Rooney, 1996)

4.10 Factores Críticos de Procesamiento

Se han identificado algunos factores fundamentales para controlar el proceso de nixtamalización en puntos críticos. Estos factores incluyen:

- a) El perfil de tiempo/temperatura empleado durante el cocimiento y reposo
- b) El tipo de lavado de Nixtamal
- c) Las condiciones de Molienda
- d) El tipo de mezclado, laminado y cortado de la masa
- e) El perfil de tiempo/temperatura del horneado

Las condiciones de proceso deben promover los cambios físicos y químicos necesarios en el maíz para obtener la funcionalidad de textura y humedad deseadas para el manejo y procesamiento del nixtamal y masa, y la calidad de los productos.

4.10.1 Cocimiento y Reposo

El cocimiento de los granos de maíz ocurre durante el calentamiento y el enfriamiento de la mezcla de maíz, cal y agua. Existen varias alternativas de adición del grano al agua para su cocimiento que se emplean actualmente.

El grano se adiciona al agua caliente o el agua se calienta con el grano adentro para después sostener la temperatura de la mezcla, eliminar la fuente de calor y entonces dejar reposar. En ocasiones, principalmente para la elaboración de productos fritos, se adiciona agua fresca a la mezcla caliente para detener el cocimiento (Helbert D. Almeida y Lloyd W. Rooney, 1996).

El cocimiento aplicado al maíz tiene la función de hidratar al grano, suavizar el pericarpio, desnaturalizar proteínas y gelatinizar parcialmente el almidón. Estos cambios físicos y químicos aumentan en la medida que los granos son más pequeños, están más quebrados y/o fracturados, la cal es más activa y soluble, y se aplica mayor temperatura arriba de aproximadamente 60-70 C por más tiempo. El periodo del reposo debe permitir la difusión de la humedad dentro del grano para producir granos de nixtamal hidratados homogéneamente. En estas condiciones, el nixtamal es blando prácticamente libre de pericarpio.

Parte de la cal es absorbida principalmente en el germen del grano. Los granos se hinchan debido al efecto combinado de la gelatinización del almidón, a la degradación parcial de la estructura del endospermo, a la degradación/solubilización parcial de la pared celular y a la solubilización parcial de la matriz proteica (Helbert D. Almeida y Lloyd W. Rooney, 1996).

4.1.0.2 Lavado

El lavado tiene las funciones de eliminar el pericarpio ya suavizado, el exceso de cal y el agua de cocimiento, y de enfriar el nixtamal dependiendo del tipo de cocimiento empleado. Se puede aplicar un mezclado o agitación mecánica para mejorar la transferencia de los materiales y aumentar la eficiencia del lavado. El lavado debe ser lo más uniforme posible y llevar el nixtamal a una temperatura aproximada de menos de 35 C con el mínimo uso de agua.

Como consecuencia del lavado el pH disminuye, se pierde materia seca, y puede mejorarse el color del producto. En ocasiones se disminuye o elimina el lavado con el propósito de conservar las gomas naturales del maíz (hemicelulosa y otras fibras solubles) y no reducir los rendimientos. Las gomas del maíz ayudan a retener el agua e imparten flexibilidad y suavidad a la masa y las tortillas. Por otro lado, cuando se retiene el exceso de cal existe un mayor riesgo de oscurecimiento del producto (Helbert D. Almeida y Lloyd W. Rooney, 1996).

4.1.0.3 Molienda

La molienda de nixtamal produce una masa de maíz compuesta por varios tipos de partículas que incluyen fragmentos del grano, pericarpio y germen, así como almidón, proteínas y fibras hidratadas, y grasa en mezcla con alrededor de 50-60% de humedad. La condición del nixtamal, el tipo de piedra, la separación entre las piedras y el agua adicionada son factores a

controlar durante la molienda. Un nixtamal blando con un contenido de humedad de 45-52% está indicado para moler y producir masa para tortillas, debido a que la masa resultante presenta adecuada plasticidad, cohesividad y maquinabilidad (Gómez et al, 1991). Con la adición de agua durante la molienda la masa resultante puede tener hasta 60% de humedad. Para productos fritos el nixtamal debe tener menos humedad. El tamaño, el tipo y estado del labrado y la separación entre las piedras, afectan al tamaño de las partículas de la masa (finas o gruesas), la eficiencia, la fricción y el calentamiento desarrollados durante la molienda. Canales profundos en el labrado de las piedras producen masa más gruesa. La adición de agua durante la molienda, disminuye la fricción, evita el sobrecalentamiento y produce masa más suave. El rango de temperatura de la masa fresca común en la industria cuando sale del molino es de 50-75°C. La separación entre piedras debe ser adecuada para obtener masa con la consistencia requerida. La molienda de nixtamal sobrecocido, con alto contenido de humedad, entre piedras cerradas, sin adición de agua genera exceso de calor y tiende a producir masa pegajosa que se seca rápidamente. El servicio regular de las piedras y la aplicación de un labrado similar son críticos para el control de la molienda (Helbert D. Almeida y Lloyd W. Rooney, 1996).

4.10.4 Mezclado y Formado de la masa

Dependiendo del tipo de equipo mezclador y formador que se emplee para la masa, es en esta etapa donde se determinan las dimensiones y el peso de la tortilla o producto frito final. El grado de mezclado aplicado y la consistencia inicial de la masa deben combinarse para producir masa que se pueda formar con las dimensiones deseadas, cortar y alimentar al horno con un mínimo de roturas y deformaciones. Es en esta etapa donde se reflejan gran parte de los efectos del cocimiento y molienda previos. Desafortunadamente, en caso de observarse efectos indeseables, en muchos casos es demasiado tarde para corregir las características del nixtamal o la masa (Helbert D. Almeida y Lloyd W. Rooney, 1996).

4.10.5 Horneado de Tortillas.

El horneado tiene las funciones de cocer y secar parcialmente la masa, impartir una apariencia ligeramente tostada y desarrollar la textura final de la tortilla. La combinación de la humedad y el tamaño de partícula de la masa con la temperatura y tiempo de residencia en el horno deben optimizarse para productos específicos. En el primer paso del horno, se calienta la pieza de masa y se sella la cara inferior con un mínimo de deshidratación. En el segundo paso la pieza se voltear, continúa el calentamiento y se sella la segunda cara. En el tercer paso se aplica suficiente calor para producir vapor de agua en la pieza e inflar las tortillas. El contenido de humedad de la masa debe ser suficiente para producir el vapor requerido para inflar la pieza y mantener suficiente humedad residual en la tortilla final. Si no se desea inflar la tortilla, el calor en el tercer paso puede disminuirse. El contenido de humedad de las tortillas varía en el rango de 38-55%. Las tortillas secas

tienden a ser rígidas y quebradizas. Las tortillas elaboradas con masa demasiado cocida se hacen rígidas rápidamente al enfriarse.

El calentamiento del agua durante el horneado causa gelatinización del almidón y desnaturalización de proteínas que interaccionan con fibra y grasa creando una estructura que al deshidratarse es responsable de la textura de la tortilla. Las características físicas y químicas de la masa deben ser adecuadas para crear esta estructura durante el horneado (Helbert D. Almeida, y Lloyd W. Rooney, 1996).

4.10.6 Función de la Cal en la Nixtamalización

Las características químicas de la solución alcalina durante la cocción deben ser tales que la concentración de cal siempre exceda el punto de saturación del hidróxido de calcio, el cual es 0.15% bajo condiciones ambientales. Las concentraciones empleadas durante el proceso están dentro del rango 0.8% a 2.1% con un pH inicial de 12.4. Después de la cocción, el pH residual del nejayote es aproximadamente 11.0. Para remover el exceso de cal, el maíz se lava hasta que el agua de lavado alcance un pH de 8.5, de otra manera el resultado es un sabor alcalino en la masa y las tortillas (Trejo-González et al 1982).

El tratamiento con cal facilita la remoción del pericarpio durante la cocción y el remojo, controla la actividad microbiana y tiene un efecto sobre el sabor, aroma, color, vida de anaquel y valor nutricional de las tortillas (Serna-Sardívar et al 1990, Bressani, 1990). La cal actúa en forma similar a los alcalis más fuertes al descomponer componentes de fibra como la hemicelulosa (Gómez et al 1989). En algunos casos se emplean altas concentraciones de cal para aumentar el pH de las tortillas a tal nivel que retarde o retrase la descomposición ocasionada por microorganismos.

La cal penetra en el grano principalmente a través del germen, la parte anatómica que tiene la mayor concentración de calcio después de la cocción y el remojo. La cal también afecta el color de la tortilla. Incluso, cuando las tortillas se producen de granos blancos, una alta concentración de cal forma un producto final amarillento. La intensidad del color está estrechamente relacionada con los pigmentos: carotenoides, flavonoides y el pH. (L.W. Rooney 1995).

4.11 CAMBIOS ESTRUCTURALES, FISICOS Y QUIMICOS EN EL GRANO DE MAIZ DURANTE LA NIXTAMALIZACION.

4.11.1 Cambios Estructurales

La cocción y el remojo alcalino ocasionan una disolución parcial de la cutícula, así como hinchazón y debilitamiento de las paredes celulares lo cual facilita la remoción del pericarpio. El pericarpio por lo general se rompe en el área de la cruz y tubo de la célula. Las células aleuronas permanecen

intactas y adheridas al endospermo periférico. Las laminillas intermedias y paredes celulares se degradan y solubilizan en forma particular, según se muestra por la pérdida de fluorescencia en las paredes celulares del endospermo periférico. Aunque las proteínas del endospermo permanecen adheridas a los gránulos de almidón, la cocción con cal cambia la apariencia física de los cuerpos proteicos, por lo menos en algunas áreas del grano. Los cambios se presentan en las paredes celulares del endospermo con almidón y la matriz proteica se debilita, especialmente durante el remojo (Gómez et al 1987).

Al moler el nixtamal, se descomponen los componentes del grano preacondicionados por la cocción y el remojo y esta fricción hace que se forme la masa. La masa consiste de piezas de germe, fragmentos de pericarpio y partículas de endospermo aglutinados por una mezcla parecida a un pegamento de "gránulos de almidón fundidos", "hojas" de matriz proteica y lípidos emulsificantes (Gómez et al 1987, 1990, 1991, 1992). Los gránulos de almidón de forma irregular y fragmentados pueden observarse en las tortillas suaves después de su horneado y en la harina para masa deshidratada. Los cuerpos proteicos se hinchan, pierden su forma y en algunos casos, se destruyen físicamente después de hornearse y secarse. Los álcalis liberan la niacina ligada al maíz y mejoran su valor nutricional (L.W. Rooney, 1995).

4.11.2 Cambios Físicos y Químicos

a) Proteínas

La cocción con cal altera los patrones de solubilidad de las proteínas del maíz. Vivas y colaboradores (1990) encontraron que la cocción con cal y el horneado de la tortilla disminuye el contenido de proteínas solubles en agua y sal (albuminas y globulinas) y aquellas solubles en alcohol (prolamina) e incrementa la cantidad de proteínas imposibles de extraer. Los tratamientos térmicos secuenciales aplicados durante el procesamiento ocasionaron interacciones hidrofóbicas, desnaturalización proteica y un enlace cruzado de las proteínas. Estos cambios químicos son responsables de una menor solubilidad de las proteínas y de mayores cantidades de proteínas insolubles recuperadas en los residuos de los "chips" de tortilla.

b) Almidón

En realidad sólo se gelatiniza una pequeña parte de los gránulos de almidón durante la cocción y el remojo. La susceptibilidad enzimática del almidón se incrementa ligeramente conforme se va cociendo el maíz con la cal; sin embargo el mayor incremento se presenta durante la molienda y el horneado. Bajo luz polarizada, la mayoría de los gránulos de almidón, tanto en el nixtamal como en la masa, exhiben una refringencia; sin embargo, la cruz de Malta es menos clara y más ancha que la de los gránulos de almidón naturales. Así pues, la estructura del gránulo de almidón natural se descompone parcialmente durante la cocción, la cual estaba confirmada por

un patrón de rayos X menos organizado. Sin embargo, las alteraciones en la cristalinidad del almidón ocasionada por la cocción se restauran parcialmente por una recristalización o recocido durante el remojo (Gómez et al 1990,1991). La reasociación de las moléculas de almidón pueden afectar en forma considerable las propiedades reológicas subsecuentes de los productos hechos a base de masa.

Cuando se muele el nixtamal para hacer la masa, los gránulos de almidón se gelatinizan debido a la fricción entre las dos piedras molidoras. En algunos casos, la molienda puede incrementar la temperatura de la masa entre 26 y 52C. Aproximadamente del 4 al 7% de los gránulos de almidón pierden completamente la birrefringencia durante la cocción con cal, el remojo y la molienda. Muchos de los gránulos de almidón tienen una forma irregular y con frecuencia sólo parte (menos del 60 al 70%) de un gránulo individual presenta birrefringencia. Estos cambios pequeños, pero importantes, en la fracción del almidón de maíz modifican las propiedades de pasta del almidón, a fin de que pueda impartir esa característica de textura de masa. El 4-7% del almidón gelatinizado forma el "pegamento" que ayuda a que haya una red continua entre los gránulos de almidón libres y las piezas del endospermo que componen la masa (L W Rooney, 1995)

La mayor parte de la birrefringencia y la cristalinidad del almidón se pierde cuando los discos de masa se hornean en forma de tortillas. La combinación de calor (280° a 302°C) y alto contenido de humedad (51 a 55%) facilita una mayor gelatinización del almidón. Sin embargo, aún no se ha completado la gelatinización debido al corto tiempo del horneado (20 a 40 segundos). El resultado de estos cambios es una típica tortilla con una textura simplástica y plegable. El sabor de la tortilla puede mejorarse mediante las reacciones de Maillard que se presentan mientras se reducen los azúcares y los péptidos y los ácidos grasos insaturados. Al freír las tortillas para producir "chips", la humedad se evapora, siendo sustituida por aceite para freír y los gránulos de almidón pierden lo que les queda de birrefringencia y cristalinidad. Los geles de almidón con menos del 5% de gránulos birrefringentes y un patrón amorfo de rayos X constituyen la fracción de almidón de los "chips" de tortilla (L W Rooney 1995)

c) Lípidos

Entre el 1-2% del peso seco de la masa son lípidos libres distribuidos por toda la fase continua de la masa. La fracción lipídica está compuesta principalmente de lípidos parcialmente emulsificados localizados en la fase acuosa de la masa y los lípidos libres que interactúan tanto con los péptidos como con los carbohidratos, alterando las propiedades de la masa. Todavía se requiere de mayor investigación para evaluar la relación que existe entre los lípidos, la capacidad que tiene la masa de someterse al maquinado, la textura, el sabor y el índice de rancidez de las tortillas. (L.W. Rooney, 1995).

4.11.3 Pérdidas de Materia Seca durante la Cocción y el Remojo

Estas pérdidas varían entre 7-15% o más, dependiendo del tipo y firmeza del maíz, así como de las condiciones y métodos de procesamiento. El nejayote, proveniente de un proceso típico de cocción y remojo, consiste de 2.8% de sólidos, de los cuales el 60% es soluble y el 29%, cenizas, en su mayoría cal.

Cuando se trata de maíz comercialmente procesado, las pérdidas totales de materia seca son distribuidas entre la cocción-remojo (2.8 a 10.7%) y el lavado (1.6 a 2.0%) (S O Serna-Saldivar et al, 1990). La firmeza del grano afecta la pérdida de materia seca, granos de maíz rotos o quebrados producen más pérdidas sólidas que los granos quebrados por esfuerzo.

Durante la nixtamalización se pierden cantidades de distintos componentes químicos. El pericarpio, rico en fibra, es el que contribuye en su mayoría a la pérdida de materia seca. El calor y el esfuerzo físico durante el procesamiento afectan la pérdida de otros componentes químicos. Las pérdidas totales de almidón, proteína y lípidos de maíz procesado comercialmente están por debajo de 5, 2, y 20%, respectivamente, de aquellos componentes presentes en el grano. Sin embargo estas proporciones pueden variar cuando se cuece maíz con granos quebrados (L. W. Rooney, 1995).

4.11.4 Fracción y Composición de la Masa

Masa Fresca - La Nixtamalización trae como resultado el desarrollo de una mezcla plástica, cohesiva y uniforme con trozos grandes de endospermo, gránulos de almidón libres y partículas de endospermo gelatinizadas y parcialmente unidas todas por una dispersión coloidal (pegamento). El almidón soluble, hojitas de proteína y lípidos emulsificados son los principales componentes (5 - 9% de la masa total) de esta dispersión coloidal "similar a un pegamento".

Los sólidos insolubles de la masa consisten de partículas grandes, medianas y pequeñas. Las partículas grandes (más de 850 μm de diámetro) que se quedan en una criba US No. 20 son pedazos de pericarpio, endospermo periférico, capsula y germen. Las partículas medianas y finas que quedan en las cribas US No. 40 y 100, principalmente son pedazos de maíz con endospermo y germen. Desde el punto de vista químico, las partículas grandes son las que conservan la mayoría de las partes ricas en proteínas del grano (el germen, aleurona y el endospermo periférico), las partículas finas casi son almidón puro. El contenido de grasa de los sólidos insolubles va disminuyendo gradualmente conforme el tamaño de las partículas decrece. Los componentes minerales, o cenizas, incluyendo el calcio absorbido, son distribuidos uniformemente después de la molienda entre las fracciones de masa. (L. W. Rooney et al, 1995).

4.12 MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE PRODUCTOS NIXTAMALIZADOS

4.12.1 Atributos de Calidad de las Tortillas

Las características de calidad de las tortillas de maíz varían entre distintas regiones en México, y mucho más fuera del país. Existen tortillas delgadas y gruesas con pesos de 18-23 g por pieza para las delgadas y de 28-34 g para las gruesas. Algunas tortillas son infladas durante el horneado, mientras que otras se prefieren sin inflar. La presencia de aditivos ha modificado parcialmente sus características sensoriales. Sin embargo, es de preferencia común que las tortillas sean flexibles, que se puedan recalentar. La estabilidad de la textura en el anaquel durante 1-4 (?) semanas es importante para tortillas empacadas distribuidas en mercados grandes. Son preferibles las tortillas que recuperen la flexibilidad al calentarse antes de su consumo. El nivel de humedad de la tortilla juega un papel importante en este respecto. La tortilla debe tener suficiente humedad para recalentarse y mantenerse flexible. Tortillas con baja humedad se hacen rígidas.

Se desean tortillas blancas o amarillas pero con tonalidades claras/brillantes. Los tonos de color grisáceo/verdoso son indeseables. Para tortillas empacadas se desea una vida de anaquel larga que varía de 1-8 (?) semanas. Esto se puede lograr mediante la adición de conservadores adecuados. Debe tenerse en cuenta que los aditivos afectan las características sensoriales del producto.

Las partículas negras (Chilum) normalmente presentes en tortillas hechas con masa fresca parecen preferirse en muchas regiones, principalmente en consumidores históricamente familiarizados con las tortillas, sin embargo, el consumo de tortillas sin esta característica va en aumento. (L. V. Rooney, 1995)

4.13 PROGRAMAS DE CALIDAD: ANALISIS DE TEXTURA

Los programas de Control y Aseguramiento de la Calidad consisten en un grupo de métodos de análisis, sistemas de recolección y análisis de datos, especificaciones de calidad de ingredientes y productos intermedios y finales, y mecanismos de respuesta que retroalimenten a los encargados de compras, producción y ventas que en combinación monitorean las características de calidad y proveen los ajustes necesarios para que cumplan con las especificaciones.

Los métodos de análisis/evaluación empleados en la industria de la tortilla son en su mayoría sencillos y subjetivos en gran medida dependientes de la experiencia del operador. Estos métodos son prácticos y adecuados para plantas pequeñas que distribuyen productos de consumo diario en un mercado local limitado donde la demanda es mayor que la oferta. En plantas

medianas y grandes que compiten con calidad en el mercado se requieren métodos más objetivos.

La compresión de nixtamal en condiciones de presión y tiempo controladas en una Prensa puede emplearse para medir el grado de cocimiento durante la nixtamalización, nixtamales más cocidos se comprimen más que los menos cocidos

La capacidad de harinas de maíz para absorber y/o dispersarse en agua puede medirse indirectamente como la distancia que viaja una mezcla diluida de harina en agua (como un atole aguado) sobre la plataforma graduada de un Consistómetro. Harinas con capacidad de absorción de agua alta forman mezclas viscosas que sólo se mueven en distancias cortas.

La firmeza de la masa puede medirse con un Penetrómetro como la distancia que un cono o aguja penetra al aplicarse un peso por un tiempo determinados. Las masas con capacidad de absorción de agua alta y mucha cohesividad son más difíciles de penetrar obteniendo distancias de penetración cortas durante la prueba

Analizadores de textura que miden las características de deformación y flujo de los materiales pueden emplearse para medir con precisión las características de textura del nixtamal, masa, tortillas y totopos. La consistencia del nixtamal puede medirse como la fuerza y trabajo necesarios para extruirlo en condiciones controladas. La flexibilidad, rollabilidad y la capacidad de doblarse sin romperse de las tortillas puede medirse con un analizador de textura. La muestra de tortilla debe prepararse adecuadamente y deformarse en condiciones óptimas.

La capacidad de medir la textura del nixtamal, masa y tortillas capacita a los operadores para responder apropiadamente a los cambios encontrados durante la operación normal de la maquinaria. Algunos de estos cambios que requieren respuesta inmediata son: a) cambio del tipo de maíz, edad o cosecha, b) cambios en la eficiencia del cocimiento debido a fallas de flama, vapor, etc., c) cambios en la eficiencia de la molienda debido a desgaste de la piedra o separación inadecuada, d) nivel de humedad inapropiado de la masa y tortillas, y e) perfil inadecuado de tiempo-temperatura durante el horneado. (L.W. Rooney et al, 1995)

Estos métodos de análisis deberán seleccionarse y adaptarse convenientemente y entonces podrán emplearse para caracterizar materias primas y productos intermedios y finales. La información obtenida tiene muchas posibilidades de uso para establecer especificaciones de calidad de productos y especificaciones de control en puntos críticos del proceso, evaluar cambios en el proceso, eficiencia y/o desgaste de máquinas, funcionalidad de aditivos, estudios de estabilidad del producto en el anaquel, caracterización de harinas de maíz y evaluación de métodos alternativos para la nixtamalización (L.W. Rooney et al, 1995)

5.- METODOLOGIA

En la Fig. 9 se describe el Diagrama General de Experimentación realizado en el presente trabajo, y que consiste de los siguientes pasos:

5.1 SELECCION DE MATERIA PRIMA

En esta investigación se trabajó con 10 variedades de maíz dentado seleccionadas de diferentes estados de la República Mexicana, las muestras fueron proporcionadas por el Laboratorio de granos de CONASUPO y presentaban la característica principal de ser maíces adecuados para someter al proceso de nixtamalización. La importancia de tener diferentes variedades de maíz era manejar experimentalmente granos de maíz con propiedades físicas distintas que nos permitieran analizar y evaluar su comportamiento durante la nixtamalización y en la obtención de la tortilla. Las variedades de maíz manejadas fueron las reportadas en la tabla siguiente

Muestra Clave	Origen de la variedad
1	Huejutla, Hgo
2	Huatabampo, Son.
3	Hermosillo, Son.
4	Sinaloa
5	San Luis Potosi
6	Ocampo, Gto
7	Apizaco, Tlax
8	Irapuato, Gto
9	Los Mochis, Sinaloa
10	Lerma, Edo de Mex.

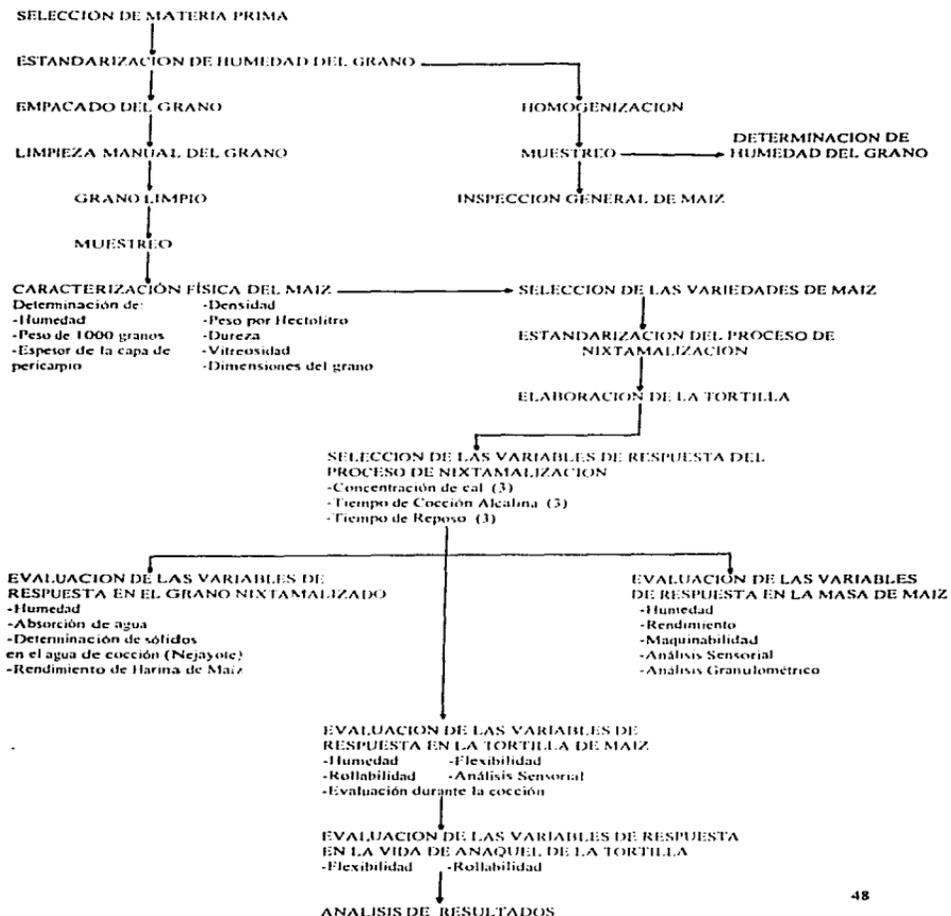
5.2 ESTANDARIZACIÓN DE HUMEDAD DEL GRANO

La mayoría de las propiedades físicas del grano varían con diferencias en el contenido de humedad del mismo (Chung and Converse 1971; Nelson 1980), de una variedad a otra, de un año a otro, y en la producción de una región a otra, pueden existir grandes diferencias, de ahí la necesidad de homogeneizar en lo posible la humedad de las muestras con las cuáles se trabajaría. Para esto se colocaron las muestras en charolas de aluminio con los granos perfectamente extendidos y se mantuvieron así en lugar fresco y seco durante tres días a temperatura ambiente (21°C).

5.3 EMPACADO DEL GRANO

Enseguida de la estandarización de humedad, se empacaron las muestras en bolsas de polietileno con la finalidad de evitar pérdidas o incrementos de humedad en los granos de maíz. Durante toda la etapa experimental, las

FIG.9 DIAGRAMA GENERAL DE EXPERIMENTACION



muestras se mantuvieron empacadas hasta su total utilización y perfectamente etiquetadas para su identificación.

5.4 HOMOGENIZACION DE LAS MUESTRAS

Debido a que las muestras se recibieron con materiales extraños (impurezas, granos dañados, etc), para su correcto análisis es necesario la homogenización de éstas, esto consiste en mezclar perfectamente la muestra que se va a analizar para que todos los elementos que la componen queden uniformemente distribuidos y el muestreo subsecuente sea representativo del lote inicial. Debido al tamaño de las muestras que se recibieron (alrededor de 2.5 kg), se procedió a agitarlas por rotación un mínimo de 10 veces dentro de bolsas de polietileno con capacidad 2 veces mayor al volumen de la muestra como recomienda la literatura (Arias Velázquez, C. 1981) para su correcta homogenización.

5.5 MUESTREO

El muestreo es el paso previo al análisis general del maíz, su finalidad es obtener una muestra debidamente identificada y representativa del lote de granos de partida. En base a que se recibieron lotes pequeños de cada variedad (2.5 kg en promedio), se muestrearon por el método de cuarteo que reporta la bibliografía (Arias Velázquez, C. 1981) para realizar el análisis selectivo de granos o también conocido como Inspección General de Maíz. De aquí se tomaron 3 muestras de 100 gramos cada una para evaluar la Inspección General de Maíz.

5.6 DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL GRANO

Debido a la importancia que representa el contenido de humedad del grano en la comercialización, almacenamiento, conservación y en la influencia sobre las propiedades físicas del mismo, ésta determinación debe efectuarse inmediatamente después de seleccionar las muestras para su análisis, para evitar dentro de lo posible la modificación del contenido de humedad del grano. El análisis consiste en conocer la cantidad de agua que contienen los granos de maíz. Para esto se prepararon muestras de 15 gramos y se pulverizaron en el Molino de Martillos de Aspas CYCLOTEC 1093 Sample Mill, evaluando en ellas el contenido de humedad por triplicado para cada muestra, colocando 10 gramos de muestra en la termobalanza OHAUS serie 30779 con capacidad de 10 gr durante una hora o hasta que la lectura del peso seco se mantuviera constante, ésta se leyó con una exactitud de 0.05% (AOAC 14 02 1984).

5.7 INSPECCION GENERAL DE MAIZ

El análisis de granos tiene como finalidad determinar a través de una muestra representativa las características que influyen en el valor comercial

de un lote o partida de granos, como son: su tamaño, color, aspecto general, daños, defectos, contenido de humedad, basura, productos contaminantes, o algún otro factor que sea importante para la utilización del producto como alimento humano, animal o para fines industriales.

En el presente trabajo, la inspección se realizó como se detalla en la Fig. 10, el análisis se efectuó a las 10 variedades de maíz estudiadas y se hizo en muestras por triplicado con el objetivo de conocer la calidad de grano que se manejaría en los subsecuentes análisis (Arias Velázquez, C. 1981).

Los resultados obtenidos del análisis selectivo de granos para las 10 variedades de maíz se presentan en la tabla 9 "Resultados de la Inspección General de las variedades de maíz"

5.8 LIMPIEZA MANUAL DEL GRANO

Una vez obtenida la Inspección General de Maíz, se procedió a realizar la limpieza manual del lote completo para cada muestra, para su posterior caracterización física, desechando materiales extraños, granos dañados e impurezas contenidas en la muestra hasta la total obtención del grano limpio.

5.9 MUESTREO

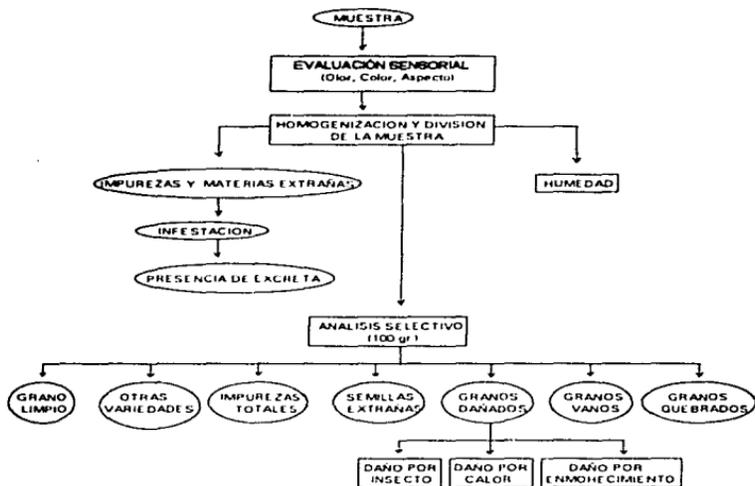
Una vez obtenido el grano limpio se realizó un muestreo por el método de cuarteo para seleccionar las muestras representativas para la caracterización física del maíz, éstas dependían del tipo de análisis a efectuar como se explicará para cada caso en particular.

5.10 CARACTERIZACION FISICA DEL MAIZ

Consiste en analizar las propiedades físicas del grano de maíz de las 10 variedades de estudio con la finalidad de evaluar su comportamiento durante el proceso de nixtamalización en base a estas características previamente definidas. Estas propiedades físicas se someterán al análisis estadístico de la Prueba de Diferencia Mínima Significativa ponderando aquellas cuya influencia en la nixtamalización sea determinante para el proceso, con la finalidad de seleccionar 5 variedades diferentes entre sí. La caracterización física del maíz comprende en el presente trabajo las siguientes determinaciones:

- Humedad
- Peso de 1000 granos
- Espesor de la capa de pericarpio
- Densidad
- Peso Hectolitrico
- Dureza
- Vitreosidad
- Dimensiones del grano

FIG. 10. INSPECCION GENERAL DE MAIZ



5.10.1 Humedad

La evaluación de humedad del grano se determinó en la Inspección General de Maíz por el método anteriormente descrito (5.6), el cálculo de humedad de las muestras se debe realizar con prioridad para evitar modificaciones en su contenido durante el manejo de las mismas y mantenerse correctamente empacadas e identificadas a lo largo de todo el estudio experimental.

5.10.2 Peso de 1000 granos

Para esta determinación, se seleccionaron muestras de 400 gramos aproximadamente de cada lote y se cuantificaron 1000 granos registrando su peso en una balanza granataria con exactitud de 0.1 gr. La evaluación se realizó por triplicado para cada muestra y se calculó el valor promedio de los datos obtenidos para cada variedad de estudio (Cecilia Dorsey-Redding et al 1991).

5.10.3 Espesor de la Capa de Pericarpio

Este análisis se realizó separando la capa de pericarpio de los granos de maíz, para lo cual fue necesario remojar los granos en agua de 20 a 30 minutos para facilitar la separación de la capa externa sin que penetre agua al endospermo, posteriormente se dejaron secar los pericarpios y se registró el espesor de 10 capas empleando un vernier para semillas, tomando siempre la medición en el centro de los pericarpios. Se determinó el análisis en 30 muestras para cada variedad y se calculó su valor promedio.

5.10.4 Densidad Aparente

Esta técnica se realiza empleando el siguiente material:
Probeta de 500 ml
Balanza granataria
Tolueno

Se pesan 250 gr. de grano entero en una probeta de 500 ml. Se llena el espacio vacío con un líquido inerte (tolueno) que no sea absorbido por el grano de maíz. La fase líquida se decanta y se mide ésta en una probeta, determinando el volumen aparente del grano por diferencia (L.W. Rooney et al 1995). La densidad aparente se calcula como sigue:

$$D (\text{Densidad}) = \frac{\text{Peso del grano}}{\text{Volumen del grano} - \text{Volumen del líquido}}$$

Esta prueba se realizó por triplicado para cada muestra determinando la media aritmética de los datos obtenidos.

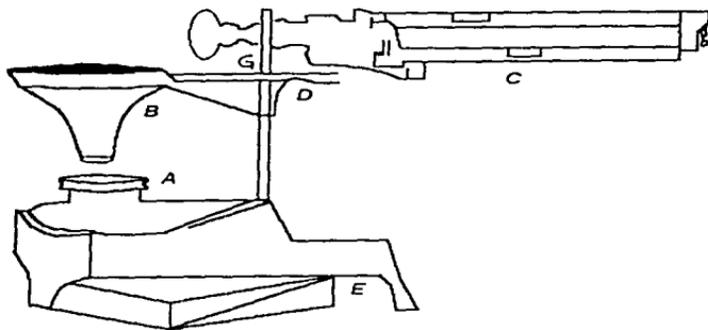
5.10.5 -Peso por Hectolitro

El análisis consiste en determinar el peso por unidad de volumen con o sin impurezas, según el grano de que se trate, para el presente trabajo se

evaluó sin impurezas y por triplicado para cada muestra de estudio (Arias Velázquez, C. 1981)

La determinación se realizó con una balanza de peso por hectolitro fija. Esta balanza representada en la Fig.11 posee un recipiente (A) de 1 litro de capacidad (67.2 pulgadas cúbicas en la de peso bushel), una tolva en forma de embudo (B) cuyo borde debe de estar a una distancia de 5 cm. (2") del borde superior del recipiente (A), unas barras metálicas (C) graduadas en gramos que sirven para pesar el recipiente (A), un soporte metálico (D) con dos varillas metálicas que sostienen las barras graduadas, un nivel de burbuja; dos tornillos para nivelar la balanza, una charola triangular (E) para recibir el excedente de grano y una regla de madera con uso de sus bordes redondeados, para rasar el grano.

Fig. 11 Balanza Fija de Peso Hectolítrico.



La muestra de grano deberá ser menor a 1 kg, pero en cantidad suficiente para llenar el recipiente. La tolva de la balanza fija posee 3 tornillos en su lado interno que marcan el volumen de grano suficiente para llenar el recipiente. Para la determinación del peso hectolítrico se siguieron los siguientes pasos:

- 1.- Nivelar la balanza girando los tornillos inferiores hasta que la burbuja de nivelación quede bien centrada.
- 2.- Poner a cero la balanza colocando el recipiente vacío en el gancho (G) de las barras graduadas y moviendo las pesas a la posición cero.

3.- Colocar el recipiente vacío en la base de la balanza apoyando en los soportes apropiados (G) de tal manera que al salir el grano del embudo caiga exactamente en el centro del recipiente.

4.- Obturar la tolva o embudo con la trampa correspondiente y centrarla con relación al recipiente.

5.- Verter el grano en el embudo.

6.- Quitar el obturador para dejar completamente libre la salida de la tolva embudo.

7.- Suavemente evitando golpes y movimientos bruscos, con 3 movimientos en zig zag rasar el grano con el borde redondeado de la regla de madera.

8.- Pesar el recipiente conteniendo el grano y anotar el peso registrado expresado en Kg/Hl con una exactitud de 0.1 gr.

El análisis de peso por hectolitro se realizó por triplicado para cada variedad de estudio y se determinó su valor promedio.

5.10.6 -Dureza

Esta prueba se realizó empleando un Durómetro de trigo PME Digital-Komparator Zalor, el cual tritura una cantidad constante de muestra y registra el tiempo en segundos que tarda en pulverizar el grano. Por lo tanto, un menor tiempo indicará un grano suave y por el contrario a mayor tiempo de trituración un grano con mayor dureza. El análisis se efectuó por cuadruplicado para cada una de las 10 variedades de estudio y se calculó su valor promedio.

5.10.7 -Vitresidad

Se determinó la vitresidad de los granos de maíz empleando un método óptico, mediante la observación de las secciones vitrea y almidonosa de los granos a través de una fuente de luz ultravioleta (C. Mestres et al 1991).

La prueba se realizó de la manera siguiente:

1.- Elaborar una escala de vitresidad de mayor a menor que va de 1 a 5

- | | |
|----------------|---------------|
| 1 muy vitreo | 4 poco vitreo |
| 2 vitreo | 5 harinoso |
| 3 medio vitreo | |

2.- Se selecciona para cada muestra un grano de maíz representativo de cada valor de la escala y se colocan en portaobjetos de vidrio para emplearlos como muestra de comparación y evaluar la vitresidad en 100 granos de cada variedad estudiada.

3.- Se remojan los granos de maíz aproximadamente 24 horas y se cortan transversalmente los granos con un bisturí para poder observar las secciones vitrea y almidonosa a través de una fuente de luz ultravioleta colocada por debajo de los granos puestos éstos sobre una superficie que sólo permite el paso de la luz a través del grano y facilita su evaluación vitrea.

4.- Se cuantifica la vitresidad de 100 granos comparándola con las muestras estándar seleccionadas para cada variedad y basadas en la escala definida. Se registra el valor y se calcula la media de los datos obtenidos.

5.10.8 -Dimensiones del grano

Se determinan las dimensiones del grano de maíz como son largo, ancho y espesor expresadas en mm. en 100 granos de cada variedad de estudio. Se emplea un vernier para semillas, y se calcula el valor promedio de los datos obtenidos.

5.11 SELECCION DE LAS VARIEDADES DE MAIZ

De las 10 variedades de maíz analizadas con anterioridad, se seleccionan 5 para evaluar su comportamiento durante la nixtamalización y en las características del producto final la tortilla. La base de la selección fueron las propiedades físicas evaluadas comprendidas en la caracterización física del grano. El criterio de selección se realizó considerando el efecto que sobre el proceso de nixtamalización tienen las propiedades físicas del grano. La literatura (S.O. Serna-Saldivar et al, 1993.) menciona como las más importantes a considerar y en el siguiente orden de prioridad a : Peso hectolítrico, Dureza, Vitreosidad, Espesor de la capa de pericarpio, Densidad, Peso de 1000 granos. Tomando esto en cuenta se sometieron los datos de la Tabla 10 "Caracterización Física de 10 variedades de maíz" a un análisis de varianza empleando la prueba de Diferencia Mínima Significativa para seleccionar 5 variedades que difieran entre si significativamente. En la Tabla 11 se muestra el resultado del estudio estadístico presentando las 5 variedades seleccionadas

5.12 ESTANDARIZACION DEL PROCESO DE NIXTAMALIZACION

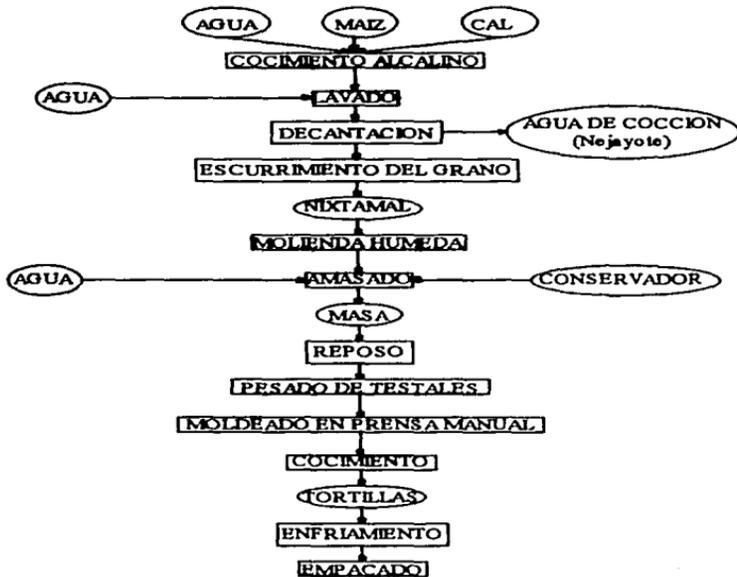
La estandarización de las condiciones del proceso de nixtamalización, se planteó debido a que en la literatura existe una gran diversidad de opiniones sobre los parámetros de cada una de las operaciones que lo involucran. Por lo tanto, de todos los factores que influyen en la operación de cocción, se estudió la relación agua/grano, forma de adicionar el hidróxido de calcio (cal), temperatura de cocción, manejo del nixtamal durante el reposo, etc., en la Fig. 12 se detalla el Diagrama de bloques para la elaboración de la tortilla de maíz, y la estandarización del proceso consta de lo siguiente:

5.12.1 Cocción

La cocción del maíz se realizó en las parillas eléctricas del Digestor de Fibra Cruda Labconco, serie No. 45053 Labconco Corp. Kansas City M. Se utilizó una balanza analítica con una exactitud de 0.0001 gr para el pesado del grano de maíz y del hidróxido de calcio. El agua empleada se midió con una probeta de 500 ml

En vasos berceilius con capacidad de 600 ml se depositaron 330 ml de agua y se colocaron para su calentamiento en las parrillas del digestor (con la perilla de calentamiento en la posición Hi), cuando la temperatura alcanzaba 40°C, se retiraban de la parrilla para agregarles la cal correspondiente y 110 gr de maíz. Se colocaban nuevamente sobre las parrillas para que la mezcla

Fig. 12 DIAGRAMA DE BLOQUES PARA LA ELABORACION DE TORTILLA DE MAIZ



alcalina (agua, maíz y cal) iniciara la ebullición, en este momento, se bajaba el nivel de la perilla desde Hi hasta la posición 6-7 con la finalidad de mantener controlada la ebullición y evitar pérdidas de líquido. Con esta graduación en la perilla del digestor, se mantuvo constante la temperatura a 92°C durante todo el tiempo de cocción. El tiempo de cocción se midió a partir del inicio de la ebullición de la mezcla.

5.12.2 Reposo

Las muestras que requirieron reposo se mantuvieron después de la cocción en los vasos berceilus tapados con vidrios de reloj y colocados éstos dentro de un Baño María cuya temperatura inicial similar a la ebullición (87-90°C) se mantuvo al inicio del reposo con la finalidad de simular el fin de la cocción, pero se apagó el calentamiento del Baño María una vez colocadas las muestras e iniciado el tiempo de reposo correspondiente.

5.12.3 Lavado

Después del reposo, se procedía al lavado del maíz de la siguiente manera: Se extraían los granos de maíz de los vasos berceilus con una cuchara y se pasaban a recipientes de plástico con capacidad aproximada de 500 ml, en los cuales se realizaban 3 lavados de aproximadamente 133 ml de agua cada uno para completar 400 ml de agua total en el lavado. Con estos lavados se recuperaba la mayor cantidad de sólidos que se habían desprendido durante la cocción y se juntaban con el líquido sobrante de la cocción conocido como Nejayote, y a estos líquidos totales se les evaluaba los sólidos también conocidos como materia seca del Nejayote.

5.12.4 Escurrimiento del grano

Después del lavado del maíz nixtamalizado, los granos se depositaban en un colador metálico para escurrir el líquido sobrante durante 20 minutos con rotación de los granos cada 10 minutos para permitir que toda la muestra de maíz nixtamalizada se escurriera de manera homogénea, y la humedad determinada en el grano en este paso nos permitiera conocer exclusivamente la absorción de agua del grano obtenida durante la cocción y el reposo.

5.12.5 Empacado del grano

Enseguida del escurrimiento del grano, se retiraba éste del colador y se empacaba el grano nixtamalizado en bolsas de polietileno perfectamente selladas y etiquetadas para registrar su peso en una balanza analítica y proceder al cálculo de % de Absorción de agua del grano obtenida por el proceso de nixtamalización realizado.

5.12.6 Molienda

El grano de maíz nixtamalizado se molió empleando un molino manual de discos especial para granos marca "Molino Azteca". La molienda se estandarizó ajustando los discos al máximo hasta obtener una mezcla fina de masa. Para lograr esto el grano se pasó 3 veces por el molino y la harina

de maíz obtenida se evaluó comparándola visualmente con la textura de una masa comercial.

De la primera molienda del grano se tomaba una muestra para determinar humedad del grano nixtamalizado, empleando la técnica Metodo 44-15A (AACC), que consistía en evaporar el agua dentro de una estufa a T* = 110°C por 24 horas o hasta que el peso de las muestras analizadas se mantuviera constante. El cálculo de humedad se realizó empleando la siguiente fórmula (Método No. 44-01 AACC) :

$$\% \text{Hum. del grano} = \frac{\text{Peso de muestra húmeda} - \text{Peso de muestra seca}}{\text{Peso de la muestra húmeda}} \times 100$$

5.13 ELABORACION DE LA TORTILLA

5.13.1 Obtención de la Masa

La harina nixtamalizada obtenida de la molienda se colocaba en una batidora marca Kitchenaid y se le añadía con una probeta los ml. requeridos de agua para formar la masa junto con 0.3% de sorbato de potasio como conservador y se procedía a mezclar en primera velocidad durante 15 minutos. La cantidad de agua agregada era independiente para cada muestra y para cada tratamiento de nixtamalización realizado. Una vez mezcladas las masas se retiraban de la batidora, se registraba su peso y la cantidad de agua adicionada, y se dejaban reposar durante 10 minutos a temperatura ambiente (20-21°C) en charolas de aluminio. El registro del peso en este paso nos proporcionaba el rendimiento de masa obtenida, además a estas masas se les determinaba enseguida la humedad en una estufa a 110°C por 24 horas o cuando el peso se mantuviera constante. (Método 44-15A AACC) empleando la fórmula anteriormente descrita para el cálculo del % de Humedad.

5.13.2 Obtención de Testales

Enseguida se pesaron 30 gramos de masa y se formaron las bolitas de masa conocidas como testales.

5.13.3 Moldeado

Los testales (bolitas de masa), se prensaron utilizando una prensa manual tratando de ejercer siempre la misma presión, obteniendo discos de masa de aproximadamente 15 cm. de diámetro y un espesor de 2 a 3mm.

5.13.4 Cocimiento de la Tortilla

Los discos de masa obtenidos en el moldeado (tortilla cruda) se pasaban a cocimiento inmediatamente después del prensado empleando para esto una parrilla eléctrica con temperatura controlada de 100°C. El cocimiento de la

tortilla se realizaba durante 2 minutos empleando un minuto para cada lado de la misma.

5.13.5 Enfriamiento

Se procedió a enfriar las tortillas obtenidas a temperatura ambiente durante 1.5 minutos por cada lado para evitar durante el almacenaje de las muestras la sudoración propia debida al calor otorgado durante la cocción de las tortillas.

5.13.6 Empacado

Las tortillas frías se empacaron en bolsas de polietileno en promedio de 6 tortillas por bolsa, se etiquetaron las muestras obtenidas y se almacenaron a temperatura ambiente en un lugar fresco y seco que evitara cambios de humedad y temperatura, para evaluarlas durante los 7 días posteriores a su elaboración. En el inicio del almacenaje se determinó la humedad de las tortillas y un análisis organoléptico. Durante los 7 días de vida de anaquel se evaluó cada tercer día la flexibilidad y rollabilidad de la tortilla.

5.14 SELECCION DE LAS VARIABLES DE RESPUESTA DEL PROCESO DE NIXTAMALIZACION

La aceptabilidad de los productos de maíz está directamente relacionada con la calidad del cocimiento y del proceso del grano (Serna-Saldivar et al 1993). El factor de control más importante durante el proceso es el grado de cocción porque este afecta la maquinabilidad de la masa, las propiedades de la tortilla y el rendimiento del producto (Serna-Saldivar et al 1993)

De acuerdo a la importancia que representa la cocción durante el proceso de nixtamalización, se seleccionaron para el presente trabajo 3 variables de estudio cuya influencia durante la nixtamalización es determinante para la obtención de un producto cocinado alcalinamente. Estas variables son: Concentración de cal, Tiempo de Cocción (manteniendo una temperatura constante de ebullición de 92°C) y Tiempo de Reposo.

Debido a que se evaluarán en la nixtamalización 5 variedades de maíz con características físicas diferentes y tomando en consideración los estándares de cocción alcalina que reporta la literatura, se propusieron para esta investigación manejar:

- 3 Concentraciones de Cal** 1.5%, 2.0% y 3.0%
- 3 Tiempos de Cocción** 50min, 60 min, y 70 min
- 3 Tiempos de Reposo** 0 hrs, 7 hrs y 14 hrs.

5.15 EVALUACION DE LAS VARIABLES DE RESPUESTA EN EL GRANO NIXTAMALIZADO.

5.15.1 Determinación de Absorción de Agua del Grano.

Para este análisis, las muestras se obtuvieron después del escurrimiento del grano nixtamalizado y ya empacado en las bolsas de polietileno, registrando su peso en una balanza con exactitud de 0.0001 gr

El cálculo del % de absorción de agua se determinó por la fórmula siguiente:

$$\% \text{ Abs. de Agua} = \frac{\text{peso grano nixtamalizado} - \text{peso grano de maíz seco} \times 100}{\text{peso del grano nixtamalizado}}$$

5.15.2 Determinación de humedad del grano.

Las muestras del grano nixtamalizado se obtenían a partir de la primera molienda, se pesaban de 2 a 3 gramos de muestra y se colocaban en recipientes de aluminio (previamente a peso constante) dentro de una estufa a evaporación de humedad de la muestra a $T^{\circ} = 110^{\circ}\text{C}$ por 24 horas o a que el peso de la muestra se mantuviera constante. La humedad del grano nixtamalizado se calculó como sigue:

$$\% \text{ Hum. del grano} = \frac{\text{peso de muestra húmeda} - \text{peso de muestra seca}}{\text{peso de la muestra húmeda}} \times 100$$

5.15.3 Determinación de sólidos en el agua de cocción (Nejayote)

La muestra para determinación de sólidos en el agua de cocción correspondía al total de líquidos de lavado del grano nixtamalizado más el agua de la cocción del grano también llamada nejayote. Estos líquidos totales se juntaron en el vaso berceus de 600 ml (previamente a peso constante) y se colocaron en una parrilla eléctrica con temperatura controlada manteniéndolos en ebullición hasta la casi evaporación del agua. Enseguida se metieron a la estufa a $T^{\circ} = 110^{\circ}\text{C}$ por 24 horas para completar la total evaporación del agua y se registró el peso seco de la muestra. El cálculo del % de sólidos se efectuó mediante la fórmula:

$$\% \text{ Sólidos} = \frac{\text{peso de muestra seca}}{\text{peso del grano a nixtamalizar b s}} \times 100$$

5.15.4 Rendimiento de Harina de Maíz Nixtamalizada.

Se calculó este rendimiento registrando el peso del grano nixtamalizado obtenido después de la molienda total, en este paso la muestra aún no contenía agua adicionada, sino únicamente la adquirida debido al tratamiento de nixtamalización correspondiente, la consistencia de estas

muestras era diferente y dependía del proceso aplicado, sin embargo se manejaron con el nombre de harina de maíz nixtamalizada para diferenciarla de la masa de maíz obtenida al final del proceso.

El valor del rendimiento de harina de maíz nixtamalizada estaba representado por el peso total de muestra obtenida después de la molenda.

5.16 EVALUACION DE LAS VARIABLES DE RESPUESTA EN LA MASA DE MAIZ.

5.16.1 Determinación de Humedad de la masa.

Las muestras se obtenían al finalizar el mezclado de las masas, éstas ya contenían el agua correspondiente agregada para la formación final de la masa. La evaluación de humedad se determinó pesando 2 a 3 gramos de muestra colocada en capacillos de aluminio (previamente a peso constante) que se metieron a la estufa con $T^{\circ}= 110^{\circ}\text{C}$ por 24 horas para evaporación total del agua de las muestras. El cálculo de humedad se determinó mediante la fórmula

$$\% \text{Hum. de la masa} = \frac{\text{peso de muestra húmeda} - \text{peso de muestra seca}}{\text{peso de muestra húmeda}} \times 100$$

5.16.2 Rendimiento de Masa de maíz.

Cada muestra obtenida de masa de maíz en cada uno de los 9 tratamientos aplicados, presentó una absorción de agua diferente debida al proceso en sí, por lo tanto el rendimiento para cada tratamiento varía. Este se calcula registrando el peso de las masas obtenidas después del mezclado cuando ya se ha adicionado el agua requerida para su formación.

5.16.3 Maquinabilidad de la masa

Se evaluó registrando la pegajosidad que presentó la masa durante el mezclado y su manejo en el proceso incluyendo también la formación de la tortilla cruda en la prensa manual y su desprendimiento de ésta para realizar la cocción de la tortilla.

Para medir la pegajosidad de la tortilla se empleó la escala siguiente:

- 1 = No pegajosa
- 2 = Ligeramente pegajosa
- 3 = Pegajosa

5.16.4 Análisis Granulométrico

Se realizó un análisis del tamaño de partícula que presentaban las masas al final de la molenda, pesando 10 gramos de muestra y pasándola a través de las mallas No. 20, 40, 60, 150 y 250 de la manera siguiente:

Se apilaron las mallas de menor abertura a mayor en forma ascendente. Se colocó la muestra en la malla superior y se lavó bajo el chorro del agua durante 1 minuto para arrastrar la muestra hacia todas las mallas, eliminar los sólidos solubles y retener sólo las partículas que quedan suspendidas en cada malla correspondiente. Se evaluó el % de sólidos que quedan retenidos en cada malla. Para esto se consideró el % de humedad de cada muestra para obtener el peso de muestra en base seca y determinar exclusivamente el peso de sólidos secos retenido en cada malla. Se determinó previamente el peso constante de cada malla. El procedimiento general consistió de los siguientes pasos:

1 - Se pesaron 10 gramos de muestra de masa de maíz y se calculó su peso en base seca considerando la humedad propia de cada muestra empleando la siguiente fórmula

$$\text{gr sólidos b s} = \frac{\text{peso de muestra húmeda} (100 - \% \text{ humedad de la muestra})}{100}$$

2 - Se colocaron las mallas ensambladas una sobre otra con la malla de mayor abertura (No 20) en la parte superior y la malla de menor abertura (No 250) en la parte inferior como lo muestra la figura anterior.

3 - Se puso la muestra en la malla superior (No 20) y se pasó a través de todas las mallas mediante el chorro del agua durante un minuto, se escurrieron las mallas con la muestra retenida y se metieron a secar en la estufa a $T^{\circ}=110^{\circ}\text{C}$ por 24 horas para lograr la evaporación total del agua.

4 - Se determinó el peso seco de los sólidos retenidos en cada malla y se calculó su porcentaje empleando la fórmula siguiente:

$$\% \text{ sólidos retenidos en c/malla} = \frac{\text{peso seco sólidos retenidos en la malla} \times 100}{\text{peso de muestra inicial b s}}$$

5.16.5 Análisis Sensorial

Se evaluó principalmente el color de la masa de manera subjetiva. El manejo de los diferentes tratamientos (concentraciones de cal y tiempos de reposo) propuestas para el proceso de nixtamalización le confiere al grano de maíz diferentes coloraciones reflejadas en el grano nixtamalizado, en la masa y por consiguiente en la tortilla, tonalidades que van desde el crema claro hasta el amarillo fuerte dependiendo de el tratamiento aplicado.

5.17 EVALUACION DE LAS VARIABLES DE RESPUESTA EN LA TORTILLA DE MAIZ

5.17.1 Determinación de humedad en la tortilla

Se evaluó el porcentaje de humedad de la tortilla obtenida el primer día de su elaboración con la finalidad de conocer la humedad del producto final para cada tratamiento. Este análisis se realizó una vez ya enfriadas las

tortillas y tomando la muestra siempre del centro de las mismas. Se tomaron de 2 a 3 gramos de muestra húmeda y se pesaron en balanza analítica con exactitud de 0.0001 gr., se colocaron en capacillos de aluminio a peso constante y se metieron a la estufa a $T^{\circ}=110^{\circ}\text{C}$ por 24 horas para evaporación total de la muestra. El cálculo de humedad se realizó mediante la fórmula siguiente:

$$\% \text{ Hum. de la tortilla} = \frac{\text{peso_muestra_húmeda} - \text{peso_muestra_seca}}{\text{peso de muestra húmeda}} \times 100$$

5.17.2 Análisis Sensorial de la tortilla

Se evaluó el color de las tortillas, el cuál variaba de acuerdo al tratamiento aplicado, con tonalidades que van desde el color crema claro hasta el amarillo fuerte semejante al color de la masa de la cuál provenían. Este análisis se realizó de manera visual e inmediatamente después de elaborado el producto.

5.17.3 Evaluación de la tortilla durante la cocción

A.- Formación de Ampollas

Durante la cocción de las tortillas se evaluó la formación de ampollas de manera subjetiva empleando la escala siguiente (J. C. Yau, et al, 1994)

- 1 = Pocas o no ampollas
- 2 = 10% a 40% de ampollas
- 3 = Más del 50% de ampollas

Se considera ampolla al hinchamiento que se forma en la tortilla por una de las caras cuando se somete a calentamiento como ocurre durante su cocción, esto es debido al vapor generado en el interior de la masa y que produce que la tortilla se infle. Se evaluó la formación de ampollas durante la cocción de 6 tortillas para cada tratamiento aplicado

B - Puntos Quemados o Manchas

Al finalizar la cocción de las tortillas se evaluó la presencia de puntos quemados o manchas formados en las mismas. El análisis se realizó de manera subjetiva para cada tratamiento aplicando la escala siguiente.(J.C. Yau et al, 1994).

- 1 = Sin manchas o puntos
- 2 = Pocas manchas o puntos
- 3 = Muchas manchas o puntos

5.17.4 Determinación de Flexibilidad y Rollabilidad en la tortilla

Se evaluaron las propiedades de flexibilidad y rollabilidad de la tortilla, las cuáles son de gran importancia en la aceptación de la tortilla pues son indicadores de su textura. Esta prueba es también conocida como prueba del

taco, consiste en enrollar la tortilla para simular la formación de un taco y evaluar el deterioro que sufre en este procedimiento detectando la presencia de grietas o roturas y el lugar donde éstas se presentan. Las tortillas se evaluaron a temperatura ambiente (21°C) desde el primer día de su elaboración enrollándose en rodillos de madera con diámetro de 1.3 cm., 1.0 cm., y 0.7 cm. sucesivamente y registrando el daño ocasionado.

Para la determinación de Flexibilidad se empleó la siguiente escala: (J.C. Yau et al 1994)

- 1 = rígida
- 2 = moderadamente flexible
- 3 = flexible

Para la Determinación de Rollabilidad se empleó la siguiente escala:(J.C. Yau et al 1994)

- 1 = sin grietas
- 2 = signos de grietas sin rotura
- 3 = agrietado y rotura en una superficie
- 4 = agrietado y rotura en ambos lados
- 5 = no enrollable

5.18 EVALUACION DE LAS VARIABLES DE RESPUESTA EN LA VIDA DE ANAQUEL DE LA TORTILLA.

Se evaluó la textura de la tortilla representada por la determinación de flexibilidad y rollabilidad en la vida de anaquel de ésta durante 7 días de almacenamiento a temperatura ambiente en un lugar fresco y seco con temperatura de 21°C y mantenidas empacadas en bolsas de polietileno. Las determinaciones se realizaron por duplicado y cada tercer día para cada tratamiento empleando las escalas de flexibilidad y rollabilidad anteriormente descritas (5.17.4).

5.19 ANALISIS ESTADÍSTICO DE RESULTADOS

Para seleccionar las 5 variedades de maíz con mayor diferencia entre sí, se empleó el método estadístico de análisis conocido como Análisis Cluster. Se calcularon las distancias euclidianas de los valores obtenidos para cada una de las características físicas del grano determinadas para cada variedad de maíz como fueron: Humedad, Peso de 1000 granos, Espesor del pericarpio, densidad, Peso por hectolitro, Dureza, Vitreosidad, Dimensiones del grano (largo, ancho y espesor); con la finalidad de utilizarlas como una calificación general de las 10 variedades en la población con respecto a un punto

situado en el espacio euclidiano a 3 desviaciones estándar de la media para cada característica. Empleando la fórmula siguiente (Davis, John C. 1973) :

$$D = \sum_1^n W_i \left(\frac{(X_i - (\bar{X}_i + 3S_i))}{S_i} \right)^2$$

Donde:

- D = Distancia Euclidiana
- W_i = Ponderación para los valores de la característica "i"
- X_i = Valor de la característica "i"
- \bar{X}_i = Media de los valores de la característica "i"
- S_i = Desviación estándar de la característica "i"
- n = número de características

Los valores de las distancias euclidianas obtenidos se sometieron a un análisis de varianza de 2 vías en donde la primera variable fué la repetición y la segunda variable los 10 genotipos estudiados. Se compararon los genotipos mediante una Diferencia Mínima Significativa de 0.05% para seleccionar cinco variedades con calificaciones divergentes e intermedias que nos permitiera experimentar con maíces físicamente diferentes

La ponderación de las propiedades físicas sometidas al análisis estadístico fué:

Dureza y Peso por Hectolitro > Vitreosidad y Espesor de Pericarpio > Densidad y Peso de 1000 granos.

Los coeficientes de distancia encontrados para cada variedad, así como la similitud o divergencia de las variedades seleccionadas se describen en la Tabla 11

El Análisis Estadístico de los datos reportados en la nixtamalización y la evaluación de la tortilla se realizó de la siguiente manera.

Se obtuvo la matriz de correlaciones entre las características estudiadas en el proceso de nixtamalización y elaboración de la tortilla que fueron: % de sólidos en el agua de cocción (nejayote), rendimiento calculado, humedad en el grano nixtamalizado, humedad calculada en la masa, humedad actual en la masa, pegajosidad de la masa, formación de ampollas durante la cocción de la tortilla, y presencia de puntos quemados o manchas en la tortilla, analizando la correlación entre ellas.

Se evaluó el comportamiento de las propiedades físicas de la tortilla como son rollabilidad y flexibilidad calculando las pendientes de las rectas y el factor de correlación para cada uno de los tratamientos propuestos en los 5 maíces de estudio. Se determinó la pérdida de las propiedades físicas de la tortilla durante el almacenamiento

6.- RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

6.1 Resultados del Análisis Físico a Materia Prima

En la Tabla 9 se presentan los resultados de la Inspección General de Maíz realizada a las 10 variedades de estudio. Todas las muestras analizadas corresponden a la variedad de maíz dentado. Podemos observar que todas las muestras se encuentran dentro del rango de humedad que marca la Norma Oficial Mexicana (NMX-FF-034-1995-SCFI) para maíz que se someta al proceso de nixtamalización.

En lo que respecta a los resultados del aspecto general del grano, lo más importante a destacar es que tres muestras tuvieron presencia de insectos vivos, granos emmohecidos, y en todas las muestras existió por lo menos mezcla de dos variedades de maíz las cuales se determinaron por diferencia de color; esta mezcla afectó de manera importante las condiciones del proceso de nixtamalización.

En esta misma Tabla 9 podemos apreciar que las muestras 1, 5 y 7 representan lotes de baja calidad independientemente del proceso a que se destine, ya que cuentan con 82.1%, 78.36% y 75.72% de grano limpio y sano respectivamente lo cual sería el único porcentaje utilizable si se desean obtener productos de calidad adecuada. La muestra 1 presenta el porcentaje más elevado de grano dañado por insectos (9.16%) y 3.1% de grano emmohecido, lo que indica un mal manejo durante el almacenamiento.

Al analizar la Tabla 9 se observa que todas las muestras presentan al menos mezcla de dos variedades y algunas en porcentajes elevados como lo indica la muestra 6 (23.43% de una variedad y 64.33% restante de otra). Esto resulta inconveniente para el proceso de nixtamalización porque en función de cuál de las 2 variedades se van a fijar las condiciones del proceso.

El porcentaje de grano quebrado en lotes de maíz que se someten al tratamiento térmico-alkalino resulta importante de controlar porque está relacionado con un incremento en pérdidas de materia seca durante el proceso lo cual resulta indeseable porque disminuye el rendimiento del producto final además el grano quebrado presenta absorción de agua en menor tiempo durante la cocción y el reposo afectando los tiempos de gelatinización del almidón, estos factores tienen una estrecha relación con la calidad de la tortilla obtenida (S.O. Serna Saldivar et al, 1993; L.V. Rooney et al, 1995). En la Tabla 9 se observa que todas las muestras presentan algún porcentaje de grano quebrado, aunque las muestras 7, 3 y 9 reportan los valores más altos respectivamente 14.8%, 11.23%, y 8.83%, desmereciendo su calidad. Las muestras clave 3, 4, 7, 8 y 9 sobrepasan la especificación de la norma oficial mexicana para maíz que señala como máximo un 7% de grano quebrado en la calidad México 4 (NMX- FF-034-1995-SCFI).

TABLA 9 RESULTADOS DE LA INSPECCION GENERAL DE LAS VARIEDADES DE MAIZ

MUESTRA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ANALISIS DE GRANOS										
Humedad (%)	11.25	11.5	11.25	11	12.15	12.25	12	10.5	11	12.75
Aspecto General										
Color	amarillo claro con algunos resaca	amarillo claro con algunos resaca amarillos								
Dor	característico	característico	característico	característico	característico	característico	característico	característico	característico	característico
Insectos (presencia)	SI	NO	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Embolamiento	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Verde de variedades	NO	NO	SI							
ANALISIS SELECTIVO (gr)										
Grano limpio y sano	82.1	82.27	83.4	84.29	78.36	87.76	75.72	82.99	83.33	89.06
Otras variedades	3.4	0.11	5.1	3.73	5.4	23.43	3.7	12.53	6.73	12.86
Grano quebrado	2.7	6.14	11.23	7.3	5.16	5.06	14.8	7.86	8.83	3.18
Granos venos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Semillas extrañas	0	0	0	0	0	0.11	0	0.03	0.1	0.23
Grano dañado por insecto	9.16	0	0.7	2.65	0.4	0.3	0	1.5	0	0.43
Grano embolado	3.1	0.06	1.4	2.76	1.0	2.7	4.7	3.9	5.76	4.2
Grano seco	2.4	0.49	2.56	2.43	5.33	3.33	4.05	2.83	1.4	1.5
Impurezas totales	0.5	0.89	0.66	0.45	0.63	0.63	0.7	0.8	0.53	0.56

La muestra 5 presenta el porcentaje más elevado de grano enmohecido (10%) y como consecuencia un porcentaje alto de grano dañado por calor (5.33%) probablemente debido a un tratamiento térmico inadecuado. En lo que respecta a impurezas, ninguna muestra rebasa el 1%, encontrándose por debajo del valor que marca la Norma Oficial Mexicana para maíz, el cual es de 1% como máximo para el maíz de calidad México 1 (NMX-FF-034-1995-SCFI).

Es importante señalar que si se desea la estandarización del proceso de nixtamalización y por consiguiente la obtención de productos de buena calidad, es conveniente manejar materias primas de calidad uniforme y adecuada, como lo menciona la literatura, donde indica las características óptimas de calidad del grano de maíz que se someta a nixtamalización (S.O. Serna-Saldivar et al 1993), y donde se enfatiza que la calidad de la tortilla, los parámetros de cocción y el color del producto dependen principalmente de las características de la materia prima (S O Serna-Saldivar et al, 1990).

En la Tabla 10 se muestran los resultados del análisis físico que se le practicó a las 10 variedades de maíz estudiadas donde podemos apreciar lo siguiente:

La humedad de las muestras está entre 9.75% y 11.50%, valores que se encuentran dentro de los límites que dispone la Norma Oficial Mexicana (NMX-FF-034-1995-SCFI) En la misma Tabla 10 podemos observar que 7 de las muestras analizadas en cuanto a peso de 1000 granos se encuentran dentro del peso ideal recomendado para el proceso de nixtamalización el cual es de 300 gramos (S O Serna-Saldivar et al 1993) y las tres muestras restantes se alejan de 12.6% a 15.6% del peso recomendado.

El espesor de la capa de pericarpio en los granos de maíz es importante para el proceso de nixtamalización porque influye en la absorción de agua por el grano durante las operaciones de cocción y remojo, además de estar relacionado con las pérdidas por materia seca durante el proceso. Aunque no hay datos precisos del valor de la capa de pericarpio, se considera que entre más delgada sea esta capa mayor absorción se tendrá de agua en la nixtamalización (Helm, Zuber, 1969, 1972) En base a esto podemos decir que las variedades analizadas darán buenos resultados en la nixtamalización porque presentan el espesor de la capa de pericarpio con valores de 1.17 mm a 1.70 mm. Además se puede observar que no existe gran diferencia entre dichos valores.

La bibliografía recomienda que los granos de maíz que se sometan a nixtamalización deberán tener una densidad superior o igual a 1.3 cm³ (S.O. Serna-Saldivar et al 1993), como se aprecia en la Tabla 10 las muestras analizadas no cumplen exactamente con este requisito, no obstante los valores obtenidos en la densidad de los granos analizados no se alejan

Tabla 10 PROPIEDADES FISICAS DE 10 VARIEDADES DE MAÍZ

Variedad	Muestra	Humedad	Peso 1000	Espesor de	Densidad	Peso por	Dureza	Vitreosidad	Dimensiones			Endospermo
	Clave	%	granos	Pericarpio	gr/cm ³	Hectolitro	seg	Escala 1 a 5	Largo	Ancho	Espesor	Textura
			gr	mm		Kg/hl			mm	mm	mm	
Huejutla, Hgo	1	11.25	301.83	1.60	1.20	74.60	28.0	1.7	11.84	9.03	4.49	suave
Huatabampo, Son	2	11.50	302.0	1.34	1.19	76.76	33.0	1.8	11.63	8.77	4.61	suave
Hermosillo, Son	3	11.25	283.4	1.25	1.21	76.03	27.3	1.8	11.70	8.21	4.43	suave
Sinaloa	4	11.00	298.9	1.17	1.19	74.41	26.66	1.7	11.07	8.51	4.59	suave
San Luis Potosí	5	10.75	279.8	1.28	1.21	78.66	25.66	1.8	11.83	9.58	4.04	suave
Ocampo, Gto	6	10.25	262.4	1.54	1.19	74.68	51.66	2.7	11.90	7.87	4.76	dura
Apizaco, Tlax	7	10.00	295.6	1.69	1.21	78.10	34.33	2.2	11.30	8.63	4.53	semidura
Irapuato, Gto	8	10.50	345.5	1.51	1.18	74.75	41.0	2.5	12.99	8.78	4.54	dura
Los Mochis, Sin	9	11.00	333.6	1.29	1.20	78.95	35.33	1.7	11.89	8.43	4.75	semidura
Lerma, Edo de Mex	10	9.75	322.1	1.48	1.22	76.70	43.0	2.3	13.28	7.62	5.19	dura

mucho del valor recomendado (aproximadamente 76%); la densidad promedio se encuentra alrededor de 1.2 gr./ cm³ por lo que se puede predecir que no tendrá una influencia significativa para el proceso.

Se debe tomar en cuenta que la densidad a granel se ve afectada por el tamaño del grano, el peso del mismo y el espacio intergranular o espacio de vacío que se genera durante su acomodo (Dorseney-Reeding, C. et al 1991). Generalmente una menor densidad a granel está relacionada con granos grandes y mayor espacio vacío, en la Tabla 10 podemos apreciar que los resultados del estudio físico concuerdan con lo reportado por la bibliografía ya que los granos que presentan las densidades más bajas son aquellos clasificados como grano grande. También se puede observar en la Tabla 10 que los granos de dimensiones menores tienen los pesos de 1000 granos más bajos. Sin embargo los granos clasificados como pequeños presentan densidades parecidas o mayores a un grano grande, esto es debido a que el grano pequeño a granel se acomoda mejor y como consecuencia presenta un espacio intergranular menor, lo que origina una densidad mayor comparada con la densidad de granos grandes (Domingo Puzzi 1984).

Fig. 13 Espacio Intergranular



Entre las propiedades físicas del maíz, el Peso por Hectolitro y la Dureza del grano son los factores principales que afectan los requerimientos de cocción. La literatura (S.O Serna-Saldivar et al 1993) reporta para un grano que se va a someter al proceso de nixtamalización un peso por hectolitro de 77.2 kg/hl. En la Tabla 10 se puede distinguir que 6 de las variedades analizadas se encuentran dentro del valor recomendado por la bibliografía y las 4 muestras restantes sólo se alejan 3.45% en promedio presentando valores alrededor de 74.6 kg/hl.

En esta misma Tabla 10 se puede ver que existe una relación entre el peso por hectolitro y el peso de 1000 granos. Las mismas muestras que cumplen los requisitos en cuanto a peso/hl son aquellas cuyo peso de 1000 granos es alto; esto es lógico si consideramos que el valor de peso/hl es la densidad a granel del maíz, que no es otra cosa que la masa entre un volumen fijo; y por lo tanto muestras que tengan pesos altos generalmente tendrán pesos por hectolitro altos. Estos resultados concuerdan con los reportados por otras

investigaciones que determinan que el peso de 1000 granos es función del tamaño del grano y de su densidad (Dorsey-Reeding, C. et al 1991)

En cuanto a la dureza del maíz, se recomienda que un grano adecuado para la nixtamalización debe presentar una dureza (expresada como el porcentaje de material removido por abrasión) menor al 40% (S.O.Serna-Saldivar et al 1993), para el caso de esta propiedad no podemos comparar los resultados de la tabla 10 con lo reportado por la literatura porque la dureza se determinó por otro método, y esto nos impide detectar si las variedades estudiadas cumplen o están dentro del valor recomendado. Sin embargo, de los resultados obtenidos por el método empleado en este trabajo, si podemos determinar que de las 10 variedades de maíz, 5 se consideran de endospermo suave, 3 de endospermo duro y 2 de endospermo semiduro. La bibliografía recomienda que un maíz adecuado para el proceso de nixtamalización deberá contar con endospermo de semiduro a duro porque representa menores pérdidas de materia seca durante la nixtamalización, (S.O.Serna-Saldivar et al 1990)

Se ha encontrado que existe una relación entre las propiedades Peso por Hectolitro, dureza del grano y vitreosidad del grano, (Dorsey-Reeding, C et al 1991). En esta investigación se encontró una relación entre la dureza y vitreosidad del grano de maíz como lo reporta la bibliografía (C. Mestres et al 1991). En la Tabla 10 se observa una relación inversa entre la calidad vitrea del grano y la dureza del mismo, ya que los granos menos vitreos presentan la dureza más alta (vitreosidad 27 y dureza 51.66 seg) Sin embargo debemos recordar que la cualidad vitrea y la de dureza no son producto de la misma causa fundamental, y que es posible tener granos duros que sean opacos y granos blandos que pueden ser vitreos, aunque esto pueda resultar poco frecuente. Un grano vitreo representa un efecto óptico, esto es, debido a que las cavidades aéreas que se encuentran alrededor de los gránulos de almidón en el grano de maíz provocan que la luz se difracte y se difunda haciendo que el grano aparezca como opaco o harinoso. En cambio en granos con gránulos de almidón bien repletos sin cavidades aéreas, la luz se difracta en la interfase aire-grano para luego viajar a través del grano sin sufrir la difracción una y otra vez, el resultado es un grano translúcido o vitreo

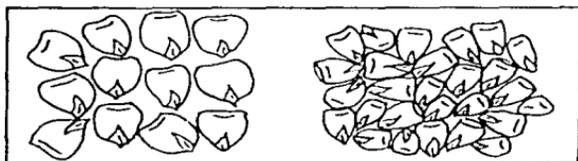
La dureza del grano, en cambio, es producida por un efecto diferente el cuál es la fuerza de unión entre la proteína y el almidón que existe en el endospermo, (Stanley A Watson, Paul E Ramstad 1987)

Existen investigaciones que han determinado una relación directa entre la dureza del grano de maíz y el peso por hectolitro, mencionando que granos de maíz con menores valores en su peso por hectolitro frecuentemente tienen un menor porcentaje de endospermo duro (Dorsey-Reeding, C. et al 1991), comportamiento que no se encontró en esta investigación, por el contrario, en la Tabla 10 se observa que las muestras que presentan el peso

por hectolitro más alto, tienen el valor más bajo en dureza; la explicación se encuentra tal vez, en que el peso por hectolitro no es otra cosa que la densidad del grano a granel, propiedad que se ve afectada por: el espacio intergranular o espacio de vacío, las dimensiones del grano y el peso del mismo; y cabe hacer notar que en el presente trabajo no se mantuvieron constantes estas propiedades, pues se manejaron variedades de diferentes dimensiones. Así tenemos que, los granos pequeños se acomodan mejor dejando menor espacio intergranular que un grano grande, dando como resultado valores en peso por hectolitro mayores. Observando los resultados de la Tabla 10, vemos que granos considerados de menor dimensión presentan un peso por hectolitro mayor que aquellos considerados como granos grandes. Además las dimensiones del grano no tienen ninguna relación directa con la propiedad de dureza del mismo, ya que puede haber granos pequeños de endospermo duro o suave, como ocurrió en el presente trabajo.

También se observa que un grano grande pesará más que uno pequeño. Tabla 10 Fig. 14, pero recordemos que granos grandes presentan mayor espacio intergranular en un volumen constante, habiendo menos granos y por consiguiente menores valores en el peso por hectolitro.

Fig. 14 Comparación del tamaño de granos grandes vs granos chicos.



Se ha venido mencionando que de las propiedades físicas del grano de maíz que se va a emplear para la nixtamalización, las más importantes a considerar por su efecto en el proceso, son en orden de importancia: Peso por Hectolitro, Dureza, Vitreosidad, Espesor de la capa de pericarpio, Densidad y Peso de 1000 granos. Considerando este orden de prioridad, se sometieron al análisis de la Prueba de Diferencia Mínima Significativa, los datos reportados en la Tabla 10 de las 10 variedades de maíz evaluadas, con el propósito de seleccionar aquellas 5 variedades que difieran entre sí significativamente.

La Tabla 11 muestra la selección de las 5 variedades con mayor diferencia entre sí.

TABLA 11 RESULTADOS DEL ANALISIS ESTADÍSTICO DE 10 VARIEDADES DE MAÍZ

Prueba de Diferencia Mínima Significativa		SELECCIÓN DE 5 VARIEDADES		
Orden por categoría	Grano de Maíz	Coefficiente de	Similitud o	MUESTRAS
	Clave muestra	Distancia	Divergencia	SELECCIONADAS
	4	16 77	A	
	1	15 5	AB	1
	3	14 92	BC	
	5	13 85	CD	5
	2	13 56	D	2
	8	12 64	DE	
	6	12 22	E	6
	7	11 97	E	
	9	10 55	F	9
	10	10 39	F	

Se compararon las variedades de maíz mediante una Prueba de Diferencia Mínima Significativa, seleccionando 5 variedades con calificaciones divergentes que permitieran experimentar con maíces físicamente diferentes. Este análisis estadístico calculó los coeficientes de distancia entre las 10 variedades de estudio, mismos que se presentan en la Tabla 11, una corta distancia indica que los objetos son similares o "cercanamente juntos", mientras que una mayor distancia representará disimilitud entre ellos.

La similitud o divergencia obtenida en el análisis se representa en la Tabla 11 por las letras A a la F quedando seleccionadas las variedades de maíz con las claves 1, 2, 5, 6 y 9. Como se puede observar la muestra 4 presenta divergencia con las demás y podría haber sido escogida en lugar de la muestra 2, sin embargo esto no fue así debido a que la cantidad de muestra con la que se contaba de esa variedad no era suficiente para el desarrollo experimental propuesto.

De acuerdo a las propiedades físicas obtenidas con anterioridad, las características generales de las 5 variedades seleccionadas se pueden resumir de la siguiente manera quedando reportadas en la Tabla 12.

Maíz clave 1- grano de maíz de tamaño mediano y endospermo suave. Presenta alto espesor de la capa de pericarpio.

Tabla 12 PROPIEDADES FISICAS DE LAS VARIEDADES SELECCIONADAS PARA LA NIXTAMALIZACIÓN

Variedad	Muestra	Humedad	Peso 1000	Espesor de	Densidad	Peso por	Dureza	Vitreosidad	Dimensiones			Endospermo
	Clave		grancs	Pencarpo		Hectolitro		Escala 1a 5	Largo	Ancho	Espesor	Textura
		%	gr.	mm	gr/cm ³	Kg/hi	seg		mm	mm	mm.	
Huejutla, Hgo	1	11.25	301.63	1.60	1.20	74.60	28.0	1.7	11.84	9.03	4.49	suave
Huatabampo, Son	2	11.50	302.0	1.34	1.19	76.75	33.0	1.8	11.63	6.77	4.61	suave
San Luis Potosí	5	10.75	279.8	1.28	1.21	78.65	25.65	1.8	11.83	6.59	4.04	suave
Ocampo, Gto	6	10.25	262.4	1.54	1.19	74.68	51.65	2.7	11.90	7.67	4.76	duro
Los Mochis, Sin	9	11.00	333.6	1.29	1.20	78.95	35.33	1.7	11.89	8.43	4.75	semiduro

Maíz clave 2.- grano de tamaño mediano, endospermo suave y bajo espesor de la capa de pericarpio

Maíz clave 5.- grano de tamaño chico, endospermo suave, presenta el menor espesor de la capa de pericarpio.

Maíz clave 6.- grano de tamaño chico, endospermo duro, presenta la mayor dureza y un espesor intermedio de la capa de pericarpio.

Maíz clave 9.- grano de tamaño grande y endospermo semiduro, presenta dureza y vitreosidad intermedias con relación a los 5 seleccionados, tiene bajo espesor de la capa de pericarpio.

Las 5 variedades anteriormente descritas se someterán a los procesos de Nixtamalización diseñados para el presente trabajo

6.2 Análisis de Resultados en la Nixtamalización

En las Tablas (13 a la 17) se muestran los resultados de las variedades que se sometieron al proceso de nixtamalización y en la Tabla 12 se presentan las características físicas de estas variedades.

6.2.1 Humedad del grano nixtamalizado en función del tiempo de cocción y tiempo de reposo.

En la Fig. 16 (Tablas 13 a la 17) podemos observar el comportamiento de la humedad del grano nixtamalizado en función del tiempo de cocción. Lo primero que notamos es que todas las muestras tuvieron el tiempo de cocimiento adecuado. Según los estudios realizados por Bedolla y colaboradores (1982), Morad y colaboradores (1986), y Gomez y colaboradores (1991), encontraron que la cocción adecuada del grano es cuando la humedad del nixtamal alcanza un valor entre 45% y 60%, porque la masa resultante presenta adecuada plasticidad, cohesividad, y maquinabilidad. Como puede apreciarse en los datos reportados en las Tablas 13 a 17 los resultados de esta investigación se encuentran entre 45% y 59.7% de humedad en el grano de maíz nixtamalizado. La humedad máxima en el grano nixtamalizado fué de 59.79% a un tiempo de cocción de 70 minutos con tiempo de reposo de 14 horas.

Después, en la misma Fig 16 podemos notar que todas las variedades sometidas a la nixtamalización tuvieron la misma tendencia: un incremento constante de humedad conforme aumentaba el tiempo de cocción, obteniéndose los valores mas altos a tiempos de cocción más prolongados. Esto es debido a que la humedad del grano nixtamalizado está relacionada con la absorción del agua y ésta a su vez se encuentra relacionada con la gelatinización parcial del almidón del grano, de ahí que a tiempos mayores de cocción se tenga mayor captación de agua por el grano

En la Fig. 16 y Tablas 13 a la 17 también podemos apreciar que de las tres variables de estudio (tiempo de cocción, tiempo de reposo y concentración

de cal) la que representó mayor influencia en la humedad del grano nixtamalizado fué el tiempo de reposo. A mayor tiempo de reposo, mayor agua absorbida por el grano dando como resultado un incremento en la humedad del grano. Esta tendencia es la esperada ya que el reposo se realiza con el agua de cocción lo que implica que el grano continúa absorbiendo agua hasta el momento que se decante el líquido de cocción.

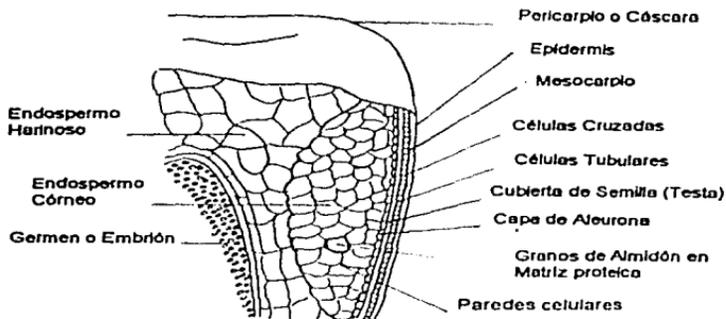
Si analizamos el comportamiento de la humedad en función de la variedad (Tablas 12 y 13 a la 17), podemos apreciar que las tres variedades con endospermo suave (Tabla 12) presentaron diferencias en la humedad del grano (56.38%, 58.28% y 52.29%) (Tablas 13,14 y 15). Este comportamiento se explica porque aunque presentan el mismo tipo de endospermo suave, tienen diferente espesor de la capa de pericarpio (Tabla 12), las diferencias en los espesores son mínimas (1.60 mm, 1.34 mm y 1.28 mm), sin embargo, los resultados obtenidos en la presente investigación concuerdan con lo reportado por la bibliografía y resultados de otras investigaciones que a mayor espesor de la capa de pericarpio menor captación de agua (espesor=1.60mm, humedad del grano nixtamalizado =52.29%) y para un espesor menor (espesor =1.29mm, humedad =59.79%) (Helm, y Zuber 1969,1972).

Al comparar el grano de endospermo suave con uno de endospermo duro se presenta la tendencia esperada y reportada por la bibliografía y otras investigaciones (S.O Serna-Saldivar et al,1993), que menciona que granos de endospermo duro absorben menor agua debido a su mayor contenido proteico predominante al almidonoso, y esta menor absorción de agua se refleja en menor humedad del grano durante el proceso.

Si comparamos ahora los tres tipos de endospermo que contenían los granos que se sometieron al proceso de nixtamalización en función de esta característica del grano, se esperaba que los granos que captaran más humedad a las mismas condiciones de proceso fueran aquellos que tuvieran endospermo suave. Sin embargo el maíz de endospermo semiduro (Fig 16) fué el que registró el mayor contenido de humedad (59.79%) (Tabla 16). Nuevamente la explicación la encontramos en el espesor de la capa de pericarpio ya que este grano fué el que registró el espesor de pericarpio de (1.29 mm)

Estos resultados nos llevan a pensar que tiene más influencia el espesor de la capa de pericarpio que la dureza del endospermo en la absorción de agua. Este comportamiento resulta lógico si recordamos que el agua tiene que llegar a los gránulos de almidón que se encuentran en el endospermo pero antes debe atravesar diferentes barreras como son: capa de pericarpio, capa de aleurona y endospermo, en el endospermo antes de llegar a los gránulos de almidón, el agua deberá atravesar la matriz proteica (capa de proteínas), ésta barrera varía en función del tipo de endospermo. La Fig. 15 siguiente esquematiza lo anteriormente descrito.

Fig. 15 Esquema de las diferentes capas de un grano de maíz.



6.2.2 Incremento en Peso del grano nixtamalizado

Analizando la Fig. 17 observamos que el incremento en peso del grano nixtamalizado el cual depende de la absorción de agua por el mismo, deberá tener una tendencia similar a la presentada en los resultados de Humedad de la Fig. 16. Al revisar las gráficas notamos que las tendencias son parecidas, lo cual era lo esperado ya que en ambas gráficas la absorción de agua es la variable que nos determina los cambios de incremento en peso y humedad del grano. Por lo tanto se aplica en la Fig. 17 la misma explicación que la presentada para la Fig. 16.

El rendimiento del grano seco a grano nixtamalizado, es también un parámetro importante de evaluar para fijar las condiciones del proceso, éste se calcula mediante el incremento en peso del grano nixtamalizado.

De acuerdo a este parámetro se determinó que las mejores condiciones del proceso son: 14 horas de reposo, 3% de concentración de cal y 70 minutos de cocción, porque es donde se alcanzan los mayores rendimientos (Tablas 13 a la 17).

Después apreciamos que el mayor incremento en peso se alcanzó con dos variedades: una de endospermo suave (maíz clave 2) que tenía el espesor de pericarpio de 1.28 mm, presentó un incremento en peso de 130.92%; y una de endospermo semiduro pero con un espesor de la capa de pericarpio equivalente a 1.29 mm presentó un incremento en peso de 131.13%. Estos resultados concuerdan con los de humedad reportados anteriormente.

6.2.3 Incremento en Peso del grano en función del % de cal

En la gráfica de la Fig. 19 "Incremento en peso del grano en función del % de cal", y Tablas 13 a la 17 se observa que existe una influencia de la concentración de cal sobre el incremento en peso del grano aunque de efecto menor que las otras variables de estudio (tiempo de reposo y tiempo de cocción) en la absorción de agua del grano que se traduce en rendimientos mayores. Esto es debido a que la cal actúa como un álcali fuerte rompiendo principalmente los componentes fibrosos del grano como son hemicelulosas encontradas en las capas externas del grano (pericarpio y aleurona), facilitando su remoción durante la cocción y el remojo, permitiendo de esta manera la absorción de agua por el grano. (Stanley A. Watson, Paul E. Ramstad 1987).

6.2.4 Pérdida de sólidos en función del tiempo de cocción y tiempo de reposo.

Al observar la gráfica de la Fig. 18 "Pérdida de sólidos en el agua de cocción en función del tiempo de cocción", podemos notar que de manera general todas las muestras de maíz presentaron un incremento en la pérdida de sólidos conforme aumentaba el tiempo de cocción. Esta tendencia fue la esperada ya que la cocción alcalina remueve las capas externas del grano y ayuda a la solubilización de otros componentes del grano, además con mayor tiempo de cocción estas pérdidas se acentúan (Stanley A. Watson, Paul E. Ramstad 1987).

En la misma gráfica de la Fig. 18 podemos apreciar también nuevamente, que de las variables que se manejaron en la nixtamalización, la de mayor influencia en la pérdida de sólidos fue el tiempo de reposo debido a que fue donde se registraron las mayores pérdidas, mientras que para un reposo igual a cero horas se presentó menores pérdidas de sólidos.

En las Tablas 13 a la 17 podemos notar que la concentración de cal tiene un efecto menos marcado en la pérdida de sólidos que el que presenta el tiempo de reposo. Sin embargo, si se puede apreciar que a mayor concentración de cal mayores pérdidas de sólidos en el agua de cocción, y esto se debe, como ya se mencionó anteriormente a que la cal contribuye a la remoción de las capas externas del grano de maíz que se van con el líquido de cocción o nejayote.

La bibliografía menciona que un grano de endospermo suave presenta más pérdidas durante la nixtamalización que aquél que contenga endospermo duro (S.O Serna-Saldivar et al 1993). Si observamos la Fig. 16 apreciamos que los resultados de investigación concuerdan con lo antes mencionado en donde la mayor pérdida de sólidos la presentó un maíz de endospermo suave (10.42%, maíz clave 1) y las menores pérdidas las tuvo un maíz de endospermo duro (5.94%, maíz clave 6).

En la gráfica de la Fig 18 y Tablas 13 a la 17, si revisamos los resultados obtenidos con los granos de endospermo suave (claves 1,2 y 5), se encontraron diferencias entre ellos en lo que respecta a la pérdida de sólidos en el agua de cocción. Esto se debió a que la capa de pericarpio presentaba diferente espesor en cada variedad de endospermo suave. Se mantuvo una relación directa a mayor espesor de la capa de pericarpio un incremento de sólidos en el agua de cocción o nejayote.

Las muestras 5 y 6 que correspondían a grano de endospermo suave con espesor de la capa de pericarpio de 1.28 mm y grano de endospermo duro con espesor de la capa de pericarpio de 1.54 mm respectivamente, presentaron un comportamiento similar en las pérdidas de sólidos en el agua de cocción y sin embargo sus características físicas son muy diferentes entre sí. Este comportamiento no tiene una explicación lógica principalmente para el grano suave de bajo espesor de pericarpio, cuyas expectativas eran mayor pérdida de sólidos en el agua de cocción, no así con el grano de endospermo duro el cual si ve reducida su pérdida de sólidos.

El comportamiento del grano de endospermo semiduro (clave 9) fué el esperado con relación a los demás pues presentó pérdidas de sólidos mayores (7.38%) que un grano de endospermo duro (5.94%), pero más baja que aquél de endospermo suave (10.42%).

Resumiendo esta gráfica podemos decir, que los dos factores dureza y espesor de pericarpio influyen determinadamente en la pérdida de sólidos y que ésta se incrementa en función del tiempo de reposo.

6.2.5 Incremento en Peso de Harina de Maíz

En la Tabla 18 y Fig. 20 se observa que las 5 variedades de maíz estudiadas presentan la misma tendencia a un incremento en peso de harina de maíz nixtamalizado conforme aumenta el tiempo de cocción y el tiempo de reposo, encontrando el incremento mayor a 70 min. de cocción y 14 horas de reposo para ambas concentraciones de cal manejadas (1.5% y 3.0%). Debido a que ambas concentraciones presentan la misma tendencia, sólo se muestra la gráfica para 3.0% de cal en donde se puede apreciar un mayor incremento en peso sin importar la variedad esto es debido a que una mayor concentración de cal en el tratamiento alcalino favorece la disolución y remoción de las capas externas del grano permitiendo mayor absorción de agua por el grano y como consecuencia mayor incremento en peso (Gómez et al 1989).

Esta harina de maíz proviene de la molienda del grano de maíz nixtamalizado obtenido en cada tratamiento de nixtamalización. Durante este manejo se tuvieron pérdidas de nixtamal de 3 a 5% en promedio debidas al proceso en sí, esto se presentó para todas las variedades manejadas durante la experimentación.

Tabla 13. RESULTADOS DE LA NIXTAMALIZACION DE MAIZ

MAIZ CLAVE 1 Huejutla, Hgo.
ENDOSPERMO SUAVE

TRATAMIENTO reposo-cal-cocción hr - % - min	GRANO DE MAIZ B S gr.	GRANO DE MAIZ NIXTAMALIZADO gr	INCREMENTO EN PESO %	SOLIDOS DE NEXAYOTE %	HUMEDAD EN MAIZ NIXT. %
0hr -1.5%-50 min	97.7689	186.25	90.49	4.59	49.53
0hr -1.5%-70 min	97.6614	184.05	88.49	5.82	49.83
0hr -3.0%-50 min	97.7157	182.05	86.29	7.1	48.59
0hr -3.0%-70 min	97.762	188.45	92	7.54	50.55
7hr -2.25%-60 min	97.6856	199.3	92.76	6.47	54.04
14hr-1.5%-50 min	97.7023	199.85	106.84	6.73	54.8
14hr-1.5%-70 min	97.6718	202.75	110.84	8.27	54.7
14hr-3.0%-50min	97.6912	203.25	108.08	7.05	55
14hr-3.0%-70 min	97.6507	206.85	111.86	10.42	56.38

Tabla 14. RESULTADOS DE LA NIXTAMALIZACION DE MAIZ

MAIZ CLAVE 2 Huatabampo, Son
ENDOSPERMO SUAVE

TRATAMIENTO reposo-cal-cocción hr - % - min	GRANO DE MAIZ B S gr.	GRANO DE MAIZ NIXTAMALIZADO gr.	INCREMENTO EN PESO %	SOLIDOS DE NEXAYOTE %	HUMEDAD EN MAIZ NIXT. %
0hr -1.5%-50 min	97.404	180.45	85.25	3.57	46.7
0hr -1.5%-70 min	97.4112	184.5	89.4	4.73	48.74
0hr -3.0%-50 min	97.444	177.8	82.46	6	46.37
0hr -3.0%-70 min	97.4054	186.75	91.72	7.06	49.46
7hr -2.25%-60 min	97.403	214.05	119.75	6.87	57.6
14hr-1.5%-50 min	97.499	213.7	119.18	5.11	55.98
14hr-1.5%-70 min	97.4768	220.45	126.15	6.89	58.06
14hr-3.0%-50min	97.4118	213.35	118.5	6.99	56.13
14hr-3.0%-70 min	97.457	225.05	130.92	7.94	58.28

Tabla 15. RESULTADOS DE LA NIXTAMALIZACION DE MAIZ

MAIZ CLAVE 5 **San Luis Potosí**
ENDOSPERMO SUAVE

TRATAMIENTO reposito-cal-cocción hr - % - min	GRANO DE MAIZ B S gr.	GRANO DE MAIZ NIXTAMALIZADO gr.	INCREMENTO EN PESO %	SOLIDOS DE NEXAYOTE %	HUMEDAD MAIZ NIXT. %
0hr -1.5%-50 min	98 29	173 625	76 64	3 13	45
0hr -1.5%-70 min	98 2388	176 375	79 53	3 98	46.34
0hr -3.0% -50 min	98 2969	175 18	78 21	4 22	44 62
0hr -3.0% -70 min	98 2288	174 64	77 79	5 77	45.91
7hr -2.25%-60 min	98 2289	189	92 4	4 99	50 16
14hr-1.5% -50 min	98 222	189 9	93 33	4 93	50 27
14hr-1.5% -70 min	98 26	192 35	95 75	5 56	51.55
14hr-3.0% -50min	98 3136	190 55	93 81	5 71	50 52
14hr-3.0% -70 min	98 2602	195 9	99 36	6 02	52 29

Tabla 16. RESULTADOS DE LA NIXTAMALIZACION DE MAIZ

MAIZ CLAVE 6 **Ocampo, Gto.**
ENDOSPERMO DURO

TRATAMIENTO reposito-cal-cocción hr - % - min	GRANO DE MAIZ B S gr	GRANO DE MAIZ NIXTAMALIZADO gr.	INCREMENTO EN PESO %	SOLIDOS DE NEXAYOTE %	HUMEDAD EN MAIZ NIXT. %
0hr -1.5%-50 min	98 3795	175 06	77 94	3 59	44 48
0hr -1.5% -70 min	98 4046	178 83	81 72	4 4	46 52
0hr -3.0% -50 min	98 3994	172 71	75 52	5 25	44 3
0hr -3.0% -70 min	98 3317	177 54	80 55	5 42	46 07
7hr -2.25%-60 min	98 4044	204 8	109 12	5 01	53 96
14hr-1.5% -50 min	98 3914	201 55	104 48	4 56	53 19
14hr-1.5% -70 min	98 4085	206	109 33	4 85	54 75
14hr-3.0% -50min	98 4023	203 25	106 54	5 69	53 58
14hr-3.0% -70 min	98 4351	210 8	114 15	5 94	55 59

Tabla 17. RESULTADOS DE LA NIXTAMALIZACION DE MAIZ

MAIZ CLAVE 9 **Los Mochis, Sin.**
ENDOSPERMO SEMIDURO

TRATAMIENTO	GRANO DE MAIZ	GRANO DE MAIZ	INCREMENTO	SOLIDOS DE	HUMEDAD
reposo-cal-cocción	B S	NIXTAMALIZADO	EN PESO	NEXAYOTE	MAIZ NIXT.
hr - % - min	gr	gr	%	%	%
0hr -1.5%-50 min	97.9567	170.16	73.7	3.67	43.98
0hr -1.5% -70 min	97.9799	172.72	76.28	4.71	45.27
0hr -3.0% -50 min	97.9555	166.92	70.4	5.12	42.55
0hr -3.0% -70 min	97.9459	170.37	73.94	6.16	44.55
7hr -2.25%-60 min	97.9445	191.85	95.87	4.45	51.52
14hr-1.5% -50 min	97.9608	207.3	111.61	5.25	55.24
14hr-1.5% -70 min	97.9518	214.25	118.73	6.04	56.63
14hr-3.0% -50min	97.9467	217.9	122.46	6.77	57.78
14hr-3.0% -70 min	97.9361	226.4	131.13	7.3	59.79

Fig. 16 COMPORTAMIENTO DE LA HUMEDAD DEL GRANO DE MAÍZ NIXTAMALIZADO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE COCCIÓN Y TIEMPO DE REPOSO 3.0% Cal

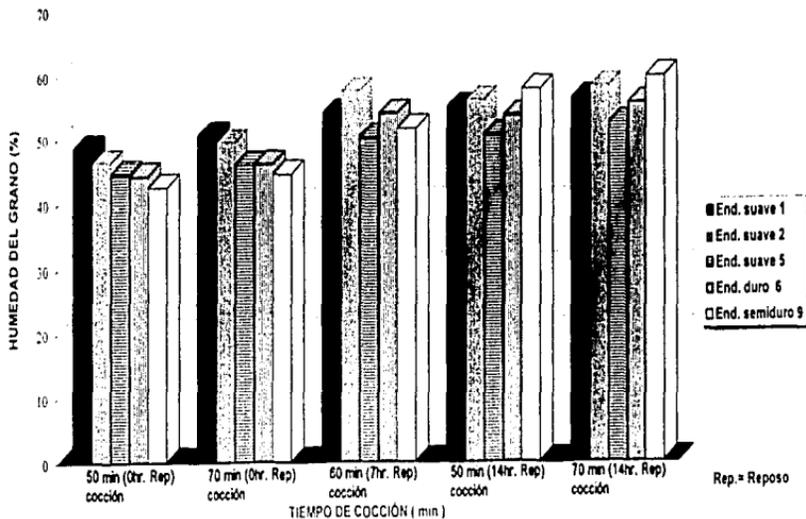


FIG. 17 INCREMENTO EN PESO DEL GRANO DE MAÍZ NIXTAMALIZADO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE COCCIÓN Y
 TIEMPO DE REPOSO 3.0% Cal

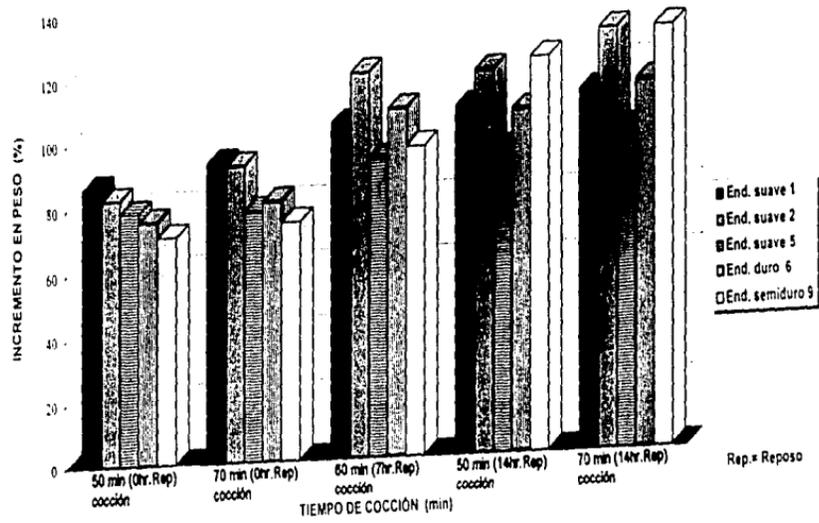


FIG. 18 PÉRDIDA DE SÓLIDOS EN EL AGUA DE COCCIÓN EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE COCCIÓN Y TIEMPO DE REPOSO 3.0% CaI

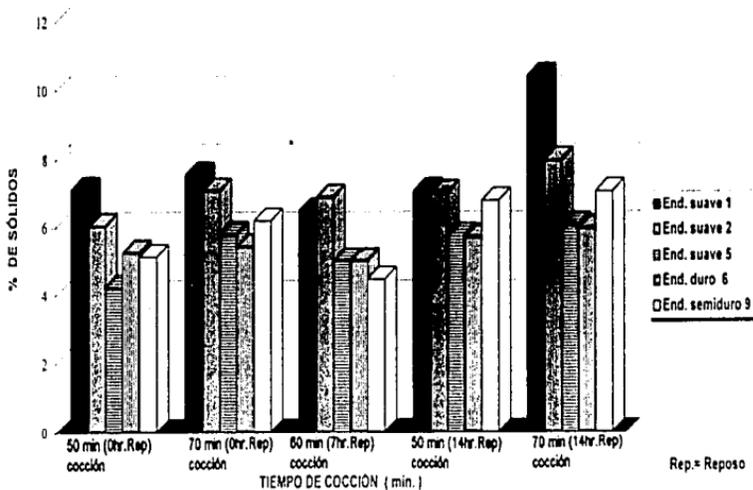
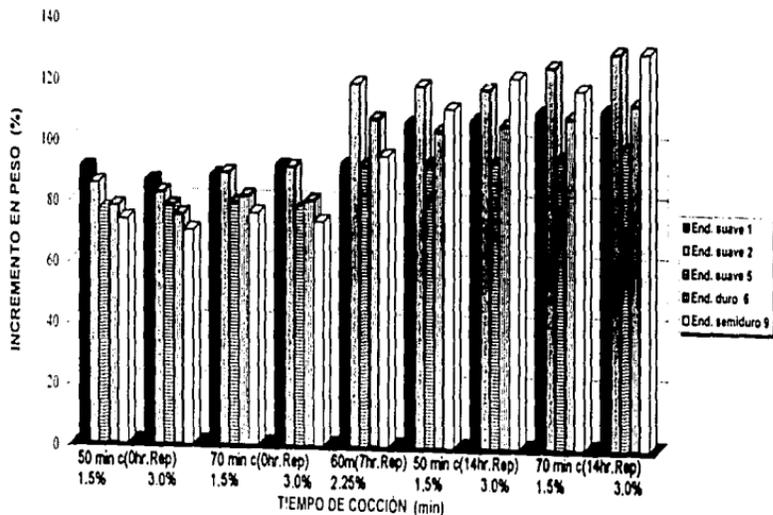


FIG. 19 INCREMENTO EN PESO DEL GRANO EN FUNCIÓN DEL PORCIENTO DE CAL



Rep.= Reposo

% Cal

Haciendo un análisis en función de la variedad, (Fig. 20) observamos que a cero reposo, las variedades de endospermo suave (claves 1, 2 y 5) presentaron el mayor incremento en peso que aquellas de endospermo duro y semiduro, sin embargo conforme aumenta el tiempo de reposo, los maíces de endospermo duro y semiduro igualan e incluso sobrepasan en incremento en peso a los maíces de endospermo suave. Este comportamiento se explica en base al menor espesor de la capa de pericarpio que presentan estas variedades (Tabla 12), favoreciendo mayor absorción de agua por el grano, además de que la textura del endospermo duro y semiduro no permite gran pérdida de sólidos durante el tratamiento alcalino.

Es importante señalar que el maíz clave 5 de endospermo suave y el menor espesor de la capa de pericarpio (1.29 mm) (Tabla 12) tuvo el menor incremento en peso de harina de maíz nixtamalizado, comportamiento aparentemente contradictorio, pues era de esperar una mayor absorción de agua debido a sus características físicas, sin embargo según referencias bibliográficas y otras investigaciones, reportan que maíces de endospermo suave presentan mayores pérdidas de sólidos durante la nixtamalización (S.O. Serna Saldivar, et al 1993) encontrando la explicación de su menor incremento en peso con relación a las otras variedades.

6.2.6 Análisis de la cantidad de agua adicionada durante la molienda.

La cantidad de agua adicionada al nixtamal durante la molienda húmeda, se realizó en función de obtener masas con consistencia similar a la masa comercial para la elaboración de tortillas, utilizando para esto por comparación subjetiva 3 muestras de masas comerciales.

En la gráfica de la Fig. 21 podemos observar que a mayores tiempos de cocción y de reposo se requiere de adicionar menor cantidad de agua para formar la masa a una consistencia previamente fijada. Esto se encuentra relacionado con la mayor gelatinización del almidón a mayores tiempos de cocción y de reposo debido a que el gránulo de almidón capta mayor cantidad de agua y por lo tanto la masa resultante requerirá menor cantidad de agua adicionada para obtener la consistencia deseada.

Se puede observar en la Tabla 19 Fig. 21 que cuando se manejan mayores concentraciones de cal (3.0%) al elaborar la masa se requería menor cantidad de agua, debido como ya se mencionó a que el incremento en la cantidad de cal favorece la disolución de las capas externas del grano permitiendo la mayor absorción de agua durante el proceso y requiriendo por lo tanto menor agua adicionada durante la molienda.

6.2.7 Análisis de la humedad final en la masa.

La humedad final de las masas para elaborar las tortillas presentó valores distintos para cada tratamiento (Tabla 20 y Fig 22), manteniéndose en el

rango 53-63%, considerado por la bibliografía como rango adecuado para la elaboración de tortillas (Gómez et al 1991).

La variación en las humedades alcanzadas es debido a los diferentes tratamientos de nixtamalización a que fueron sometidos los maíces y como consecuencia se presentó diferente absorción de agua por el grano y por lo tanto diferente grado de gelatinización del almidón, lo que resultó en agregar diferentes cantidades de agua para elaborar las masas, además la consistencia resultante de las masas se determinó de manera subjetiva por comparación con masas comerciales, por lo cual se recomienda para investigaciones posteriores medirla empleando un texturómetro universal. Sin embargo, la tendencia obtenida fué mayor humedad en las masas a mayores tiempos de cocción y de reposo.

6.2.8 Análisis del color en la masa

La coloración obtenida en las masas fué también variable dependiendo del tratamiento efectuado. Como ya se mencionó con anterioridad este color depende principalmente de la materia prima empleada, de la cantidad de cal usada en el tratamiento alcalino y del tiempo de reposo del nixtamal. Se obtuvieron diferentes tonalidades de color en el nixtamal y como consecuencia en las masas finales, presentándose desde el crema claro, beige oscuro, amarillo claro hasta el amarillo oscuro. La coloración más intensa se presentó a mayores concentraciones de cal y mayores tiempos de reposo, obteniendo por lo tanto las masas más amarillas (Tabla 21) y por consiguiente las tortillas más amarillas a 14 hrs de reposo y 3.0% de cal durante la nixtamalización (L.W.Rooney et al 1995).

6.2.9 Análisis de la Maquinabilidad en la masa

Siendo la masa una mezcla formada por varios componentes tales como: material celulósico, cuerpos globulares de proteínas, gránulos de almidón, fracciones de matriz proteica, agua y otros, se encuentra por lo tanto que las propiedades físicas de la masa dependerán de todos los componentes que la forman, pero básicamente de la gelatinización del almidón que es el compuesto que se presenta en mayor proporción, y de las proteínas presentes en el endospermo, las cuales en combinación con el agua caliente formarán lo que algunos investigadores le llaman "gluten de maíz" (L.W.Rooney et al 1995). Considerando esto, si revisamos los datos presentados en la Tabla 21 "Reporte de maquinabilidad en las masas de las variedades seleccionadas", encontramos los resultados lógicos, cuyo análisis sería el siguiente:

Lo primero que observamos es que a cero reposo para cualquier variedad y tratamiento, todas las masas presentan evaluación no pegajosa, o poco pegajosa, con baja cohesividad, baja elasticidad y consistencia quebradiza, considerándose masas difíciles de manejar, esto se debió a una menor

TABLA 18 INCREMENTO EN PESO (%) DE HARINA DE MAÍZ NIXTAMALIZADO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE COCCIÓN Y TIEMPO DE REPOSO.

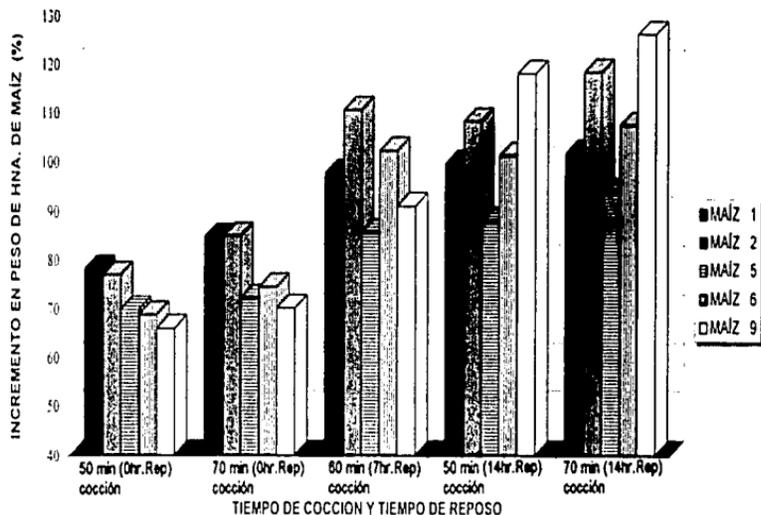
CONCENTRACIÓN DE CAL 1.5%

TRATAMIENTO	50min (0 Rep.) (%)	70min (0 Rep.) (%)	60min (7hr Rep.) (%)	50min (14hr Rep.) (%)	70min (14hr Rep.) (%)
MAÍZ 1	81.55	81.44	97.72	94.98	100.36
MAÍZ 2	78.32	83.44	110.61	109.45	116.31
MAÍZ 5	69.82	71.76	85.77	84.27	88.63
MAÍZ 6	70.71	75.44	102.27	99.35	103.99
MAÍZ 9	68.46	71.76	91.02	106.66	114.59

CONCENTRACIÓN DE CAL 3.0%

TRATAMIENTO	50min (0 Rep.) (%)	70min (0 Rep.) (%)	60min (7hr Rep.) (%)	50min (14hr Rep.) (%)	70min (14hr Rep.) (%)
MAÍZ 1	78.06	84.73	97.72	99.55	101.79
MAÍZ 2	76.81	85	110.61	108.24	118.5
MAÍZ 5	69.67	72.12	85.77	88.07	93.87
MAÍZ 6	68.7	74.46	102.27	101.31	107.44
MAÍZ 9	65.89	70.09	91.02	118.12	126.26

FIG. 20 INCREMENTO EN PESO DE HNA. DE MAÍZ NIXTAMALIZADO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE COCCIÓN Y TIEMPO DE REPOSO 3.0% CAL



**TABLA 19. CANTIDAD DE AGUA ADICIONADA (ml) A LA MASA DE MAÍZ NIXTAMALIZADO
 EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE COCCIÓN Y TIEMPO DE REPOSO**

CONCENTRACIÓN DE CAL 1.5%

TRATAMIENTO	50min (0Rep.)	70min (0Rep.)	60min (7hr Rep)	50min (14hr Rep)	70min (14hr Rep)
MAÍZ 1	50	50	30	24.5	22
MAÍZ 2	40	30	30	28	30
MAÍZ 5	40	38	32	30	28
MAÍZ 6	42	40	38	33.5	30
MAÍZ 9	49	47	42	38	36

CONCENTRACIÓN DE CAL 3.0%

TRATAMIENTO	50min (0Rep.)	70min (0Rep.)	60min (7hr Rep)	50min (14hr Rep)	70min (14hr Rep)
MAÍZ 1	40	40	30	20	16
MAÍZ 2	35	25	30	25	20
MAÍZ 5	36	30	32	26	24
MAÍZ 6	38	38	38	26	23
MAÍZ 9	46	47	42	32	28

FIG. 21. CANTIDAD DE AGUA ADICIONADA A LA MASA DE MAÍZ NIXTAMALIZADO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE COCCIÓN Y TIEMPO DE REPOSO. 3.0% CAL

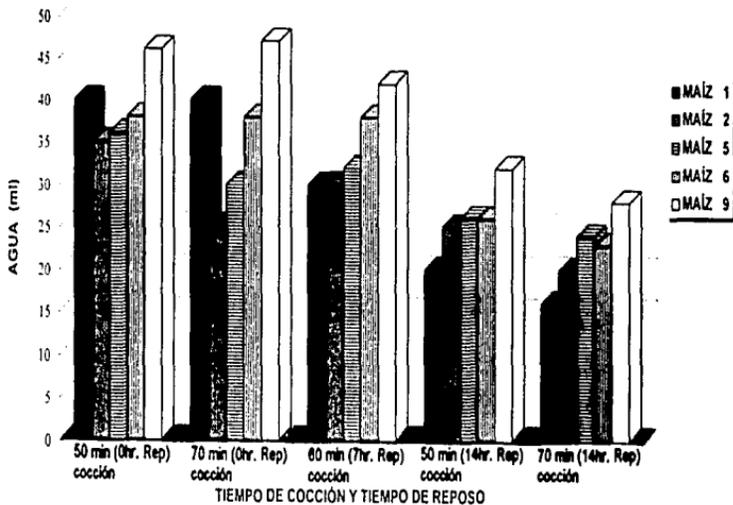


TABLA 20 HUMEDAD (%) DE LA MASA DE MAÍZ NIXTAMALIZADO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE COCCIÓN Y TIEMPO DE REPOSO

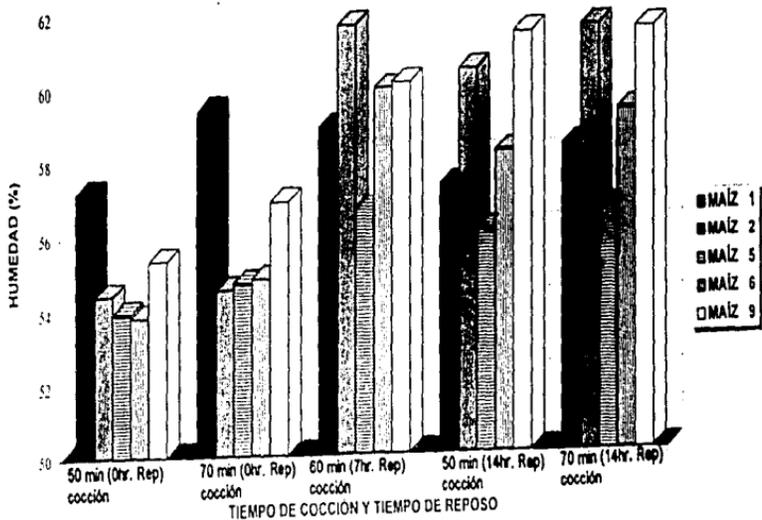
CONCENTRACIÓN DE CAL 1.5%

TRATAMIENTO	50min (0Rep.) (%)	70min (0Rep.) (%)	60min (7hr Rep) (%)	50min (14hr Rep) (%)	70min (14hr Rep) (%)
MAÍZ 1	59.82	60.34	58.9	57.8	57.86
MAÍZ 2	55.35	55.07	61.63	60.44	62.65
MAÍZ 5	54.87	55.48	56.73	56.25	57.03
MAÍZ 6	54.72	55.86	59.91	58.93	59.97
MAÍZ 9	56.69	57.63	60.06	61.59	61.78

CONCENTRACIÓN DE CAL 3.0%

TRATAMIENTO	50min (0Rep.) (%)	70min (0Rep.) (%)	60min (7hr Rep) (%)	50min (14hr Rep) (%)	70min (14hr Rep) (%)
MAÍZ 1	57.21	59.39	58.9	57.26	58.32
MAÍZ 2	54.41	54.53	61.63	60.41	61.5
MAÍZ 5	53.93	54.7	56.63	56.03	56.54
MAÍZ 6	53.83	54.81	59.91	58.16	59.19
MAÍZ 9	55.32	56.89	60.06	61.35	61.41

FIG. 22 HUMEDAD DE LA MASA DE MAÍZ NIXTAMALIZADO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE COCCIÓN Y TIEMPO DE REPOSO. 3.0% CAL.



gelatinización del almidón y a la baja hidratación de las proteínas como consecuencia de la falta de reposo en el proceso. De esto podemos concluir que la operación de reposo resulta determinante en la nixtamalización independientemente de la variedad y del tratamiento que se manejen, ya que el reposo favorece la hidratación de gránulos de almidón y proteínas, lo cual permite el desarrollo de las propiedades funcionales que proporcionan una masa cohesiva y elástica adecuada para la elaboración de tortillas (Gómez et al 1991).

En seguida vemos en la Tabla 21 que conforme aumenta el tiempo de reposo las masas se vuelven pegajosas pero esto mejora las propiedades de cohesividad y elasticidad disminuyendo o eliminándose la característica quebradiza obteniendo masas más manejables. Esto confirma lo anteriormente expuesto que la mayor hidratación de gránulos de almidón y proteínas mejoran la calidad reológica de la masa. En la misma Tabla 21 se observa que al aumentar la concentración de cal y a menor tiempo de cocción, se obtienen las mismas propiedades físicas de la masa que las que se tienen a menores porcentajes de cal y mayor tiempo de cocción. Esto es debido como ya se indicó a que el incremento en la cal disuelve compuestos celulósicos y hemicelulósicos del grano de maíz favoreciendo la hidratación del grano en menor tiempo de cocción (Gómez et al 1989). En la misma Tabla 21, se encuentra que a las mismas condiciones de proceso se obtuvieron masas de mejor maquinabilidad con granos de endospermo suave, enseguida semiduro y por último duro, encontrando una relación directa entre la dureza del endospermo y el tiempo de procesamiento (S O Serna Saldivar et al 1993).

6.2.10 Análisis de resultados de granulometría en la masa.

El resultado de la molienda del nixtamal es el desarrollo de una textura plástica, cohesiva y uniforme, una suave mezcla de piezas grandes de endosperma, gránulos de almidón libres y partículas parcialmente gelatinizadas de endosperma ligados por medio de una dispersión coloidal (pegamento). Los sólidos insolubles de la masa están formados por partículas grandes, medianas y pequeñas, las partículas grandes (con diámetro mayor a 850µm, retenidas en un tamiz US No 20) son pedazos de pericarpio, endosperma periférico, el extremo del casquillo y germen; las partículas medianas y pequeñas (con diámetro entre 425µm y 150µm, retenidas en un tamiz US No 40 y 100) son endosperma corneo y germen; y las partículas más pequeñas (con diámetro de 63µm retenidas en un tamiz US No. 230) son casi exclusivamente almidón. (L.W Rooney et al, 1995).

La distribución de las partículas según su tamaño es el criterio más importante para las aplicaciones de los productos obtenidos de la nixtamalización del maíz, así, en harinas gruesas adecuadas para hojuelas de tortillas fritas, el 50% de las partículas son retenidas en un tamiz US No. 40, mientras que por el contrario, sólo del 1 al 2% de las partículas de una

TABLA 21		RESULTADOS DE MAQUINABILIDAD EN LAS MASAS DE MAIZ DE LAS VARIETADES SELECCIONADAS				
MAIZ CLAVE 1 (Endospermo suave)						
Huejutla, Hgo.	HUMEDAD	COLOR	PEGAJOSIDAD	AMPOLLAS	PUNTOS QUEMADOS	
TRATAMIENTO	DE MASA	DE MASA	1< 3	1< 3	O MANCHAS	
reposo-cal-cocción	%		escala 1 a 3	escala 1 a 3	escala 1 a 3	
0hr -1.5% -50 min	59.82	crema	1	2	1	
0hr -1.5% -70 min	60.34	crema	1	2	1	
0hr -3.0% -50 min	57.21	crema	2	1	1	
0hr -3.0% -70 min	59.39	crema	2	1	1	
7hr -2.25% -60 min	58.9	crema	3	2	1	
14hr -1.5% -50 min	57.8	beige oscuro	3	2	1	
14hr -1.5% -70 min	57.86	beige oscuro	3	2	1	
14hr -3.0% -50 min	57.26	amarillo fuerte	3	2	1	
14hr -3.0% -70 min	58.32	amarillo fuerte	3	3	3	

MAIZ CLAVE 2 (Endospermo suave)					
Huatabampo, Son	HUMEDAD	COLOR	PEGAJOSIDAD	AMPOLLAS	PUNTOS QUEMADOS
TRATAMIENTO	DE MASA	DE MASA	1< 3	1< 3	O MANCHAS
reposo-cal-cocción	%		escala 1 a 3	escala 1 a 3	escala 1 a 3
0hr -1.5% -50 min	55.35	crema	3	2	2
0hr -1.5% -70 min	55.07	crema	3	2	1
0hr -3.0% -50 min	54.41	crema	2	2	1
0hr -3.0% -70 min	54.53	crema	2	2	1
7hr -2.25% -60 min	61.63	amarillo	2	3	2
14hr -1.5% -50 min	60.44	crema oscuro	2	2	1
14hr -1.5% -70 min	62.65	crema oscuro	3	2	1
14hr -3.0% -50 min	60.41	amarillo fuerte	3	3	1
14hr -3.0% -70 min	64.5	amarillo fuerte	3	3	1

MAIZ CLAVE 5 (Endospermo suave)					
San Luis Potosí	HUMEDAD	COLOR	PEGAJOSIDAD	AMPOLLAS	PUNTOS QUEMADOS
TRATAMIENTO	DE MASA	DE MASA	1< 3	1< 3	O MANCHAS
reposo-cal-cocción	%		escala 1 a 3	escala 1 a 3	escala 1 a 3
0hr -1.5% -50 min	54.87	blanco	1	1	1
0hr -1.5% -70 min	55.48	blanco	1	1	1
0hr -3.0% -50 min	53.93	blanco	1	2	1
0hr -3.0% -70 min	54.7	blanco	1	3	1
7hr -2.25% -60 min	56.73	amarillo	3	2	1
14hr -1.5% -50 min	56.25	crema claro	2	2	1
14hr -1.5% -70 min	57.03	crema claro	2	2	1
14hr -3.0% -50 min	56.03	amarillo fuerte	3	3	1
14hr -3.0% -70 min	56.54	amarillo fuerte	3	3	1

Continuación :

TABLA 21. RESULTADOS DE MAQUINABILIDAD EN LAS MASAS DE MAÍZ DE LAS VARIETADES SELECCIONADAS						
MAÍZ CLAVE 6 (Endospermo duro)						
Ocampo, Gto.	HUMEDAD	COLOR	PEGAJOSIDAD	AMPOLLAS	PUNTOS QUEMADOS	
TRATAMIENTO	DE MASA	DE MASA	1 < 3	1 < 3	O MANCHAS	
reposo-cal-cocción	%		escala 1 a 3	escala 1 a 3	escala 1 a 3	
0hr.-1 5% -50 min.	54 72	crema claro	1	1	1	
0hr.-1 5% -70 min	55 86	crema claro	1	1	1	
0hr.-3 0% -50 min.	53 83	crema claro	1	1	1	
0hr.-3 0% -70 min	54 81	crema claro	1	1	1	
7hr.-2 25% -60 min	59 91	amarillo claro	2	2	1	
14hr.-1 5% -50 min	58 93	amarillo claro	2	2	1	
14hr.-1 5% -70 min	59 97	amarillo claro	2	2	1	
14hr.-3 0% -50 min.	58 16	amarillo claro	2	3	1	
14hr.-3 0% -70 min	59 19	amarillo claro	3	3	1	

MAÍZ CLAVE 9 (Endospermo semiduro)						
Los Mochis, Sin.	HUMEDAD	COLOR	PEGAJOSIDAD	AMPOLLAS	PUNTOS QUEMADOS	
TRATAMIENTO	DE MASA	DE MASA	1 < 3	1 < 3	O MANCHAS	
reposo-cal-cocción	%		escala 1 a 3	escala 1 a 3	escala 1 a 3	
0hr.-1 5% -50 min.	56 69	blanco	1	1	1	
0hr.-1 5% -70 min	57 63	blanco	1	1	1	
0hr.-3 0% -50 min	55 32	blanco	1	1	1	
0hr.-3 0% -70 min	56 89	blanco	1	1	1	
7hr.-2 25% -60 min	60 06	crema	3	2	1	
14hr.-1 5% -50 min	61 59	amarillo claro	2	2	1	
14hr.-1 5% -70 min	61 78	amarillo claro	2	2	1	
14hr.-3 0% -50 min	61 35	amarillo fuerte	3	3	1	
14hr.-3 0% -70 min	61 41	amarillo fuerte	3	3	1	

harina de maíz para la masa usada para elaborar tortillas de mesa que se inflen durante la cocción deberán pasar el tamiz US No. 40 (L.W. Rooney et al, 1995).

La distribución óptima del tamaño de partícula es un factor importante en la elaboración de productos nixtamalizados de buena calidad. Las partículas más pequeñas son responsables de que al preparar la masa haya una mayor absorción de agua, cohesividad, viscosidad y plasticidad en la tortilla; se retenga el vapor con el fin de que pueda hincharse durante el cocimiento, proporcione textura lisa, además de desarrollar flexibilidad y cohesividad dentro de las tortillas (Watson, SA. Ramstad, PE, 1987).

La harina de maíz para la elaboración de tortillas deberá tener un aspecto granuloso con una finura tal que el 75% como mínimo pase a través de un tamiz de diámetro 250µm (malla US No. 60), como lo especifica la Norma Oficial Mexicana NOM F-46-S-1980. En el presente trabajo se observa en la Tabla 22 que las masas obtenidas para todas las variedades manejadas y en los diferentes tratamientos de nixtamalización cumplen con esta especificación ya que el porcentaje de sólidos retenidos en la malla US No 60 (diámetro 250 µm) se encuentra dentro del rango 7.52% - 20.38%.

La Tabla 22 muestra el análisis granulométrico de la masa nixtamalizada como un promedio de los 9 tratamientos manejados con la finalidad de observar el comportamiento global que cada variedad de estudio presentó. El comportamiento general de todas las variedades dentro del análisis granulométrico fue el de disminuir el porcentaje de retención de partículas mayores conforme el tratamiento alcalino era más severo lo cual era de esperarse ya que a mayores tiempos de cocción y de reposo, así como a mayor concentración de cal, los compuestos celulósicos, se degradan y solubilizan permitiendo partículas menores.

Se tiene en general para todas las variedades, que conforme el tratamiento de nixtamalización se hace más severo, es decir aumenta el tiempo de cocción y el tiempo de reposo, así como el aumento en la concentración de cal, se disminuye el porcentaje de retención de partículas para cada tamiz evaluado, lo que implica una reducción en el tamaño de partícula.

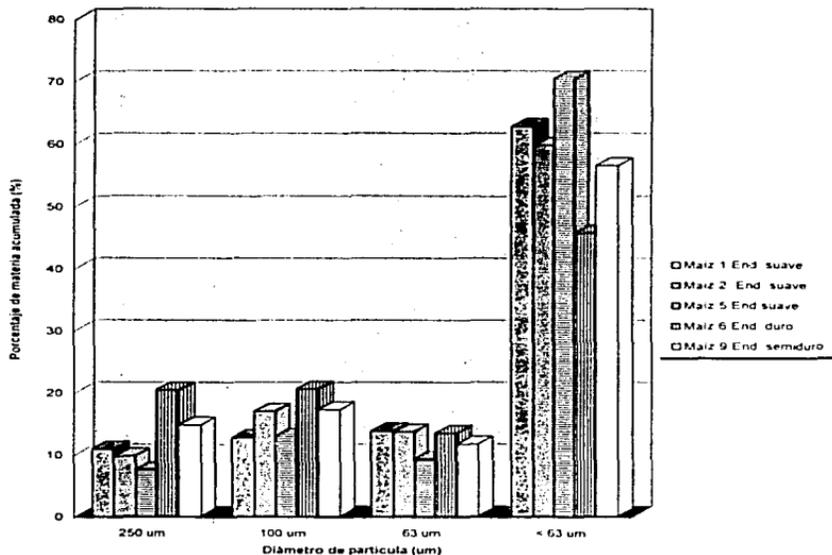
Analizando la influencia que presenta la textura del endospermo sobre el tamaño de partícula de la masa de maíz, observamos que los maíces suaves (claves 1,2 y 5) presentan menor retención de sólidos en cada tamiz, y por consiguiente mayor porcentaje de partículas menores a 63 µm (esto se vé muy marcado en el maíz clave 5 que en aquellos maíces considerados de textura de endospermo duro y semiduro cuyo porcentaje de partículas pequeñas fue menor (45.65% y 56.42% respectivamente).

Evaluando el espesor de la capa de pericarpio para cada maíz y su influencia sobre el tamaño de partícula de la masa nixtamalizada, podemos

TABLA 22 DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DE MASA DE MAÍZ NIXTAMALIZADO (%)

Diámetro de Partícula	% Maíz 1 End suave	% Maíz 2 End suave	% Maíz 5 End suave	% Maíz 6 End duro	% Maíz 9 End semiduro
250 µm	10.86	9.74	7.52	20.38	14.74
100 µm	12.71	16.92	12.86	20.54	17.2
63 µm	13.74	13.62	9.24	13.41	11.63
< 63 µm	62.69	59.71	70.36	45.65	56.42

Fig. 23 DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA EN MASA DE MAÍZ NIXTAMALIZADO



observar que menores espesores reportaron mayor porcentaje de partículas pequeñas, como se presentó con el maíz clave 5 (espesor de 1.28 mm) que reportó alto porcentaje de partículas pequeñas (70.36%) Tabla 22 y Fig. 23.

6.3 Análisis de Resultados en la Tortilla.

6.3.1. Análisis de Humedad inicial en la tortilla.

Analizando la Tabla 23 se observa que se obtuvieron tortillas con humedad inicial al día de su elaboración dentro de los valores 40.8% - 54.08%, los cuáles se consideran humedades adecuadas para tortillas suaves de mesa, ya que la literatura menciona que el contenido de humedad de las tortillas varía dentro del rango 38% - 55% (Heibert D Almeida y L.W. Rooney, 1996).

Se observa en la Tabla 23 que en general para todas las variedades de maíz que se estudiaron, la tendencia fue la de aumentar el contenido de humedad conforme aumentan el tiempo de reposo y el tiempo de cocción en la nixtamalización, obteniendo tortillas con mayor contenido de humedad, este comportamiento resulta lógico si recordamos que las masas de las cuáles proceden estas tortillas, presentaron mayor absorción de agua y por consiguiente mayor humedad con los tratamientos más severos del proceso (Tablas 18 y 20)

Las tortillas elaboradas a partir del grano de maíz de endospermo semiduro (clave 9), son las que reportan los mayores porcentajes de humedad inicial (52% - 54%) principalmente con los tratamientos que requieren 14 hrs. de reposo, presentando por consiguiente el mayor incremento de agua en la masa a tiempos elevados de reposo. Las otras variedades aunque reportan incremento de humedad en la tortilla a mayor tiempo de cocción y de reposo, no sobrepasan el 50%

Observamos también que la humedad de la tortilla guarda una estrecha relación con la propiedad de flexibilidad y rollabilidad de la misma, ya que las tortillas que reportan las más altas humedades son también aquellas que presentan la mejor evaluación de flexibilidad y rollabilidad y fueron en general para todas las variedades los tratamientos que tuvieron 14 hrs. de reposo (Tablas 23 y 24)

6.3.2 Análisis de Formación de Ampollas

Analizando la formación de ampollas en la Tabla 21, se observa que la mayor formación se presentó a mayores tiempos de reposo (14 hrs.) coincidiendo con masas que presentan las mejores propiedades físicas, y a tiempos de reposo cero existe menor formación de ampollas o no se presenta. Todo este comportamiento se atribuye a que la falta de reposo favorece la formación de masas quebradizas con poca o nula cohesividad y/o elasticidad, lo cual no permite el desarrollo o la formación de ampolla.

**TABLA 23. RESULTADOS DE HUMEDAD INICIAL EN TORTILLAS
 EL DIA DE SU ELABORACIÓN (%).**

TRATAMIENTO	MAIZ	MAIZ	MAIZ	MAIZ	MAIZ
reposito-cal-cocción	CLAVE 1	CLAVE 2	CLAVE 5	CLAVE 6	CLAVE 9
hr - % - min	Huejutla, Hgo.	Huatabampo, Son	San Luis Potosí	Ocampo, Gto.	Los Mochis, Sln.
	%	%	%	%	%
0 hr. -1.5% - 50 min	45.53	43.64	42.17	42.36	41.12
0 hr. -1.5% - 70 min.	47.21	44.65	44.54	44.55	46.56
0 hr. -3.0% - 50 min.	45.67	46.01	40.8	44.21	45
0 hr. -3.0% - 70 min	47.62	43.94	42.28	45.18	46.45
7 hr. -2.25%-60 min	47.76	47.03	44.95	46.33	48.66
14hr -1.5% - 50 min.	47.97	48.15	43.17	48.12	52.41
14hr.-1.5% - 70 min.	48.86	50.11	44.16	48.51	53.23
14hr.-3.0% - 50 min.	50.15	49.48	44.52	47.8	53.46
14hr.-3.0% - 70 min.	50.11	51.49	46.05	45.66	54.08

Considerando la variedad del grano de maíz, no se presenta diferencia notoria entre ellas para formar ampolla.

6.3.3 Análisis de la Formación de Puntos Quemados o Manchas.

Analizando durante el cocimiento la formación de puntos quemados o manchas en la tortilla se observa en la Tabla 21 que no se presentó una diferencia notable en la presencia de puntos o manchas, ni por variedad estudiada ni por tratamiento manejado.

Las manchas en la tortilla pueden deberse a dos factores como lo menciona la bibliografía: 1) puntos quemados provocados por altas temperaturas empleadas durante la cocción de la tortilla, situación que no se presentó en la presente experimentación pues se mantuvo controlado el tiempo y temperatura de cocción, y 2) durante la cocción de la tortilla ocurren reacciones de Maillard de oscurecimiento provocadas por aditivos que favorecen estas reacciones gracias a sus grupos amino que reaccionan reduciendo los azúcares durante la cocción y permitiendo el oscurecimiento (J.C. Yau, et al, 1994) Esto tampoco ocurrió en este trabajo pues no se agregaron aditivos a las masas. Por lo tanto ninguna variedad ni tratamiento reporta la presencia de puntos o manchas en la tortilla.

6.3.4 Análisis de Resultados de Rollabilidad y Flexibilidad de la tortilla en vida de anaquele.

6.3.4.1 Resultados de Rollabilidad.

Se observó que las características de rollabilidad y flexibilidad de la tortilla conforme pasaba el tiempo disminuían para todas las tortillas estudiadas, por lo que los resultados de rollabilidad y flexibilidad se ajustaron a cinéticas lineales y los coeficientes de correlación lineal obtenidos por mínimos cuadrados, fueron de 0.85 o superiores, con una significancia de 0.05%, lo que condujo a utilizar las pendientes de cada ecuación como una medida de la velocidad con que se perdía la propiedad de rollabilidad y flexibilidad en la tortilla de maíz, almacenada a temperatura ambiente (Tabla 24).

Conforme pasa el tiempo, las tortillas que conservaron mayor tiempo la propiedad de rollabilidad fueron las que se elaboraron con maíz de endospermo semiduro (clave 9) Fig 24 y el mejor tratamiento fue de 14 hrs. de reposo, 3.0% de cal y 50 minutos de cocción porque presentó una pendiente de 0.3, seguido del tratamiento de 14 hrs. de reposo, 3.0% de cal y 70 minutos de cocción con una pendiente de 0.35. Las pendientes bajas nos indican que por más tiempo se mantiene la propiedad evaluada en la tortilla (Fig 24 y Tabla 24). Estos resultados concuerdan con las humedades obtenidas en las tortillas donde se tiene que se presenta el mayor porcentaje

de humedad para estos tratamientos (Tabla 22), lo cual le permite mayor elasticidad a la tortilla y por consiguiente favorece su rollabilidad.

Para el maíz duro (clave 6), de los tratamientos que presentaron en el día cero (día de su elaboración) la mejor tortilla, ninguno fué elegido porque presentaron pendientes muy altas; y de los tratamientos mejores, el que presenta la menor pendiente (0.5) fué de 14 hrs. de reposo, 1.5% de cal y 70 minutos de cocción (Tabla 24). En este maíz también se observa que para este tratamiento se obtuvo el porcentaje mayor de humedad siendo de 48.51% (Tabla 22).

Para el caso de maíz de endospermo suave (clave 5) el tratamiento que reportó los mejores resultados en el día cero fué de 14 hrs. de reposo, 3.0% de cal y 70 minutos de cocción, obteniendo las mejores tortillas, cuya humedad inicial fue la mayor a los demás tratamientos siendo de 46.05%. Sin embargo observamos que esta característica no se conserva, ya que presenta una pendiente de (0.3), la cual nos indica que se pierde la propiedad de rollabilidad más rápidamente con el tiempo. Esto nos refleja la obtención de masas muy cocidas para maíces con endospermo de textura suave, pues como menciona Helbert D. Almeida y L. W. Rooney (1996) en investigaciones recientes, la elaboración de tortillas provenientes de masas sobrecocidas se vuelven rígidas rápidamente al enfriarse, lo cual concuerda con los resultados obtenidos para esta experimentación (Fig. 25 y Tabla 24).

Algo semejante ocurrió con el maíz de endospermo suave (clave 2), en donde se obtuvieron tortillas de calidad aceptable en 2 tratamientos manejados, ambos con 14 hrs. de reposo (1.5% de cal - 70 min de cocción y 3.0% de cal - 50 min de cocción) pero en los cuales no se conserva la rollabilidad con el tiempo, obteniendo pendientes de $m = 0.55$ y $m = 0.77$, lo cual nos está indicando que los tratamientos planteados de nixtamalización resultaron excesivos para el caso de los maíces de endospermo suave (Tabla 24).

El maíz de endospermo suave (clave 1) reporta una evaluación muy baja en rollabilidad en general para todos los tratamientos, aunque el tratamiento de 14 hrs. de reposo - 3.0% de cal - 70 min. de cocción presenta la evaluación menos baja con una pendiente $m = 0.35$, ésta propiedad no se conserva con el tiempo indicándonos un sobreprocesamiento en el grano, pues las tortillas obtenidas presentaron muy baja rollabilidad (Tabla 24).

6.3.4.2 Resultados de Flexibilidad.

La propiedad de flexibilidad está directamente relacionada con la capacidad de rollabilidad de la tortilla, ya que tortillas flexibles podrán fácilmente realizar la prueba del taco (J.C. Yau, et al 1994).

De los resultados obtenidos en flexibilidad, podemos ver que las mejores evaluaciones las presentó el maíz de endospermo semiduro (clave 9) principalmente en 2 tratamientos : 14 hrs. de reposo, 1.5% de cal, 70 min. de cocción y 14 hrs de reposo, 3.0% de cal, 50 min de cocción con pendientes de 0.3 y 0.15 respectivamente (Tabla 24). Sin embargo otro tratamiento que reportó buena flexibilidad en las tortillas de este maíz fue a 14 hrs de reposo, 3.0% de cal y 70 min de cocción con una pendiente de 0.2 y un factor de correlación $R=0.8$ (Fig 26). Con respecto a los otros maíces, el de endospermo semiduro (clave 9) reporta conservar por mas tiempo la propiedad de flexibilidad, lo cual concuerda con los resultados de rollabilidad presentados para esta muestra (Fig 24 y Tabla 24), y con los mayores porcentajes de humedad inicial en la tortilla (Tabla 22).

El maíz de endospermo duro (clave 6), aunque reporta buenos datos de flexibilidad al inicio de su elaboración, se observa que pierde la propiedad en general con mayor rapidez que el maíz de endospermo semiduro (clave 9) (Fig 26 y Fig 27, Tabla 24), sin embargo existen dos tratamientos en los cuales se mantiene por mas tiempo la flexibilidad de las tortillas, siendo éstos: 7 hrs de reposo, 2.25% de cal, 60 min de cocción y 14 hrs de reposo, 1.5% de cal, 50 min de cocción cuya pendiente y factor de correlación es para ambos casos de $m=0.35$ y $R=0.89$ (Fig 27 y Tabla 24).

Para el caso de este maíz, se observa que tratamientos más severos de nixtamalización en donde se aumenten tiempos de cocción y % de cal, se pierde más rápidamente la propiedad, lo cual indica que los tratamientos anteriores resultan suficientes y adecuados para mantener la flexibilidad de las tortillas.

Para el caso del maíz de endospermo suave (clave 5) obtenemos los mejores resultados de flexibilidad en el día de su elaboración cuando se han manejado tiempos de reposo altos (14 hrs), sin embargo vemos que esta propiedad se conserva mejor durante el almacenamiento empleando 1.5% de cal y 70 min de cocción con una pendiente $m=0.2$ y $R=0.8$ (Fig. 28 y Tabla 24). En este maíz de endospermo suave observamos que si aumentamos la concentración de cal y/o el tiempo de cocción, aunque nos reporta buena flexibilidad al inicio vemos que la propiedad se pierde fácilmente al 2o día de su elaboración, lo cual nos indica una masa sobrecocida por el efecto que produce el incremento en la cal sobre la absorción de agua y porque como consecuencia obtenemos una tortilla con características más rígidas como lo indica su evaluación de flexibilidad para los tratamientos de nixtamalización más severos (Tabla 24). Esto concuerda con investigaciones reportadas en la bibliografía (L.W.Rooney et al 1996).

El maíz de endospermo suave (clave 2) también nos reporta como su mejor tratamiento el de 14 hrs de reposo, 1.5% de cal, 70 min de cocción con una pendiente $m=0.35$ y $R=0.89$, y de igual manera vemos que a mayor

concentración de cal se pierde la flexibilidad con mayor rapidéz, indicándonos un sobreprocesamiento del grano, por la pérdida de flexibilidad reportada para los días subsecuentes a su elaboración (Fig. 29 y Tabla 24). Estos resultados concuerdan con los reportados de rollabilidad, para este tratamiento.

El maíz de endospermo suave (clave1) presenta desde el inicio de su elaboración de la tortilla una flexibilidad media, es decir ningún tratamiento nos reporta la mayor flexibilidad en la escala, siendo el tratamiento de 14 hrs de reposo, 3.0% de cal y 70 min de cocción el que reporta flexibilidad media hasta el 4o. día de su elaboración, y es éste tratamiento el que presenta la mejor calificación en rollabilidad aunque con una evaluación baja, sin conservarse adecuadamente en vida de anaqué. Esto nos confirma que los tratamientos planteados resultaron excesivos para el caso de los maíces de endospermo suave, ya que nos proporcionaron tortillas que pierden rápidamente la flexibilidad y rollabilidad con el tiempo (Fig. 30 y Tabla 24).

6.4 Análisis de la Matriz de Correlaciones de las características del proceso de Nixtamalización y elaboración de la tortilla.

Revisando la tabla 25, observamos que el rendimiento del nixtamal presenta muy alta correlación con el % de sólidos obtenido durante el proceso ($r=0.9798$) y alta correlación con la humedad del nixtamal ($r=0.8435$), esto resulta coherente ya que el rendimiento se encuentra determinado en gran medida por la absorción de agua del grano y por las pérdidas de sólidos durante el proceso. También presentan buena correlación el rendimiento del nixtamal y la pegajosidad de la masa ($r=0.8174$) probablemente de manera indirecta a través de la humedad del nixtamal lo cuál se comprueba al observar la alta correlación que tienen la pegajosidad de la masa con la humedad del nixtamal ($r=0.9154$), las cuáles están directamente relacionadas.

La humedad del nixtamal presenta buena correlación con la humedad de la masa ($r=0.7920$), lo cuál nos confirma que ésta última depende primordialmente de la primera. La humedad calculada en la masa y la humedad actual (humedad real), presentan ambas buena correlación con la presencia de puntos quemados o manchas en la tortilla ($r=0.7417$ y $r=0.7971$), lo cuál nos indica que esta propiedad se ve influenciada por la humedad de la masa y como ya se había mencionado anteriormente, su aparición la favorece las altas temperaturas de cocción de la tortilla.

No se observa ninguna correlación importante en la formación de ampollas con alguna de las características del nixtamal, aunque es conocido que su presencia depende en gran medida del vapor generado durante la cocción en el interior de las capas de masa, y este vapor lo determina la humedad de la masa.

De acuerdo a los resultados obtenidos de las correlaciones en la Tabla 25, se observa que en gran medida las propiedades de la tortilla así como su rendimiento, dependerán principalmente de la absorción de agua por el grano durante el proceso, es decir de la humedad que adquiera el nixtamal, así como de las pérdidas de materia seca, factores que están determinados por el tiempo de cocción y el tiempo de reposo del proceso de nixtamalización.

**TABLA 24 PERDIDA DE ROLLABILIDAD Y FLEXIBILIDAD DE LA TORTILLA DE MAIZ DURANTE EL ALMACENAMIENTO
 A TEMPERATURA AMBIENTE (PENDIENTE Y FACTOR DE CORRELACION)**

ROLLABILIDAD	Huejutla, Hgo.		Hualabampo, Son.		San Luis Potosí		Ocampo, Gto.		Los Mochis, Sin.	
	Maiz clave 1		Maiz clave 2		Maiz clave 5		Maiz clave 6		Maiz clave 9	
	m	R	m	R	m	R	m	R	m	R
0hrs -1.5%- 50 mn	0.2	0.8	0.35	0.89	0.35	0.89	0.3	0.9	0.45	0.6
0hrs -1.5%- 70 mn	-	-	0.35	0.89	0.35	0.89	0.35	0.89	0.55	0.89
0hrs -3.0%- 50 mn	-	-	0.55	0.89	0.35	0.89	0.5	1	0.5	1
0hrs -3.0%- 70 mn	-	-	0.5	1	0.3	0.9	0.5	0.83	0.5	1
7hrs -2.25%- 60 mn	0.35	0.89	0.5	0.83	0.3	0.9	0.65	0.95	0.55	0.89
14hrs -1.5%- 50 mn	0.15	0.6	0.65	0.95	0.45	0.85	0.65	0.95	0.7	0.98
14hrs -1.5%- 70 mn	0.2	0.8	0.55	0.89	0.55	0.89	0.5	1	0.45	0.85
14hrs -3.0%- 50 mn	0.2	0.8	0.7	0.98	0.5	1	0.35	0.89	0.3	0.9
14hrs -3.0%- 70 mn	0.35	0.89	0.65	0.95	0.3	0.9	0.5	1	0.35	0.89
FLEXIBILIDAD	Maiz clave 1		Maiz clave 2		Maiz clave 5		Maiz clave 6		Maiz clave 9	
	m	R	m	R	m	R	m	R	m	R
	Maiz clave 1		Maiz clave 2		Maiz clave 5		Maiz clave 6		Maiz clave 9	
0hrs -1.5%- 50 mn	0.2	0.8	0.2	0.8	0.2	0.8	0.35	0.89	0.3	0.6
0hrs -1.5%- 70 mn	-	-	0.2	0.8	0.2	0.8	0.2	0.8	0.35	0.89
0hrs -3.0%- 50 mn	-	-	0.35	0.89	0.2	0.8	0.3	0.9	0.35	0.89
0hrs -3.0%- 70 mn	-	-	0.35	0.89	0.15	0.6	0.35	0.89	0.35	0.89
7hrs -2.25%- 60 mn	0.2	0.8	0.35	0.89	0.15	0.6	0.35	0.89	0.35	0.89
14hrs -1.5%- 50 mn	0.15	0.6	0.35	0.89	0.3	0.9	0.35	0.89	0.4	0.8
14hrs -1.5%- 70 mn	0.2	0.8	0.35	0.89	0.2	0.8	0.3	0.9	0.3	0.6
14hrs -3.0%- 50 mn	0.2	0.8	0.35	0.89	0.3	0.9	0.2	0.8	0.15	0.6
14hrs -3.0%- 70 mn	0.15	0.6	0.3	0.6	0.15	0.6	0.3	0.9	0.2	0.8
Nota										
m = Pendiente										
R = Factor de Correlación										

Tabla 25 MATRIZ DE CORRELACIONES DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE NIXTAMALIZACIÓN Y ELABORACIÓN DE LA TORTILLA

	% Sólidos	% Rend. calc. en Nixtamal	% Humedad Nixtamal	% Humedad calc. en masa	% Humedad actual en masa	Pegajosidad	Formación de Ampollas	P. Quemados o manchas
% Sólidos	1.00	0.9798	0.7518	0.7102	0.639	0.687	0.0301	0.265
% Rend. calc. en Nixtamal		1.00	0.8435	0.7232	0.6695	0.8174	0.1483	0.2773
% Humedad Nixtamal			1.00	0.792	0.7789	0.9154	0.1513	0.304
% Humedad calc. en masa				1.00	0.9913	0.6261	0.4484	0.7417
% Humedad actual masa					1.00	0.6412	0.4405	0.7971
Pegajosidad						1.00	0.4057	0.3003
Formación de Ampollas							1.00	0.6106
P. Quemados o manchas								1.00

Nota: calc= calculado (a)

Fig. 24 Comportamiento de la Rollabilidad de la Tortilla de Maíz durante el almacenamiento a temperatura ambiente. Maíz clave 9
Los Mochis, Sln.

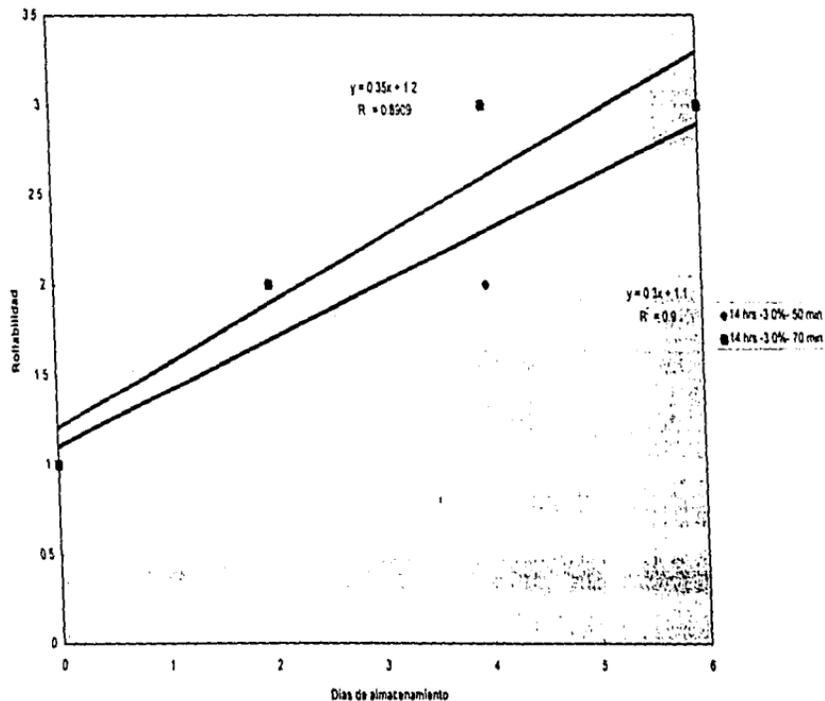


Fig. 25 Comportamiento de la Rollabilidad de la Tortilla de maíz durante el almacenamiento a temperatura ambiente. Maíz clave 5

San Luis Potosí

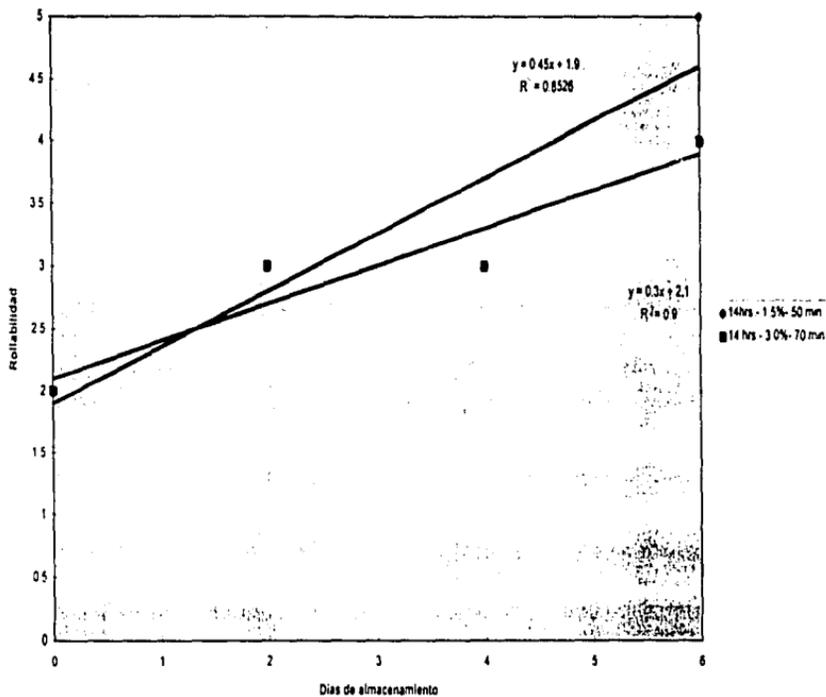


Fig. 26 Comportamiento de la Flexibilidad de la Tortilla de Maiz durante el almacenamiento a temperatura ambiente. Maiz clave 9
Los Mochis, Sln.

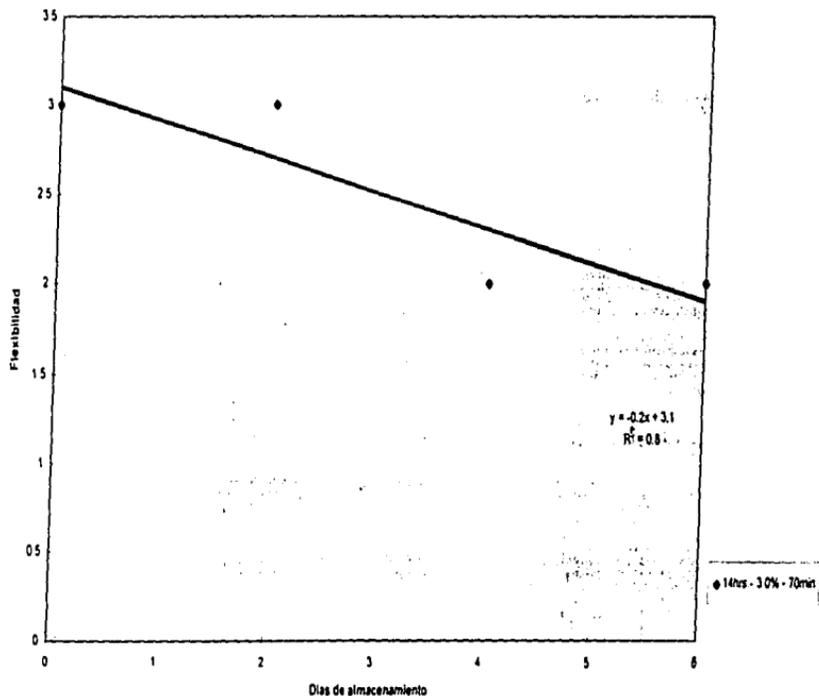


Fig. 27 Comportamiento de la Flexibilidad de la Tortilla de maíz durante el almacenamiento a temperatura ambiente. Maíz clave 6 Ocampo, Gto.

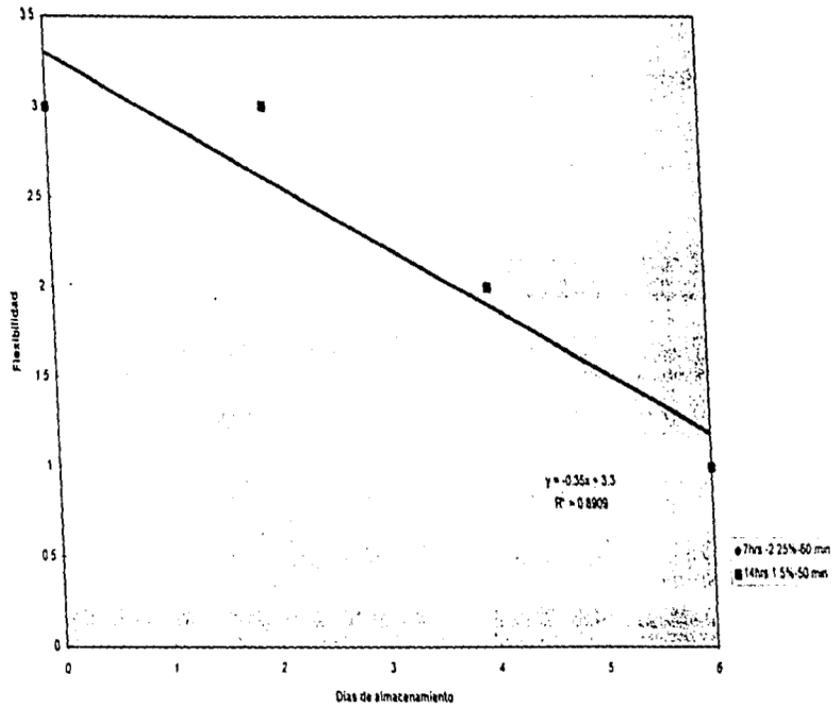


Fig. 28 Comportamiento de la Flexibilidad de la Tortilla de maíz durante el almacenamiento a temperatura ambiente.

Maíz clave 5
San Luis Potosí

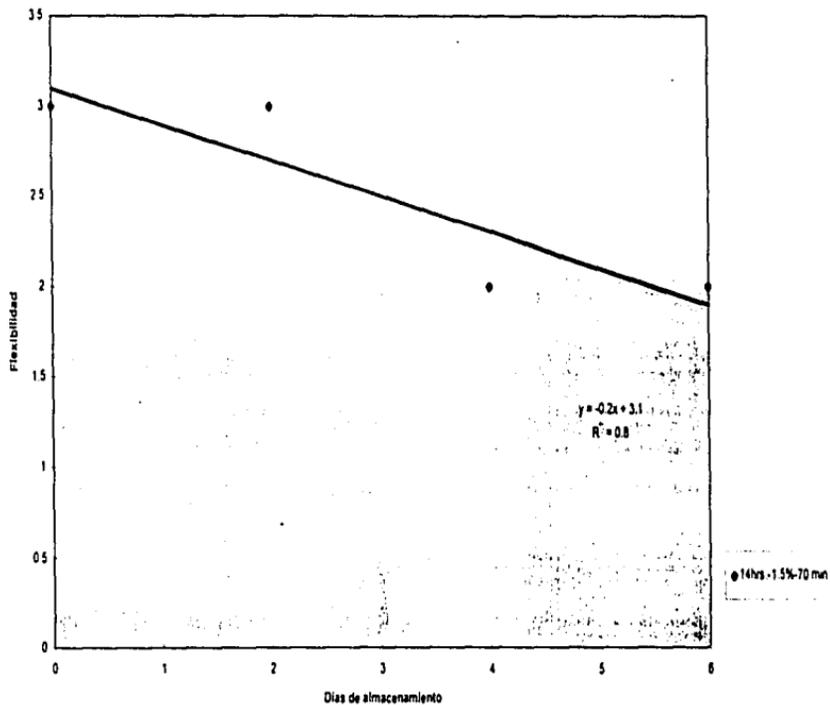


Fig. 29 Comportamiento de la Flexibilidad de la Tortilla de maíz durante el almacenamiento a temperatura ambiente.

Maíz clave 2

Huatabampo, Son

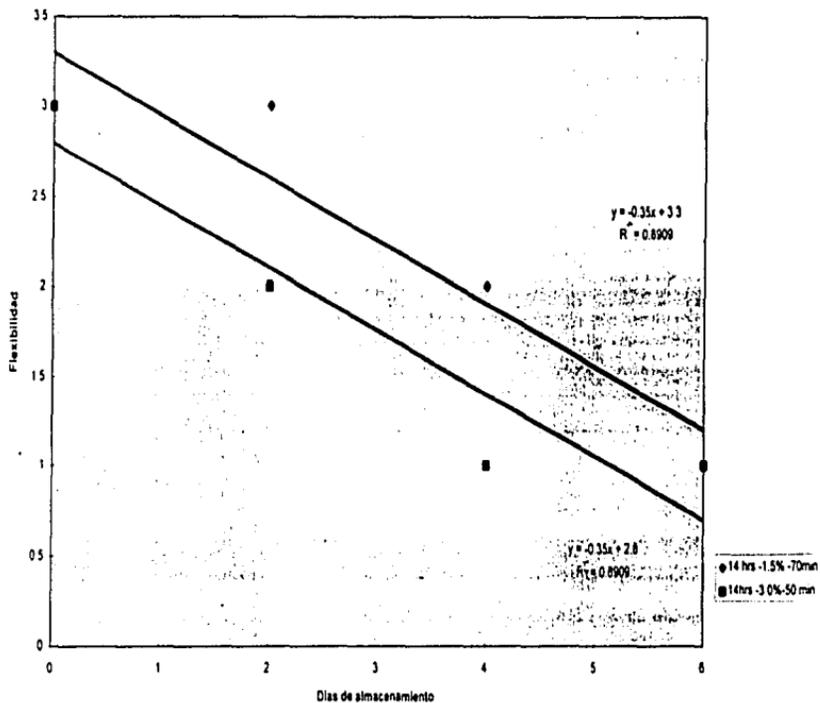
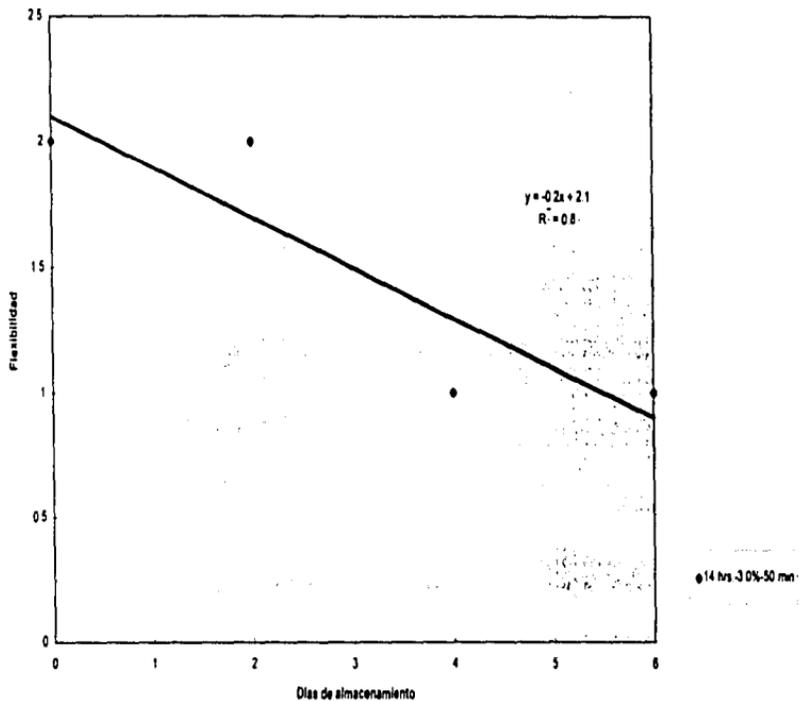


Fig. 30 Comportamiento de la Flexibilidad de la Tortilla de maíz durante el almacenamiento a temperatura ambiente. Maíz clave 1 Huejutla, Hgo.



7.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES.-

1.- Todos los lotes de maíz manejados en el presente trabajo, se encontraron dentro de los rangos establecidos para grano de maíz que marca la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-034-1995-SCFI.

2.- Tres lotes de maíz (claves 1,5 y 7) presentaron menor porcentaje de grano limpio y sano con relación al total de muestras, siendo de 82.1%, 78.36% y 75.72% respectivamente.

3.- En todas las muestras de maíz estudiadas se encontró mezcla de variedades, siendo el grano de maíz clave 6 el que presentó el mayor porcentaje (23.43%).

4.- Todos los lotes de maíz presentaron grano quebrado, siendo las muestras clave 7,3 y 9 las que tuvieron los porcentajes más elevados de 14.8%, 11.23% y 8.83% respectivamente.

5.- De las 10 variedades analizadas se encontraron: 5 variedades de endospermo suave, 3 variedades de endospermo duro y 2 variedades de endospermo semiduro.

6.- De acuerdo a las dimensiones del grano, las variedades estudiadas se clasificaron en tres grupos: grano grande, grano mediano y grano chico.

7.- 6 de las variedades de maíz estudiadas presentaron el Peso Hectolitro y la Dureza recomendados por la bibliografía como adecuados para maíz que se emplea para el proceso de Nixtamalización.

8.- Se determinó que existe una relación entre el peso por hectolitro y el peso de 1000 granos.

9.- Se encontró también una relación directa entre la dureza y vitreosidad del grano de maíz.

10.- De las variables estudiadas en el proceso de nixtamalización, se determinó que la influencia sobre las propiedades físicas del grano de maíz nixtamalizado fueron en orden de importancia: Tiempo de reposo, Tiempo de cocción y Concentración de cal.

11.- Los granos de maíz de endospermo duro requieren de mayor tiempo de cocción que aquellos de endospermo suave.

12.- Entre más delgado sea el espesor de la capa de pericarpio se requerirán menores tiempos de cocción y de reposo para lograr la absorción de agua del grano de maíz durante la nixtamalización.

13.- Se tuvieron mayores pérdidas de sólidos en el agua de cocción (nejayote) cuando se emplearon durante el proceso alcalino granos de maíz de endospermo suave

14.- El espesor de la capa de pericarpio presentó una influencia determinante en la absorción de agua durante la cocción y el reposo del proceso de nixtamalización del grano de maíz.

15.- La dureza del grano de maíz y el espesor de la capa de pericarpio tuvieron una relación directa con el rendimiento del proceso de nixtamalización.

16.- Se encontró que a mayores tiempos de reposo durante el proceso, se mejoraban las propiedades de cohesividad y elasticidad en la masa nixtamalizada, disminuyendo la característica quebradiza de las tortillas.

17.- Sin importar la variedad del maíz, las mejores tortillas se obtuvieron con tiempos de reposo de 14 hrs en la nixtamalización.

18.- Las tortillas que presentaron las características más adecuadas de rollabilidad y flexibilidad fueron aquellas cuyo tiempo de reposo fué de 14 hrs. Este comportamiento lo presentaron las 5 variedades de estudio.

19.- Las tortillas elaboradas con granos de maíz de endospermo semiduro presentaron las mejores características de rollabilidad y flexibilidad que aquellas provenientes de maíces de endospermos suave o duro.

20.- Es de primordial importancia en la nixtamalización manejar granos de maíz de calidad uniforme y adecuada, ya que los parámetros del proceso, y la calidad de la tortilla dependen principalmente de las características de la materia prima empleada

RECOMENDACIONES.-

1.- Determinar un perfil de textura en masa y tortilla de maíz para cada uno de los diferentes tratamientos propuestos donde se pueda evaluar con la precisión del equipo (Texture Analyser), propiedades importantes como: gomosidad, elasticidad, masticabilidad, cohesividad, adhesividad, fracturabilidad, etc

2.- Evaluar la fluidéz de la masa nixtamalizada empleando el Texture Analyser, que nos permite conocer con precisión la consistencia del nixtamal, ya que masas con mayor firmeza presentarán alta capacidad de absorción de agua y mayor cohesividad.

3.- Determinar la compresión del grano nixtamalizado (nixtamal) en condiciones de presión y tiempo controladas (empleando una Prensa) para medir el grado de cocimiento adecuado durante la nixtamalización.

4.- Realizar un análisis de evaluación sensorial en la tortilla de maíz obtenida para cada tratamiento para predecir la calificación del producto desde el punto de vista de su apariencia, olor, gusto, textura, atributos de calidad que determinan la preferencia del consumidor, y que ningún equipo puede duplicar o sustituir al dictamen humano.

5.- Procesar maíces con características varietales semejantes que nos permitan la homogeneidad en el producto final y por consiguiente las menores pérdidas de materia en el proceso, así como el mayor rendimiento.

6.- Establecer programas de control y aseguramiento de calidad consistentes en métodos de análisis, sistemas de recolección y análisis de datos, especificaciones de calidad de ingredientes, productos intermedios y productos finales, en la industria de la tortilla, así como en los pequeños molinos de maíz, con la finalidad de proveer los ajustes necesarios para cumplir con las especificaciones y obtener productos de óptima calidad.

8.- BIBLIOGRAFIA

- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. 1983. **Approved Methods of the AACC**. 8th ed. The Association: St. Paul MN.
- ARIAS VELAZQUEZ CIRO. 1981. **Análisis de Granos**.
- A.L. ALARCON, R GUERRA, R PEDROZA DE BRENES, Z. NIETO DE MELENDEZ y C DURAN DE BAZUA. 19 . "Mezclas nixtamalizadas de maíz y sorgo. Evaluaciones en masas y tortillas. Pruebas reológicas y sensoriales". *Tecnol Aliment (Mex.)* Vol. 20, No. 1.
- A. LOUIS-ALEXANDRE, C MESTRES, and J.FAURE. 1991. "Measurement of Endosperm Vitreous of Corn. A Quantitative Method and Its Application to African Cultivars" *Cereal Chem.* 68(6) 614-617.
- BADUI DERGAL S 1993 *Química de los Alimentos* ed. Alhambra Mexicana
- C.MESTRES, A LOUIS-ALEXANDRE, F. MATENCIO, and A LAHLOU. 1991. "Dry-Milling Properties of Maize" *Cereal Chem* 68(1): 51-56
- CECILIA DORSEY-REDDING, CHARLES R HURBURGH, JR., LAWRENCE A JOHNSON, and STEVEN R FOX. 1991. "Relationships Among Maize Quality Factors" *Cereal Chem* 68(6) 602-605.
- CENTENARIO DEL ANUARIO ESTADISTICO DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS 1893-1993 Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática
- EL SECTOR ALIMENTARIO EN MEXICO 1991. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, y Comisión Nacional de Alimentación.
- EL SECTOR ALIMENTARIO EN MEXICO 1993. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, y Comisión Nacional de Alimentación.
- ENCICLOPAEDIA OF FOOD SCIENCE, FOOD TECHNOLOGY and NUTRITION. 1993. Vol 4 p 2825-2831, edited by R. Macrae, R.K. Robinson, M. J. Sadler. London San Diego: Academic Press.
- FONSECA PEREDA M. 1990. "El Maíz y su Entorno Histórico, Económico e Industrial en México". Tesis Universidad Iberoamericana.

- G.E. INGLETT. 1970. "Kernel Structure, Composition, and Quality". *Corn : Culture, Processing, Products*. 123-137.
- HELBERT D ALMEIDA y LLOYD W. ROONEY .1996. "Avances en la Manufactura y Calidad de Productos de Maiz Nixtamalizado". Seminario Asociación Americana de la Soya. Mex. D.F.
- J.C.YAU, R.D. WANISKA, and L. W. ROONEY. 1994. "Effects of Food Aditives on Storage Stability of Corn tortillas". *Cereal Foods World* Vol 39 No. 5: 396-402.
- K.V. Mardia, J.T.Kent, J.M Bibby. "Multivariate Analysis". Ed. Academic Press.
- LOPEZ M. y SEGURAJAUREGUI J. 1986 "Efecto de la variedad del maíz en la cinética de la Nixtamalización". *Tecnol Aliment (Mex)* Vol 21 No. 5. 13-19.
- L. W. ROONEY y H.D. ALMEIDA-DOMINGUEZ 1995 "Productos de Maiz Nixtamalizado y Calidad del Maiz". Seminario sobre Tecnología de la Tortilla. Asociación Americana de Soya. Mex. D.F.
- MAIZ. ABASTO Y COMERCIALIZACION DE PRODUCTOS BASICOS. 1988. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática Secretaria de Comercio y Fomento Industrial.
- MARIA L. MARTINEZ-HERRERA and PAUL A. LACHANCE. 1979 "Corn (Zea mays) Kernel Hardness as an index of the Alkaline Cooking Time for Tortilla Preparation". *Journal of Food Science*. Vol 44 No. 2: 377-380.
- M.H. GOMEZ, C.M. McDONOUGH, L. W. ROONEY and R.D. WANISKA. 1989. "Changes in Corn and Sorghum During Nixtamalization and Tortilla Baking". *Journal of Food Science*. Vol 54, No. 2. 330-336.
- M.H. GOMEZ, J.K. LEE, C.M. McDONOUGH, R.D. WANISKA, and L. W. ROONEY.1992. "Corn Starch Changes During Tortilla and Tortilla Chip Processing". *Cereal Chem* 69(3): 275-279.
- M.H. GOMEZ, R.D. WANISKA, and L.W. ROONEY. 1991. "Starch Characterization of Nixtamalized Corn Flour". *Cereal Chem*. 68(6): 578-582.
- M. J. WOLF, C.L. BUZAN, M. M. MacMASTERS, and C. E. RIST. 1952. "Structure of the Mature Corn Kernel. I. Gross Anatomy and Structural Relationships". *Cereal Chem*. 29(5): 321-333.

- M. N. KHAN, M. C. Des ROSIERS, L. W. ROONEY, R. G. MORGAN, and V. E. SWEAT. 1982. "Corn Tortillas: Evaluation of Corn Cooking Procedures". *Cereal Chem* 59(4): 279-284.
- O. PAREDES-LOPEZ and M.E. SACHAROPULOS-PAREDES. 1983. "Maize. A review of tortilla production technology" *Bakers Digest*. Sept. 16-25.
- PUZZI DOMINGO. 1984. *Manual de Almacenamiento de Granos, Depósitos y Silos*. Ed. Hemisferio Sur
- RICARDO BRESSANI, RAMIRO PAZ Y PAZ, and NEVIN S. SCRIMSHAW. 1958. "Chemical Changes in Corn during Preparation of Tortillas". *Agricultural and Food Chemistry*. Vol 6 No 10. 770-773.
- R. CARL HOSENEY. 1991. *Principios de Ciencia y Tecnología de los Cereales*. Department of Grain Science and Industry. Kansas State University ed. Acribia, S A (España)
- R. L. PFLUGFELDER, L. W. ROONEY, and R. D. WANISKA. 1988. "Dry Matter Losses in Commercial Corn Masa Production". *Cereal Chem*. 65(2): 127-132
- R. R. ROBLES, E. D. MURRAY and O. PAREDES-LOPEZ. 1988. "Physicochemical changes of maize starch during the lime-heat treatment for tortilla making". *International Journal of Food Science and Technology*. 23, 91-98
- STANLEY A. WATSON, PAUL E. RAMSTAD. 1987. *Corn Chemistry and Technology*. Published by the A.A.C.C., St Paul Minnesota, U.S.A
- S.A.R.H. *Boletín Mensual de Información Básica del Sector Agropecuario y Forestal*. Avance a Julio de 1994. Subsecretaría de Planeación.
- S.A.R.H. "Cultivos Básicos. Principales Indicadores" 1960-1991. Subsecretaría de Planeación (mayo 1962).
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Norma mexicana NMX-FF-034-1995-SCFI. *Productos Alimenticios no Industrializados Cereales - Maíz (Zea mays)*. Especificaciones y Métodos de Prueba. Dirección General de Normas. 1995
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Norma Oficial Mexicana NOM-F-46-S--1980. "Harina de maíz nixtamalizado". Dirección General de Normas.

- S. BEDOLLA, M. G. de PALACIOS, L. W. ROONEY, K. C. DIEHL, and M. N. KHAN, 1983. "Cooking Characteristics of Sorghum and Corn for Tortilla Preparation by Several Cooking Methods". *Cereal Chem.* 60(4): 263-268.
- S. H. KATZ, M. L. HEDIGER, L. A. VALLEROY, 1974. "Traditional Maize Processing Techniques in the New World" *Science* 184: 765-773.
- S. O. SERNA-SALDIVAR, M. H. GOMEZ, H. D. ALMEIDA-DOMINGUEZ, A. ISLAS-RUBIO, and L. W. ROONEY, 1993. "A Method to Evaluate the Lime-Cooking Properties of Corn (*Zea mays*)". *Cereal Chem.* 70(6): 762-764.
- S.O. SERNA-SALDIVAR, M. H. GOMEZ, and L. W. ROONEY, 1990. "Technology, Chemistry, and Nutritional value of Alkaline-Cooked corn products". in *Advances in Cereal Science and Technology*. Vol. X : 243-307. Ed. A.A.C.C. Sr. Paul Minnesota, U.S.A.
- TREJO-GONZALEZ, A., FERIA-MORALES, A., and WILD-ALTAMIRANO, C. 1982. "The Role of Lime in the Alkaline Treatment of Corn for Tortilla Preparation" page 245 in: *Modification of Proteins*. R.E. Feeney and J.R. Withaker, eds *Adv. Chem. Ser.* 198. Am. Chem. Soc., Washington, DC.
- Y. POMERANZ, C. R. MARTIN, D. D. TRAYLOR, and F. S. LAI. 1984. "Corn Hardness Determination" *Cereal Chem.* 61(2):147-150.
- Y. POMERANZ, G. E. HALL, Z. CZUCHAJOWSKA, and F. S. LAI. 1986. "Test Weight, Hardness, and Breakage Susceptibility of Yellow Dent Corn Hybrids". *Cereal Chem.* 63(4): 349-351.