



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN**

**ESTUDIO DEL POTENCIAL DE CINCO VARIEDADES
HÍBRIDAS DE MAÍZ PARA PRODUCIR HARINA DE MAÍZ
NIXTAMALIZADO**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA EN ALIMENTOS

PRESENTA:

CAROLINA AGUAYO DORANTES

ASESORA: DRA. ELSA GUTIERREZ CORTEZ



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



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

U.N.A.M.
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
 ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO
 DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLAN
 PRESENTE



ATN:L.A. ARACELI HERRERA HERNANDEZ
 Jefa del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la FES Cuautitlán.

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

Estudio del potencial de cinco variedades híbridas de maíz para producir
 harina de maíz nixtamalizado.

Que presenta la pasante Carolina Aguayo Dorantes

Con número de cuenta: 09731286-8 para obtener el título de:

Ingeniera en Alimentos

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

ATENTAMENTE

“POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”

Cuautitlan Izcalli, Mex. a 18 de Febrero del 2011.

PRESIDENTE IBQ.Leticia Figueroa Villarreal

VOCAL Dra. Elsa Gutiérrez Cortez

SECRETARIO IA. María del Pilar Molina Rubio

1er SUPLENTE MC. Enrique Martínez Manrique

2º SUPLENTE IA. Frida Rosalía Cornejo García

***AGRADECIMIENTOS
Y DEDICATORIA***

AGRADECIMIENTOS:

- ✓ A nuestra máxima casa de estudios la UNAM por abrirme sus puertas, por todos los conocimientos adquiridos y por cada una de las enseñanzas que aprendí, estoy orgullosa de ser parte de ella.
- ✓ A la Dra. Elsa Gutiérrez Cortez por su tiempo, sus enseñanzas, su paciencia y por haber creído en mi, mil gracias.
- ✓ A todos los integrantes del Instituto de Laboratorio de Física Aplicada y Tecnología avanzada (FATA) de la Universidad Nacional Autónoma de México, campos Juriquilla Querétaro; por su colaboración para realizar el trabajo experimental para la realización de tesis.
- ✓ A todos los profesores de la UNAM por sus enseñanzas y conocimientos.

DEDICATORIA:

- ✓ A Dios por estar conmigo en todo momento, por nunca abandonarme y por darme fortaleza aun en los peores momentos.
- ✓ A mis padres y hermanos por su apoyo incondicional, por estar siempre ahí, por acompañarme en el camino y por dejarme ser siempre yo, los quiero mucho.
- ✓ A Daniela por ser la luz de mi vida, el motor que me hace caminar, por quien siempre quiero luchar y salir adelante, perdóname chiquita por no estar contigo en todo momento pero esto es para ti, gracias por todas las alegrías que me brindas, te amo.
- ✓ A mis familiares: Abuelas, tíos y primos por ser parte de mi vida.
- ✓ A Chabela por ser mi amiga incondicional, por ser el hombro en quien yo me puedo apoyar, por estar conmigo en las buenas y en las malas, gracias por ayudarme a levantarme cuando creí no lograrlo y sobretodo, gracias por ser mi amiga, TQM.
- ✓ A Claudia porque se que Dios te puso en mi camino, gracias por escucharme y por todas tus palabras de aliento, TQM.
- ✓ A Carlos por todo lo que eres y has sido en mi vida, te amo.
- ✓ A Daniel por ser mi amigo, por tu tiempo para escucharme y tu apoyo de siempre pero, sobretodo por haberme regalado lo que mas amo, nuestra hija. TQM.
- ✓ A mis amigas: Natalia, Itzel, Maritza, Elizabeth, Maribel, Eli, Claudia, por todos los momentos maravillosos en la Universidad.
- ✓ A todas las personas que han dejado en mi, cosas buenas y de quien aprender, gente que suma cosas positivas y con quien he compartido momentos muy padres: Ross, Oscarin, Kenia y Melisa.
- ✓ Y a todas aquellas personas que me han apoyado para salir adelante, gracias por sus palabras de aliento Dra. Fátima Robles.

INDICE

Página

	Agradecimientos y dedicatoria	
	Indicé	
	Resumen	i
	Introducción	l
Capítulo 1	Generalidades del maíz	1
1.1	Estructura del grano de maíz	1
1.1.1	Pericarpio	2
1.1.2	Punta o cofia	2
1.1.3	Endospermo	3
1.1.4	Germen	3
1.1.5	Capa de aleurona	4
1.2	Adaptación y cultivo	4
1.3	Maíz híbrido	6
1.4	Calidad del grano	8
1.5	Propiedades físicas del maíz	17
1.5.1	Dureza	17
1.5.2	Forma y tamaño	18
1.5.3	Color	19
1.5.4	Vitriosidad	20
1.5.5	Textura	20
1.5.6	Densidad volumétrica	21
1.5.7	Densidad verdadera	21

	1.5.8	Volumen de vacío	22
	1.6	Composición química del maíz	22
	1.7	Parámetros de establecimiento de cocción de los granos	25
	1.8	Proceso de nixtamalización	26
	1.9	Proceso tecnológico de elaboración de harinas	28
	1.9.1	Descripción del diagrama tecnológico de elaboración de harinas de maíz	32
	1.9.2	Descripción del diagrama de proceso de nixtamalización	36
	1.10	Características de los granos destinados a la producción de harina	37
	1.11	Especificaciones de calidad que debe cumplir la harina de maíz nixtamalizado (De acuerdo a la norma NMX-F-046-S-1980).	38
	1.12	Rendimiento de acuerdo a la norma de harinas NMX-F-046-S-1980	40
Capítulo	2	Metodología Experimental	41
	2.1	Desarrollo experimental	41
	2.1.1	Selección y recolección de maíces híbridos	43
	2.1.1.1	Muestreo de híbridos	43
	2.1.2	Caracterización de las variedades del maíz	44
	2.1.2.1	Determinaciones Químicas	44
	2.1.2.1.1	Determinación de humedad del grano nativo	44
	2.1.2.1.2	Determinación de cenizas	45
		Determinación de calcio endógeno	47
	2.1.2.1.3	Determinación de grasa	50
	2.1.2.2	Análisis físico	51
	2.1.2.2.1	Peso promedio de los granos	51

2.1.2.2.2	Porcentaje de pericarpio y de estructuras del maíz	52
2.1.2.2.3	Dimensiones de los granos	53
2.1.2.2.4	Color de los granos	53
2.2	Descripción de actividades por objetivos	54
2.2.1	Objetivo particular 1	54
2.2.1.1	Dureza de los granos de maíz	54
2.2.1.2	Relación de endospermo vitrio-harinoso	55
2.2.1.3	Espesor del pericarpio del maíz	56
2.2.1.4	Índice de flotación	57
2.2.1.5	Peso hectolítrico	58
2.2.2	Objetivo particular 2	59
2.2.2.1	Pericarpio remanente	59
2.2.2.2	Humedad de nixtamal	60
2.2.2.3	pH del nixtamal	61
2.2.2.4	Calcio fijado durante la cocción	62
2.2.2.5	Pérdidas de materia seca	63
2.2.3	Objetivo particular 3	64
2.2.3.1	Rendimiento	67
2.2.4	Objetivo particular 4	68
2.2.4.1	Concentración de calcio fijado	68
2.2.5	Análisis estadístico	68
Capítulo 3	Resultados	69
3.1	Resultados del desarrollo experimental	69
3.1.1	Selección y recolección de maíces híbridos	69
3.1.1.1	Muestreo de híbridos	69
3.1.2	Caracterización de las variedades del maíz	70

3.1.2.1	Determinaciones Químicas	70
3.1.2.1.1	Determinación de humedad	70
3.1.2.1.2	Determinación de cenizas	71
	Determinación de calcio endógeno en grano y en pericarpio	72
3.1.2.1.3	Determinación de grasa	73
3.1.2.2	Análisis físico	74
3.1.2.2.1	Peso promedio de los granos	74
3.1.2.2.2	Porcentaje de pericarpio y de estructuras del maíz	75
3.1.2.2.3	Dimensiones de los granos	76
3.1.2.2.4	Color de los granos	77
3.2	Resultados por objetivos	78
3.2.1	Objetivo particular 1	78
3.2.1.1	Dureza de los granos de maiz	78
3.2.1.2	Relación de endospermo vitreo:harinoso	79
3.2.1.3	Espesor del pericarpio del maíz	80
3.2.1.4	Índice de flotación	81
3.2.1.5	Peso hectolitríco	82
3.2.2	Objetivo particular 2	83
3.2.2.1	Pericarpio remanente	84
3.2.2.2	Humedad de nixtamal	84
3.2.2.3	pH	85
3.2.2.4	Calcio fijado durante la cocción	86
3.2.2.5	Pérdidas de materia seca	88
3.2.3	Objetivo particular 3	88
3.2.3.1	Rendimiento	91

3.2.4	Objetivo particular 4	92
3.2.4.1	Concentración de calcio fijado	92
	Conclusiones y recomendaciones	93
	Referencias bibliográficas	96

ÍNDICE DE FIGURAS

figura		Página
1	Estructura del grano de maíz	2
2	Granero donde se almacenan temporalmente los granos de maíz	5
3	Diferentes coloraciones del pericarpio del maíz	14
4	Tamaños y formas del grano de maíz	18
5	Granos de maíz de diferente color	19
6	Diagrama tecnológico de nixtamalización tradicional	27
7	Diagrama tecnológico de elaboración de harinas de maíz nixtamalizado	31
8	Diagrama de proceso de nixtamalización	35
9	Cuadro metodológico del desarrollo experimental	42
10	Molino de cuchillas marca Braum modelo KS	44
11 a	Carrusel con vasos	49
11 b	Digestor del microondas	49
12	Colorímetro Minolta, modelo 2002	53
13	Vista frontal del endospermo vítreo, duro o corneo	56
14 a	Granos sin pericarpio	57
14 b	Micrografía del espesor del pericarpio	57
15	Potenciómetro Jenco Electronics, LTD, Mod. 6071	62
16 a	Molino de discos de piedra	65
16 b	Granulado húmedo	65
17	Molino de martillos Pulvex 200	66
18	Ro-tap, Mod. KH59986-60	67
19	Bayoneta para muestrear grano de maíz	70
20	Vista superior del grano, muestra endospermo vítreo	79
21	Humedades adquiridas durante la cocción	85

22	Concentración de calcio fijado	87
23	Molienda húmeda	89
24	Granulados deshidratados	89
25	Molino de martillos pulvex 200	90
26 a	Pesado de harina	91
26 b	Pesado de tamices	91
26 c	Distribución de harina en tamices	91

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Composición química de las partes del maíz (g/100g base seca)	22
2	Parámetros de evaluación del maíz para producir harinas	25
3	Especificación que solicita la norma NMX-F-046-S-1980 para harinas de maíz nixtamalizado	39
4	Balance de materia	64
5	Variedades seleccionadas y las zonas de recolección de la cosecha	69
6	Porcentaje de humedad en el maíz nativo y pericarpio para las diferentes variedades	71
7	Porcentaje de cenizas en el maíz nativo diferentes variedades	71
8	Concentración de calcio en el maíz nativo y en pericarpio	72
9	Extracto etéreo en el maíz nativo diferentes variedades	73
10	Peso promedio de la variedades híbridas	74
11	Porcentaje de pericarpio y de estructuras de maíz	75
12	Dimensiones del grano de maíz	76
13	Ángulo de maíz y cromaticidad para la medición de color	77
14	Dureza del grano nativo, endospermo vitreo-harinoso	78
15	Porcentaje de endospermo vitreo-harinoso y su relación	80
16	Valores del espesor del pericarpio nativo	81
17	Valores del índice de flotación de las variedades	82
18	Valores del peso por hectolitro de las variedades híbridas	83
19	Pericarpio remanente de las variedades	84
20	pH promedio de las variedades de maíz	86
21	Perdida de materia seca de las variedades	88

22	Rendimiento de nixtamal de las variedades	90
23	Rendimiento de harinas de las variedades	91
24	Concentración de calcio fijado durante el proceso de nixtamalización	92

RESUMEN

RESUMEN

Este estudio se realizó a cinco variedades de maíz híbridas; Sable, DK2020, QPM-H368C, Tigre y Bengala cultivadas en el ciclo primavera-verano del año 2008, en tres localidades del bajío mexicano; La Tinaja, Villagrán y Rancho el Paraíso. Los granos de maíz fueron utilizados con el propósito de evaluar su potencial hacia la producción de harina de maíz nixtamalizada. El análisis que se realizó a estos materiales fue una caracterización física con los parámetros establecidos por la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002, dentro de los que destacan; el peso promedio, porcentaje de pericarpio, dimensiones, color, dureza, porcentaje de endospermo vítreo-harinoso, espesor del pericarpio, índice de flotación y peso hectolítrico. También se llevó a cabo el análisis químico proximal de cada una de las variedades de acuerdo con los métodos establecidos por la AOAC (2000). Las determinaciones realizadas fueron: humedad, cenizas, grasa y calcio endógeno. Para evaluar la calidad nixtamalera se obtuvo el tiempo de cocción, donde se correlacionaron el pH, la humedad y la concentración de calcio fijado. Estos parámetros se compararon con la dureza y el índice de flotación, los granos que calificaron mejor fueron las variedades Sable y Bengala y en menor grado el QPM-H368C. Otra prueba muy solicitada es la pérdida de materia seca, la cual se realizó durante el proceso de nixtamalización con los balances de materia. Finalmente, se obtuvo el rendimiento de harinas para las distintas variedades de granos. Para esta prueba se utilizó el criterio estipulado por la norma oficial mexicana NMX-046-S-1980 que especifica que por lo menos el 75 % del material debe pasar por el tamiz 60 USA. De las cinco variedades analizadas solo las variedades Bengala y Sable se acercan a la granulometría establecida por la misma norma, la variedad QPM-H368C con valores cercanos y con valores muy lejanos las variedades DK2020 y Tigre, corroborando con las otras pruebas que estos dos últimos son granos muy duros y por lo tanto no aptos para producir harinas.

INTRODUCCION

INTRODUCCIÓN

México es la cuna del maíz, para algunas culturas precolombianas fue un obsequio divino, pero más allá de este concepto, su cosecha y sus dones intrínsecos constituyen aspectos muy importantes por los cuales depende el bienestar del pueblo. Hoy este cereal reafirma su importancia capital para garantizar la subsistencia de millones de personas en México. Durante cientos de años, el aprovechamiento en la dieta humana depende de los granos. Ha sido una tarea imperiosa el encontrar nuevas formas de cultivar el maíz para aumentar su productividad, para industrializarlo y distribuirlo en forma cada vez más eficiente (Bressani *et al.*, 1990).

La nixtamalización es un proceso de transformación del maíz a masa de nixtamal, nació en México, con la intención de satisfacer la creciente demanda de tortilla en las zonas urbanas, para preservar las formas y sabores tradicionales, lograr una mayor eficiencia, beneficios en higiene y ecología, mismas que repercuten en el proceso y la calidad de los productos derivados en beneficio del consumidor.

El proceso de nixtamalización ha sido descrito y revisado por varios investigadores dentro de los que más destacan es Serna-Saldivar *et al.*, (1990). El tratamiento térmico-alcalino al cual se somete el maíz da como producto central la masa, la cual luego se transforma en diversas formas entre las cuales la tortilla es la principal. Desde el punto de vista técnico, Illescas, (1943) fue uno de los primeros que describió el proceso como se practicaba en México. Posteriormente, otros autores establecen el proceso ya con condiciones. La nixtamalización involucra el agregado de una parte de maíz entero y aproximadamente dos partes de solución al 1% de cal. La mezcla se calienta por arriba de 70 °C en períodos de 20 a 45 minutos con algun mezclado dejándola reposar durante la noche (8-14 h). Al día siguiente el agua de remojo, de color amarillo lechoso, se descarta y el maíz remojado se lava dos o tres veces con agua limpia, removiendo el pericarpio, eliminando el exceso de cal y las impurezas que el grano pudiera tener. El agua de cocción y remojo se conoce como “nejayote”. Al maíz cocido se le llama “nixtamal” y de ahí el nombre de “nixtamalización”. La adición de cal y el proceso de cocción, remojo y lavado, ayudan a la remoción de la cáscara de maíz conocida como pericarpio. Los subproductos obtenidos de este proceso se desechan como es el nejayote (Serna-Saldivar *et al.*, 2008).

Durante el cocimiento del grano se originan reacciones bioquímicas, entrecruzamientos e interacciones moleculares que modifican tanto las características fisicoquímicas, estructurales y reológicas de la masa, como las propiedades estructurales y de textura de la tortilla (Rodríguez *et al.*, 1995).

La conversión de nixtamal a la masa se hace pasando el maíz por un molino de piedras volcánicas, el granulado se hidrata y se toman luego alrededor de 50 gramos para formar las tortillas, que se cocinan en un plato caliente de hierro o de barro, llamado "comal". El proceso como lo describen Bressani y Scrimshaw (1958). En Guatemala utilizan maíz blanco o amarillo, similar al método anterior descrito, excepto por la concentración de la cal, que varía de 0.17 a 0.58%, en base al peso del maíz, con una proporción de grano agua de 1:1.2, y el tiempo de cocción que varia de 46 a 67 minutos, a una temperatura de 94 °C, dependiendo de la altura sobre el nivel del mar. El resto del proceso es esencialmente el mismo que el descrito por Illescas (1943), excepto que la preparación de la masa se hace con dos piedras de moler o en un molino de discos estriados volcánicos donde un disco gira y el otro no.

La masa contiene aproximadamente 54-56% de agua y la tortilla 45-55%. Usualmente, el plato o comal, se salpica con agua que contiene cal en una concentración muy diluida, la cual impide la adherencia de la tortilla al comal, para cocinarla en ambos lados. Una vez llegada a esta fase se forma vapor de agua dentro de la tortilla, abultándose la superficie que se cocino primero. Frecuentemente la presión del agua revienta la superficie, lo cual es indicativo que la tortilla ya esta lista para removerla del comal y almacenarla, una sobre otra, en una canasta cubierta con una manta, para mantenerlas calientes y suaves, hasta el momento de su consumo. Algunas veces el sobrecalentamiento de una de las superficies hace que se formen manchas oscuras. La variabilidad en la concentración de la cal, del tiempo de cocción y la temperatura son características particulares de las familias, mientras que el tiempo de cocción y temperatura son atribuidos al tiempo de almacenamiento y a la etapa de madurez en que fue cosechado el maíz utilizado para el proceso y altitud sobre el nivel del mar en donde se cocina. En los países de Centroamérica donde se consumen tortillas se hacen pequeños cambios en la cocción del maíz, puesto que, cuando es de cosecha reciente, se agrega poca cantidad de cal y se

disminuye el tiempo de cocción de la tortilla. Cuando el grano es viejo y seco, se agrega más cal (Serna-Saldívar *et al.*, 2008).

La industria de harina de maíz nixtamalizado inicio actividades en el año 1948, con el establecimiento de una pequeña fábrica de 12 mil toneladas anuales en Cerralvo, Nuevo León. Actualmente, la harina de maíz es la base para la fabricación de los diversos alimentos tradicionales mexicanos, entre ellos el más importante la tortilla, con apego a las disposiciones y normas ecológicas de cada país, para un procesamiento higiénico y con una comercialización amplia, dada su estabilidad y vida útil (Bedolla y Rooney, 1984).

La región del bajío ocupa la parte central y sur de la República Mexicana, un gran valle ubicado a una altura de 1700-1800 metros sobre el nivel del mar, cuenta con un clima muy estable, con precipitaciones moderadas en el verano y suelos ideales para la producción agrícola bajo condiciones de riego y con rendimientos de los más altos a nivel mundial. El bajío es una región con gran concentración urbana o industrial y una de las zonas de más alta producción de maíces híbridos al año (SAGARPA, 2006).

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ha estado trabajando en el desarrollo de híbridos de trigo, frijol y maíz, para que tengan mayor tolerancia y resistencia a plagas, enfermedades y condiciones ambientales adversas.

La Secretaria de Agricultura y Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2006) destacó que con las nuevas variedades se incrementará la productividad en el campo y aumentaran los beneficios económicos para los productores.

Es importante mencionar que el desarrollo de los híbridos del maíz, únicamente involucra la cruce genética de progenitores de la misma especie, evitando la introducción de material genético proveniente de organismos diferentes.

Actualmente, México presenta una problemática para abastecer la demanda de maíz a nivel nacional, por lo que el cultivo de híbridos representa una pieza clave para elevar la producción del país. El consumo y producción de maíz es un reflejo de la crisis alimentaria que sufre nuestro país.

La industria de harinas nixtamalizadas es la que mayor exigencia de calidad impone al adquirir el maíz para su proceso. La industria molinero-tortillera también considera parámetros de calidad. Sin embargo, han sido poco publicados y ese gremio se encuentra menos organizado, por lo que sus exigencias e intereses fueron poco considerados para establecer la norma oficial mexicana NMX-FF-034/ 1-SCFI-2002.

La industria de harinas requiere de maíces de endospermo duro, que retengan poco pericarpio durante el reposo y cuya humedad del nixtamal no sobrepase el 42%, esto debido a que los granos con endospermo duro absorben poca humedad durante el cocimiento, y si además pierden gran parte de su pericarpio durante la nixtamalización, la humedad de nixtamal es baja. Esa es la razón por la que se requieren espesores de pericarpio menores de 90µm. También solicita que los contenidos de grasa de los maíces para producir harina estén por abajo del 4.5 %, para evitar problemas de rancidez durante el almacenamiento de sus harinas y como máximo un índice de flotación de 40.

Debido a que el maíz en este año incrementó su costo más del 25 %, se requieren probar maíces nuevos y de producción Mexicana, que puedan incorporarse al mercado de la producción de harinas, para mantener los costos de los productos procesados de manera estable (García, 2009).

Esa es la razón de porque en este trabajo se planteó el objetivo de evaluar maíces híbridos obtenidos en el bajío mexicano para seleccionar aquellos que puedan tener destino para producir harinas, utilizando los parámetros de evaluación de la norma NMX-FF-034/ 1-SCFI-2002 y algunos otros criterios establecidos por grupos que producen, cultivan y procesan variedades híbridas en la Republica Mexicana.

CAPITULO 1

ANTECEDENTES

1. GENERALIDADES DEL MAIZ

El maíz es una gramínea con la que los mesoamericanos llevaron a cabo la revolución agrícola en el nuevo mundo. Pasaron miles de años de mejoramiento genético para llegar al maíz moderno (Rojas, 1988).

La evidencia arqueológica indica que el maíz existió como un precursor silvestre hace unos 7000 años en la región central de México. Unos 2000 años más tarde el maíz ya fue cultivado por el hombre y fue utilizado diariamente como alimento durante el desarrollo de la gran civilización Mesoamericana. Su cultivo y transformación a productos comestibles ha sido parte de la cultura de estas civilizaciones y también ha servido como tema para el arte, encontrándose en cuadros, libros, poesías y canciones compuestas por diferentes autores (Asturias, 1975; Popul Vuh, 1975; Rojas, 1988). La domesticación del maíz por las antiguas civilizaciones de Mesoamérica es responsable en gran medida en la evolución de estas sociedades, siendo muy importante en proporcionar la energía que este alimento vino a proveer a la población (Popul Vuh, 1975).

1.1 Estructura del grano de maíz

El grano maduro del maíz está integrado por distintas partes que se muestran en la figura 1. El germen o embrión, es responsable de formar una futura nueva planta; el endospermo, estructura de almacenamiento del grano que constituye su principal reserva energética y el pericarpio o cubierta del grano, que protege a la semilla de la entrada de hongos y bacterias antes y después de la siembra (Tortosa y Primo, 1982).

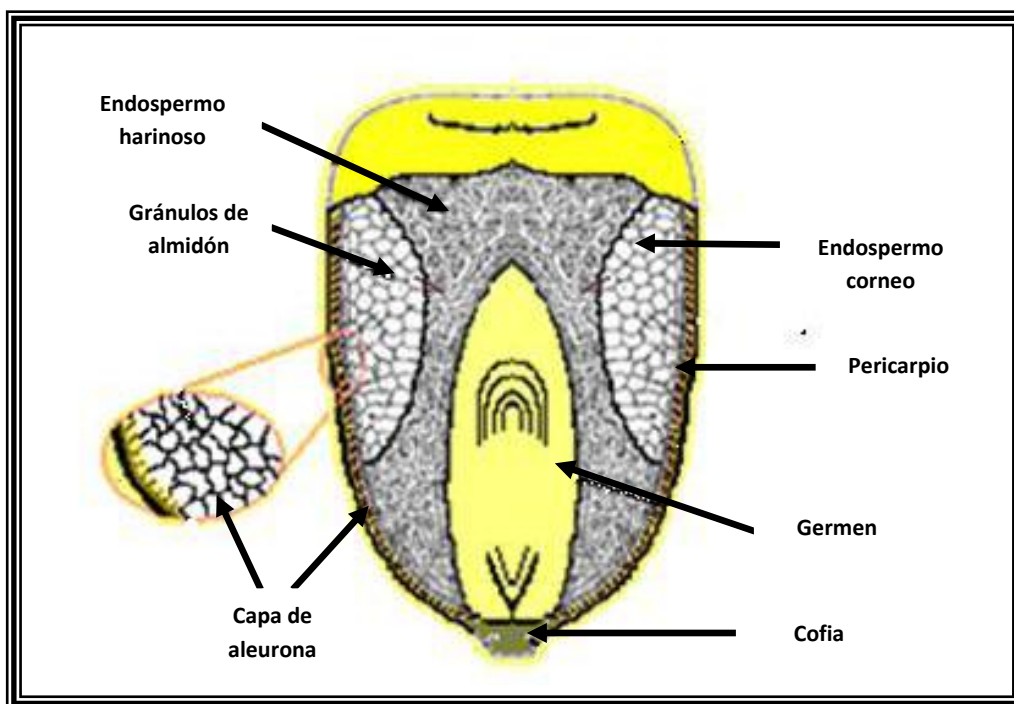
El grano de maíz se desarrolla mediante la acumulación de los productos de la fotosíntesis. La absorción del agua y los nutrientes se realiza a través de las raíces y el metabolismo de la planta en la inflorescencia femenina denominada espiga.

El fruto de la planta puede contener de 300 a 1000 granos de maíz según el número de hileras y el diámetro de la mazorca (Klaus y Karel, 1991).

Las estructuras mayoritarias que forman el grano del maíz son: La cofia, el pericarpio, el endospermo, la capa de aleurona y el germen, los cuales se describen a continuación.

1.1.1 Pericarpio

En la figura 1 podemos apreciar que el pericarpio es la parte estructural más externa del grano, de cubierta protectora dura y fibrosa que envuelve al grano, se adhiere fundamentalmente a la superficie externa de la capa de aleurona y además imparte propiedades semipermeables al grano de maíz, por lo tanto el pericarpio es el encargado de proteger al grano contra la invasión de microorganismos; contiene del 5 al 6% de fibra y está compuesto de cinco capas que son: epidermis, mesocarpio, células cruzadas, células tubulares y testa (Wolf *et al.*, 1952; Watson *et al.*, 1987).



Fuente: *Wheat Flour Institute, Chicago, Illinois (1964)*

Figura 1. Estructura del grano del maíz

1.1.2 Punta o cofia:

Es la parte minoritaria que representa menos del 1% del grano del maíz, es una estructura fibrosa que mantiene el grano unido por el olote y por la cual se transportan los nutrimentos que el grano necesita durante la etapa del crecimiento, está compuesta principalmente por celulosa, entre la base del germen y la punta se encuentra un tejido negro que funciona como sello del grano en la etapa madura (Klaus y Karel, 1991).

1.1.3 Endospermo

Es la estructura que representa la reserva energética, constituye del 80 al 84% del peso total del grano. Compuesta por 90% de almidón y 7% de proteínas, acompañadas de aceites y minerales. Su función es dar energía a la planta durante su desarrollo.

Se considera como tejido de almacenamiento y está constituido por dos partes: el endospermo periférico, el cual está adherido a la capa de aleurona y que representa una capa delgada y el endospermo almidonoso, el cual es de dos tipos: harinoso y corneo. Estos endospermos están cubiertos por la matriz proteica que los comprime y que encapsula los gránulos de almidón. Los gránulos de almidón están compuestos de dos polisacáridos: amilosa y amilopectina. La amilosa es el 25% del peso del gránulo (polímero lineal de glucosa) y la amilopectina que comprende el 75% del peso del gránulo (polímero muy largo y ramificado de glucosa) (Enciclopedia de México, 1978).

El almidón es el componente predominante del maíz y se encuentra principalmente en el endospermo, la forma y tamaño de los gránulos de almidón varían según su localización en el endospermo. El endospermo harinoso rodea la figura 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 cuales 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 estos asumen una forma redondeada. El endospermo corneo se encuentra principalmente a los lados del grano, la matriz proteica que lo cubre es más gruesa y pertenece intacta durante el secado, los gránulos de almidón se encuentran comprimidos en forma polihédrica, son de aspecto traslucido y no presentan cavidades aéreas (Watson y Ramsted, 1987).

1.1.4 Germen

Se localiza en el extremo mas bajo del grano y paralelo al eje axial, representa del 10 al 12% del peso seco del grano. Tiene un valor alimenticio elevado ya que proporciona proteínas, carbohidratos y vitaminas, teniendo proteínas de mayor calidad que las del endospermo, las cuales principalmente son albuminas y globulinas, componentes del sistema enzimático de la célula. (Watson y Ramsted, 1987).

Posee dos partes destacables, el embrión, el cual representa el 10% del germen y el escutelo, el cual comprende el otro 90% restante y almacena los nutrientes durante la germinación. Estos son movilizados por enzimas “elaboradas” durante las etapas iniciales de la germinación. El germen puede ser considerado por su composición: 34% aceite, 19% proteína, 28% sólidos solubles (azúcares, proteínas solubles en agua, minerales y vitaminas) y 19% de materiales insolubles (Enciclopedia de México, 1978).

1.1.5 Capa de aleurona

La capa de aleurona es una delgada película que divide al pericarpio, con el endospermo, está adherida al endospermo periférico, algunas variedades tienen múltiples capas de aleurona como las variedades obtenidas a partir de los genotipos opaco-2. La capa de aleurona contienen cuerpos proteicos que son de naturaleza aparente y de menores dimensiones que los de la matriz proteica localizados en el endospermo. Además la capa de aleurona contiene cuerpos grasos con alto contenido de minerales, esta capa es rica en proteínas y no contiene gránulos de almidón (White y Jonson, 2003).

1.2 Adaptación y cultivo

Antes del descubrimiento de América, los indios plantaban maíz de forma muy simple, depositaban las semillas en un agujero, las espolvoreaban con cenizas de madera, añadían un pescado muerto como fertilizante y cubrían las semillas con la tierra. Actualmente las variedades perfeccionadas de maíz requieren un suelo arcilloso de buen desagüe y cálido. Se sabe que el maíz produce más, si se siembra después de una cosecha de leguminosas en rotación con otras plantas, porque quedan nódulos de nitrógeno y esto sirve como fertilizante. El tiempo de desarrollo varía desde dos a siete meses. El clima ideal del maíz es con mucho sol, frecuentes lluvias durante los meses de verano, noches cálidas y humedad bastante alta. El maíz es realmente un producto tropical, y no puede darse en regiones situadas muy al norte cuando las noches de verano resultan frías. También las excesivas lluvias lo perjudican, después de que el maíz emerge de los campos el suelo debe mantenerse libre de malezas y hay que luchar contra los insectos. Existen muchos insectos que atacan al maíz, entre ellos la oruga del insecto

agrostis o *trozador*, que destruye las plantas jóvenes, el horadador o talador de maíz, la larva del *blissius* y el gusano del maíz *heliiothis*, que ataca la mazorca. Algunas de las enfermedades más importantes del maíz son: el carbón, la roya, o el anublo, la podredumbre de las mazorcas y la enfermedad de *Stewart*. Otros enemigos son las aves y animales que se comen las semillas plantadas o la cosecha a madurar. (FAO, 1992).

El maíz en México se puede recolectar de distintas maneras. En las fincas pequeñas las cañas suelen cortarse cuando las mazorcas están medidas y se les quitan las espatas y hojas secas. En las haciendas grandes se dejan las cañas en pie hasta que las mazorcas y sus cubiertas estén bien secas. Luego se colectan a mano o con máquinas y se almacenan en un granero como muestra la figura 2.



Figura 2. Granero donde se almacenan temporalmente los granos de maíz

Los Graneros son locales sombreados especialmente construidos y ventilados para permitir la continuación del proceso de secamiento y para proteger el maíz de la humedad y de los roedores. A fin de facilitar el uso de la planta como forraje durante el invierno, se pueden cortar las matas enteras y secas para ensilarlas. En el silo fermentan débilmente y toman el sabor y olor ligeramente ácidos que agrada a los animales. Algunas variedades después de su recolección requieren de un secado artificial para disminuir su humedad y

no sean infectadas por hongos durante su almacenamiento, es decir se aseguran de que los granos se conservaran adecuadamente (SAGARPA, 2004). Esta desecación de las diferentes variedades, modifica algunas características físicas de los granos de maíz, como es el espesor de la capa de aleurona del endospermo corneo y la textura del grano. Así como también la adherencia de la capa de aleurona-endospermo.

1.3 Maíz híbrido

Desde los primeros tiempos del cultivo de maíz en América, los indios dedicaron especial cuidado en la selección de las mazorcas destinadas a sembrar en la siguiente temporada. La selección continua originó muchas variedades y razas nuevas. Estas fueron seleccionadas conforme a su adaptabilidad a diferentes suelos y climas. El hombre blanco cultivó muchos de estos tipos de maíz y los adaptó a sus objetivos. En 1905 los botánicos iniciaron nuevos métodos en la producción de diferentes clases de maíz en los E.U.A Se descubrió entonces experimentalmente, que cuando el polen de una planta de maíz fecundaba las mazorcas de la misma mata, los granos así originados producían una gran variedad de plantas distintas; algunas eran muy pobres, mientras que otras aceptaban caracteres aceptables. Con la repetición de este proceso, y guardando solo las mejores plantas como semillas para cada raza, se obtuvieron líneas puras.

Estas líneas suelen poseer características excelentes, tales como resistencias a enfermedades e insectos. Pueden tener fuertes sistemas de raíces y tallos que les permitan resistir erguidos temporales vientos. Pero todas estas razas producen menos que las plantas abuelas originarias. Esto hacía ser poco deseables las nuevas variedades. Pero se vio también que las mencionadas líneas se polinizaban en forma cruzada con otras, los granos así producidos con frecuencia daban plantas híbridas más productivas. En algunos casos esos híbridos eran mejores, no solo en cuanto a su resistencia a enfermedades y robustez de las cañas, sino que también daban un rendimiento más alto que las viejas variedades que habían servido para seleccionarlas. Así pues, purificando primero, o seleccionando las características más convenientes de las antiguas variedades y luego recombinando éstas, se crearon las nuevas variedades superiores de maíz. Fueron los expertos en genética de los E.U.A. quienes empezaron a perfeccionar las razas del maíz con dichos métodos. Existen varios procedimientos por medio de los cuales las líneas

puras pueden cruzarse para producir maíces híbridos. Cuando se cruzan solo dos líneas el resultado es un híbrido simple. Si luego se emplean dos razas de cruce simple para formar un híbrido más complejo, éste se llama híbrido doble. Casi todos los híbridos propagados en los E.U.A. son cruces dobles. La producción de estos híbridos es mucho mayor y la semilla es más barata; lo que explica su gran difusión. El productor agropecuario tiene a su disposición materiales híbridos de origen nacional e importados (SAGARPA, 2004).

El maíz híbrido es la primera generación de una cruce entre líneas autofecundadas. Esto es antes de que el maíz sea cultivado, anteriormente se han de producir un alto número de polinizaciones (5 a 7) entre las poblaciones de plantas cultivadas por el hombre.

Una línea autofecundada, se produce mediante la autofecundación de la misma planta, esto es, los estigmas de la planta deben polinizarse aplicando a mano el polen colectado de las propias espigas. Como el maíz sufre normalmente la fecundación cruzada, debe controlarse la polinización en cada generación, esto requiere generalmente de 5 a 7 polinizaciones. Cada línea tiene una combinación diferente de genes. Una línea obtenida por autofecundación es una línea pura, que desciende por autofecundación de una planta capaz de reproducirse idénticamente a si misma. Por lo tanto, dentro de una misma línea, cada planta será exactamente igual a las otras, esto es líneas vigorosas de aspecto uniforme.

La planta original autofecundada se denomina en general S_0 la progenie obtenida por la autofecundación de esta planta se denomina S_1 (primera generación autofecundada). La segunda generación autofecundada se denomina S_2 y así sucesivamente.

Las mazorcas de las plantas que se van a autofecundar se cubren con bolsas de papel parafinado, de uno a dos días antes de que aparezcan los estigmas.

Cuando ya hayan emergido los estigmas y la espiga está derramando el polen, se levanta ligeramente la bolsa de papel que se colocó a la mazorca y se corta la punta de la mazorca unos 2.5 cm, cubriendo de nuevo con la misma bolsa, esto se realiza para que al día siguiente los estigmas de la mazorca hayan crecido de manera uniforme unos 2.5 a 3.5 cm y se pueda llevar a cabo una buena polinización (Gill y Vear, 1965).

1.4 Calidad del grano

La calidad del grano de maíz está asociada tanto con su constitución física, que determina la textura y dureza, como con su composición química, que define el valor nutricional y las propiedades tecnológicas. La importancia relativa de estas características resultará del destino de la producción. Los mercados son cada vez más exigentes y se interesan por el contenido de proteínas, aminoácidos, almidón, aceites y demás componentes, y paulatinamente se reduce la tolerancia a sustancias contaminantes. Para las industrias que emplean granos de maíz, su calidad y propiedades tecnológicas son una constante preocupación fundamental. Se requieren granos sanos, limpios, uniformes de tamaño, textura y color (Watson y Ramstad, 1987).

La calidad del grano es un concepto que se refiere a las características que los procesadores y los consumidores de alimentos reclaman. Las características de calidad del grano incluyen; rendimiento, propiedades físicas, químicas y tecnológicas, además de características fitosanitarias y nutrimentales. Dentro de las propiedades tecnológicas se encuentran: la estabilidad durante el almacenamiento, eficiencia de conversión a productos y cómo estos son afectados por las condiciones de procesamiento y, por supuesto, las características de aceptabilidad al consumidor. Las características físicas y químicas del grano de maíz determinan en alto grado los parámetros de procesamiento y la calidad de la masa y la tortilla, así como su color y sabor. Las características fitosanitarias incluyen granos sin insectos y sin hongos. La calidad tecnológica del maíz para la preparación de tortilla es de poca importancia para el pequeño productor en los países que consumen la tortilla, en donde rara vez se utilizan otras semillas que las que se guardan de cosecha en cosecha. Más aún, el ama de casa del área rural sabe como ajustar las condiciones de cocción de acuerdo al tipo de maíz que disponen para su consumo. Pero el maíz ahora es convertido en harina nixtamalizada usando procesos industriales, en donde el grano que se utiliza proviene de varios productores, de diferentes localidades y variedades. Estos maíces podrían tener diferentes estructuras o haber sido manejados inadecuadamente después de ser cosechados, factores que influyen el rendimiento de los procesos, las propiedades físico-químicas, organolépticas y culinarias del producto. La calidad de la masa y de la tortilla; los parámetros de cocción, remojo y el color del producto dependen principalmente de las características de la materia prima.

Las características físicas del maíz son importantes en la preparación de la masa y tortilla y se hizo evidente en los resultados informados por Bressani *et al.* (1958), quienes demostraron que el rendimiento de masa como materia seca fue afectado por la variedad de maíz utilizada. Estos autores mostraron en estudios a nivel de hogar rural, que la pérdida promedio de materia seca en maíz blanco fue de 17.2% en promedio con un rango de 9.5 a 21.3%. Con respecto al maíz amarillo, las pérdidas de materia seca fueron de 14.1% como promedio, con un rango de 8.9 a 16.7%. Estos resultados indicaron que el tipo y la calidad del maíz influyen en el rendimiento de materia seca, a pesar de que el estudio no se condujo con el propósito de establecer las características del grano de maíz para la preparación de la tortilla. Un estudio más científico fue informado por Cortez y Wild-Altamirano. (1972). Estos autores analizaron 18 cultivares de maíz producido en México que incluyeron, 2 variedades reventadoras y un proceso de cocción estándar con 1.5% de cal con respecto al peso del grano, una cocción a 90 °C y un tiempo de remojo de 12 h. El tiempo de cocción se midió con base en la facilidad de remoción de la cáscara de grano. Las evaluaciones llevadas a cabo con el maíz crudo incluyeron la medida del volumen de 1kg de maíz, el rendimiento de masa de 1kg de grano y el contenido de humedad de la masa, así como la fuerza de la masa y la absorción de agua. La masa deshidratada fue pasada por un tamiz No. 60 y se evaluó su humedad, color, volumen específico y otras características físicas utilizando un mixógrafo. La tortilla hecha de la masa de cada muestra de maíz fue evaluada por sus atributos de extensibilidad, volumen, plasticidad, suavidad y aspereza de la superficie. El tiempo de cocción entre los 18 cultivares varió de 30 a 75 minutos, y las pérdidas de materia seca fueron de 10 a 24%. De este estudio los autores concluyeron que las variedades de mayor peso o volumen y de endospermo fueron superiores en la preparación de masa y tortilla. Rooney y Serna-Saldivar. (1987) así mismo, indicaron que para un endospermo duro o corneo, se requirió de periodos de cocción más prolongados, pero sin embargo, su cocción siguió una modalidad más predecible que cuando el maíz tiene un endospermo suave. Estos requieren tiempos de nixtamalización inferiores a los requeridos por los maíces de endospermo duro y en general, las pérdidas de materia seca, son mayores en variedades de maíces de endospermo suave. En los maíces de endospermo duro, los gránulos de almidón se encuentran rodeados por una densa matriz de proteína. El endospermo es más compacto, dificultando la absorción de agua hacia los gránulos de almidón.

Bedolla y Rooney (1982), indicaron que la textura de la masa es afectada por la textura y tipo de endospermo de maíz, por el grado de secado, las condiciones de almacenamiento y calidad e integridad de los granos de maíz. Los maíces con diferente tipo de endospermo, requieren diferente procesamiento para llegar al mismo grado de cocción, lo que se refleja en la ruptura del pericarpio. Sin embargo, la destrucción rápida del pericarpio induce mayores pérdidas de materia seca durante la cocción. La dureza del endospermo, que está predeterminada por la relación amilosa/amilopectina en el almidón, afecta significativamente la plasticidad de la masa preparada por el método de cocción de maíz con cal. Martínez-Herrera y Lechance (1979), establecieron una relación funcional entre la dureza del grano y el tiempo requerido para el proceso de cocción. El punto índice de cocción alcalina que se percibió con una sensación de suavidad, apariencia de cocción del endospermo del maíz y desintegración de la cáscara del grano, se encontró que estaba asociado a un equivalente de dureza del grano. Estos mismos autores indicaron que el tiempo de cocción de un mismo maíz, puede reducirse con la adición de mayores concentraciones de cal, sin embargo, ello puede afectar la aceptabilidad del producto. Más aún, la relación entre la dureza inicial de la variedad y duración de tiempo final de cocción, hizo posible la estimación del tiempo requerido para la cocción del maíz, siempre y cuando se conozca la dureza inicial.

Khan *et al.* (1982); y Bedolla y Rooney. (1982) utilizaron una “navaja” especialmente diseñada por Desroisier, para medir un parámetro llamado “fuerza de corte de nixtamal” (NSF), que mide la dureza del grano. La medida fue relacionada con el tiempo de cocción, así como con el método de procesamiento. Estos autores demostraron que la medida de NSF fue capaz de detectar pequeñas diferencias en el maíz, con una textura de endospermo similar, para la elaboración de tortilla y una predicción de tiempo de cocción.

La dureza del grano de maíz es pues, de mucha importancia para la nixtamalización del maíz por lo cual se han realizado varias investigaciones. Sin embargo, muchos métodos son complejos y no prácticos para fines de selección de variedades de maíz adecuadas para nixtamalización. Salinas *et al.* (1982), Salinas y Arcelano. (1989), y Salinas *et al.* (1992) informaron sobre la capacidad de varios métodos para evaluar la dureza del grano. Los métodos fueron: el índice de perlado, densidad, textura del endospermo, índice de flotación, reflectancia en el infrarrojo, peso hectolítrico y tiempo de molienda en el

durómetro de Brabender. De acuerdo a los resultados, los autores concluyeron que el método de índice de flotación resultó ser el método más adecuado para determinar la dureza del grano del maíz, ya que permitió diferenciar los maíces de endospermo suave, intermedio y duro, con poca variabilidad y rapidez.

Las pérdidas de materias secas resultantes de la cocción con cal, constituyen un buen indicativo de la calidad del maíz para la preparación de la tortilla. Una parte de la pérdida proviene de la cáscara y la otra, que debe ser menor, del endospermo. Jackson *et al.*, (1988) reportaron que las mayores pérdidas fueron debidas a granos rotos o quebrados. Por lo tanto, concluyeron que cualquier protocolo que fije la calidad indispensable para someter el maíz a cocción alcalina, debe también incluir medidas para el porcentaje de granos quebrados o dañados, determinar el potencial del maíz para su rompimiento y la facilidad que presenta para la remoción del pericarpio, ya que existen diferencias entre variedades de maíz.

Serna-Saldivar *et al.*, (1991) han propuesto un método relativamente sencillo para evaluar la facilidad de remoción de la cáscara del grano del maíz.

No se encuentran en la literatura resultados de estudios específicos sobre los efectos del secado y almacenamiento en la calidad del maíz para la elaboración de tortilla. El método de secado del grano de maíz, puede influir de manera significativa sobre la calidad para el procesamiento húmedo de nixtamalización ya que modifica las características del pericarpio o procesos normales con aire caliente con respecto al peso hectolítrico, variabilidad de la semilla, al número de granos rotos por fisuras o por stress y en la eficiencia durante el remojo (Brown *et al.*, 1979). Bressani *et al.* (1982) reportaron sobre el almacenamiento del maíz de alto valor nutritivo en relación a la calidad de la tortilla debido a que los espesores del pericarpio son mayores en granos híbridos QPM's y por esa razón se almacenaron bajo diferentes condiciones de campo. La selección nutricia de variedades de granos QPM's, se almacenaron bajo diferentes condiciones de campo. Los sacos hechos con manta no tratada con insecticidas, permitieron la infestación con insectos que indujeron mayores pérdidas de materia seca durante la cocción. Sin embargo, la calidad proteínica del grano no resultó afectada.

No existe información definida sobre la relación entre el contenido de nutrientes en el maíz

y su eficiencia en producir la masa y tortilla. Se ha indicado que maíces con endospermoduro contienen un poco más de proteína que maíces con endospermo suave (Salinas *et al.*, 1982; Salinas y Arcelano, 1989; Salinas *et al.*, 1992), por consiguiente, se puede inferir que la presencia de mayor contenido de proteína en el grano, permite elaborar una masa nixtamalizada y tortilla, superior en calidad tecnológica que los productos de maíces con niveles menores de proteínas. En un estudio con 16 variedades de maíz, de los cuales 5 fueron harinosos, 7 con endospermo duro y 4 de dureza intermedia (con el gen opaco-2), se encontró más proteína en los de endospermo duro, que al ser sometidos a nixtamalización de laboratorio (controlada) y nixtamalización de campo (más cal) contenían menos cenizas y absorbieron menos calcio (Tucox-Sajquin y Bressani, 2004). Estos datos sugieren, que la composición química y la estructura del grano de maíz influyen sobre los efectos de la nixtamalización convencional.

La producción industrial de maíz procesado, por el tratamiento alcalino de cocción, ha ido mejorando rápidamente durante los últimos años. Las operaciones de procesamiento van desde aquellas con mano de obra intensiva, hasta las industrias que están altamente tecnificadas. El desarrollo de la industria busca automatización de la tecnología, así como un procesamiento de maíz que sea continuo, eficiente en la utilización de la energía, de alto rendimiento y más recientemente que sea amigable al medio ambiente. Fundamental en esto, es la calidad de procesamiento del grano del maíz. Los resultados de varios investigadores han ofrecido información sobre cuales son las características de calidad de cocción alcalina del maíz (Cortez y Wild-Altamirano, 1972; Martínez-Herrera y Lechance, 1979; Salinas y Arcelano, 1989; Serna-Saldivar *et al.*, 1991; Serna-Saldivar *et al.*, 1993).

Las Características de calidad de maíz que se requieren para la producción de harina, tortilla y otros alimentos, de maíz nixtamalizado son:

- Maíz duro, poco dentado, alta proporción de endospermo duro
- Granos duros, sin roturas e impurezas
- Alta densidad de grano, alto peso de prueba, bajo porcentaje de granos flotadores
- Grano de maduración completa y natural
- Grano sin daño por exceso de secado
- Grano sin hongos o dañado por insectos (Serna-Saldivar,2008)

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 establecidos por factores genéticos y de producción y manejo, algunas de estas características solicitadas son:

a) Tipo de maíz empleado como semilla

Los granos de maíz, que maduran adecuadamente en la planta antes de ser cosechados poseen mejor calidad, que aquellos que son cosechados antes porque tienen altos niveles de humedad y requieren secarse artificialmente, esto trae como consecuencia fracturas en los granos, aunado a la alta manipulación mecánica que provoca granos quebrados, éstos tipos de deterioro favorecen la difusión de la solución alcalina durante el cocimiento y el reposo, en consecuencia aumenta el sobre calentamiento en la parte interna, que puede estar produciendo gelatinización del almidón en el endospermo y genera una masa pegajosa (Rooney y Almeida-Dominguez., 1995).

b) Relación entre proteína y dureza

Los aumentos en el porcentaje de proteínas de los granos, por lo general, se asocian con aumentos en la calidad de los mismos. Las principales proteínas de reserva que posee el grano de maíz son las zeínas. Estas presentan cuatro tipos estructurales distintos: alfa, beta, delta y gama. Se agrupan en estructuras llamadas "cuerpos proteicos", en los cuales se destacan por su abundancia las alfa y las gama zeínas. Los diferentes tipos se pueden agrupar en dos fracciones proteicas: zeína 1 y zeína 2.

La mayor deposición en los endospermos vítreos, sugieren que esta proteína participa en la determinación de la dureza del grano. La dureza es determinada por el ligamento entre el almidón y las proteínas del endospermo. En la fracción córnea del endospermo, el almidón y la proteína se encuentran muy fuertemente ligados, mientras que en la fracción harinosa sólo están débilmente ligados (Rooney y Almeida-Dominguez., 1995).

c) Relación endospermo córneo: harinoso

La relación del endospermo vitrio-harinoso determina la velocidad del transporte de materiales, como agua y calcio durante la etapa de cocción y reposo. Granos suaves, es decir con menor porcentaje de endospermo córneo, se hidratan rápidamente, requiriendo

cortos tiempos de cocimiento, pero son muy susceptibles al sobrecocimiento. Granos con dureza intermedia y alta, son adecuados para la nixtamalización, porque reducen cierto abuso o falta de control, durante el proceso de producción de masa y tortillas con calidad, predominantemente para producir harinas, se requieren granos con mayor % de endospermo córneo (Rojas-Molina *et al.*, 2008).

a) El color del pericarpio

El color del pericarpio, se desea sea amarillo o blanco, deberá ser brillante y transparente. Sin embargo, existen muchos colores, como se muestra en la figura 3, estos maíces no se destinan para la elaboración de harina.



Figura 3. Diferentes coloraciones del pericarpio de maíz

Suelen aparecer en el pericarpio manchas indeseables negras, cafés, rojas o amarillas ocasionadas por las condiciones climáticas o el ataque por hongos, pájaros o insectos, en consecuencia oscurecen también a los productos.

Estas coloraciones, son manifestadas más notablemente en el producto cuando el maíz se procesa a altos niveles de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ durante el cocimiento y mínimos lavados. En estas condiciones, los pigmentos permanecen en el producto y se oscurecen a pH alto. Las coloraciones del pericarpio, producen colores indeseables en las harinas, por lo que se sugiere eliminar casi todo el pericarpio durante el proceso (Serna-Saldívar *et al.*, 1993).

a) Facilidad de remoción del pericarpio durante el cocimiento

La facilidad con que el pericarpio se elimina durante la nixtamalización afecta la permeabilidad del grano a la solución alcalina de cocimiento (grado de hidratación y cocimiento), además la textura y el color de los productos. Cuando el pericarpio se hidrata, se suavizan sus tejidos y se remueve fácil y rápidamente durante el cocimiento, la difusión del agua es a mayor velocidad. Por otro lado, la retención total del pericarpio en el maíz retiene el intercambio de calcio y agua y su permanencia en el cereal, puede resultar con beneficios a los productos intermedios como las masas, debido a que le proporcionan mayor cohesividad (en ocasiones es muy deseable, según el producto), debido a que el pericarpio tiene un contenido considerable de gomas naturales, también genera mayor oscurecimiento, lo cual es indeseable, debido a la presencia de los pigmentos y calcio atrapado en las gomas, que tienden a aumentar el pH (Serna-Saldívar *et al.*, 1993).

b) Tamaño del grano de maíz

El tamaño del grano de maíz, se relaciona con la superficie total disponible para el intercambio de calor. Los granos grandes, requieren más calor para cocerse, que los granos pequeños, debido a que tienen menor superficie total, pero la cantidad de calcio fijada durante la nixtamalización, es mayor en granos pequeños. Para tener un equilibrio con los requerimientos de calor y la fijación de calcio, son deseables granos de tamaños intermedios-grandes, porque aunque fijan menor calcio, resisten cierto grado de sobreprocesamiento (Serna-Saldívar *et al.*, 1993).

c) Contenido de granos dañados, fracturados y quebrados

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, es muy importante y es fundamental para los productos terminados como tortillas, tostadas o harinas.

Las mezclas de los granos enteros con quebrados, duros con suaves, manchados con limpios, híbridos con criollos, complican la toma de decisión en cuanto a las condiciones específicas de procesamiento a aplicar. El establecimiento de rangos máximos de variabilidad en las características del grano, puede ser útil en la optimización del proceso,

aunque muy probablemente incurrirá en un aumento en el costo de maíz. Sin embargo, debido a las diferencias naturales que existen entre los granos de una misma mazorca y a las condiciones ambientales fuera de control humano, siempre existirán variaciones en las características de los granos de maíz (Serna-Saldívar *et al.*, 1993).

d) Contenido de materia extraña, olotes, espigas

Es necesario eliminar del grano la basura y los productos extraños, el % de materia extraña varía, no con el grano, sino con los productores y recolectores, así que es responsabilidad de ellos minimizar el contenido de estos materiales, mediante el cribado de los granos, para aumentar la calidad del grano, en las grandes industrias este paso se efectúa de manera mecánica, por esa razón algunos productos logran pasar por las cribas seleccionadoras de maíz. (Serna-Saldívar *et al.*, 1993).

e) Variaciones debidas al genotipo

El mejoramiento genético en maíz ha sido exitoso en modificar la dureza del endospermo y los porcentajes de aceite, proteína y almidón del grano, así como la calidad de su proteína y el tipo de su almidón.

f) Incidencia del ambiente y del manejo de cultivo

Varios son los aspectos que modifican el ambiente y el manejo de los granos durante su cultivo y recolección:

- Daños físicos o mecánicos: La calidad del grano de maíz puede afectarse tanto en el cultivo a campo, como en la cosecha y poscosecha. Los daños físicos o mecánicos pueden ser externos y/o internos. Los daños externos consisten en cortes y abrasiones del pericarpio del grano, mientras que los daños internos se manifiestan en forma de fisuras en el endospermo córneo.
- Daños biológicos: Son responsables del daño, calentamiento y ardido de los granos de maíz durante el almacenamiento, varias especies de hongos de los géneros *Penicillium* y *Aspergillus*. Los hongos que atacan al grano de maíz en el campo requieren alto contenido de humedad en el grano y raramente sobreviven en el

almacenamiento. Los hongos responsables de tales ataques corresponden generalmente a los géneros *Fusarium* y *Giberella*.

Porcentajes de proteínas en el grano: Las variaciones climáticas y las condiciones de cultivo determinan modificaciones en el porcentaje de proteínas del grano. Varios autores encontraron que una buena nutrición nitrogenada en maíz aumenta la densidad del grano, reduciendo la susceptibilidad al quebrado. Ello se produce como consecuencia del mayor contenido de proteína, especialmente de zeína presente en el endospermo córneo (Rojas-Molina *et al.*, 2008).

1.5 Propiedades físicas del maíz

1.5.1 Dureza

La dureza del grano es la resistencia que posee a la acción mecánica o al quebrado durante la cosecha o postcosecha. Esa resistencia, que determina la calidad que posee el grano para su uso y conservación, se relaciona en forma directa con la dureza del endospermo, que a su vez, se debe a la relación entre los endospermos corneo y harinoso, y en menor medida, a la compactación de los componentes celulares, al grosor de la matriz proteica que rodea a los gránulos de almidón, y al grosor del pericarpio. Tanto mayor será la dureza del grano, cuanto mayor sea la proporción de endospermo córneo que lo componga (Martínez y Guiragossian., 1989).

La dureza del maíz es una propiedad intrínseca que es heredable, pero que también puede modificarse por las condiciones de manejo después de la cosecha, Esta se ve disminuida por las condiciones de secado artificial del grano, ya que esto le produce fisuras internas, que favorecen la susceptibilidad al rompimiento del grano, en cambio el secado lento en el mismo campo, no produce estas grietas. La dureza resulta difícil de medir debido a la complejidad de la estructura del maíz, también se relaciona con el espesor de la pared celular dentro del endospermo, la compactación de los componentes celulares también influye (Martínez y Guiragossian, 1989).

Hoy en día, existen muchos métodos indirectos para medir la dureza del grano, entre los que destacan, el índice de perlado, el índice de flotación, el peso hectolítrico, la densidad, la textura del endospermo, la reflectancia en el infrarrojo cercano, el micro-durómetro

automático Brabender (Bedolla y Rooney, 1984; Pomeranz y Lai, 1986; Serna-Saldívar *et al.*, 1988)

1.5.2 Forma y tamaño

Comparado con otros granos de cereales, el maíz dentado presenta el tamaño de grano más grande y la menor densidad específica. 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.

La variedad y el medio ambiente producen variaciones en el tamaño y la forma del grano como muestra la figura 4, donde se puede apreciar diferencias significativas según la variedad del maíz.



Figura 4. Tamaños y formas del grano de maíz

En la figura 4 se aprecian diferentes variedades de maíz y es posible distinguir diferentes tamaños. El tamaño del grano tiene especial importancia, si se utiliza para el proceso de nixtamalización, para elaborar tortillas bajo el proceso tradicional o bajo el proceso industrial (Watson y Ramsted, 1987).

Los granos al final de la cabeza de la mazorca son largos y redondeados y aquellos al final de la punta son pequeños y redondos, los de en medio generalmente son aplanados

debido a la presión de los granos adyacentes durante el crecimiento. Un peso promedio del grano dentado es de 250-350mg con un intervalo de 100-60mg. Las medidas promedio en el centro de la mazorca son: 4mm de espesor, 8mm de ancho y 12mm de largo. Otro aspecto que también se considera es la variedad a la que corresponde, hay variedades que tienen tamaños muy grandes. Sin embargo, resultan entrar dentro de los parámetros de calidad que se requieren para la industria harinera o bien para la molinero- tortillera.

1.5.3 Color

Los granos de maíz, pueden diferir significativamente en el color, como se presenta un ejemplo de rojo en la figura 5, desde el blanco al amarillo, naranja, rojo, morado y café.



Figura 5. Granos de maíz de diferente color

Las diferencias en el color, pueden ser debidas a diferencias genéticas en el pericarpio, aleurona, germen y endospermo (Watson y Ramsted, 1987). Cada una de estas fracciones presenta diferente coloración, desde el incoloro hasta el café. El pericarpio y la capa de aleurona son incoloros, para que el color del endospermo se vea (Watson y Ramsted, 1987).

Los granos de colores rojos, morados o amarillos, son variedades que no califican para la elaboración de harinas, la norma especifica que las harinas deben ser blancas. En México

las harinas también son blancas. En la última década la industria ha comenzado a realizar fortificaciones con polvos de nopal y con otras sustancias, lo que ha dado como resultado que algunas harineras presenten harinas de algunos colores.

1.5.4 Vitreosidad

La calidad vítrea, es una característica física del aspecto del endospermo de maíz. Se ha asociado generalmente con la dureza y ésta con un alto contenido de proteína. Algunos granos son vítreos o de aspecto translúcido, mientras que otros son opacos o harinosos, la opacidad le da características de blancura a un grano y a su vez es asociada con la escasez de proteína. La calidad vítrea y la dureza son producto de diferente causa, es decir, existen granos duros, que son opacos y granos blandos que son vítreos, granos con mayor % de endospermo vítreo son duros (Hoseney, 1991).

La cualidad vitreosa de un grano es generada por la falta de cavidades aéreas, donde se difracta la luz en la interface aire-grano, pero luego viaja a través del grano sin sufrir difracción una y otra vez, el resultado es un grano translúcido o vítreo, en cambio la presencia de espacios aéreos dentro del grano, es motivo de opacidad y de menor densidad. Se cree que estos espacios huecos se forman durante la desecación del grano, al ir perdiendo agua. Después de ser cosechado el grano, la proteína se encoge y se rompe dejando espacios con aire. En los granos vítreos la proteína también encoge pero queda incólume, provocando mayor densidad en el grano. Se ha comprobado que si el grano se recolecta sin madurar y luego se deseca por liofilización, entonces serán granos completamente opacos (Hoseney, 1991).

1.5.5 Textura

Es un atributo relacionado con la proporción relativa de endospermo suave: córneo, ésta 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, además se ha correlacionado también en forma positiva con el valor de densidad

verdadera y con la densidad volumétrica y en forma negativa con los valores del índice de flotación. Existen muchos métodos para evaluar la textura, pero son imprecisos y tediosos, por esa razón, normalmente se realiza en forma subjetiva, mediante observación de los granos con luz transmitida y calificándola sobre una escala de 1 a 5 (Rooney y Almeida-Domínguez, 1995).

1.5.6 Densidad volumétrica

La densidad verdadera, el volumen de vacío, tamaño y forma, son propiedades físicas del grano, muy importantes para el diseño de equipo, almacenamiento y transporte del grano de maíz. Esta densidad volumétrica o peso de prueba, es una medición útil debido a la combinación de densidades de los granos y a la manera cómo se empacan en un contenedor. La densidad volumétrica representa el peso del grano dentro de un contenedor con capacidad de un litro (67.2 pulgadas cúbicas en la de peso bushel), y el peso registrado se expresa en kg/HL (o libras bushel). Es deseable tener maíces con una densidad volumétrica de 77.2 kg/HL (60lb/bu). Granos con menores densidades volumétricas, frecuentemente tienen un menor porcentaje de endospermo duro, mayores pesos de prueba indican mayor porcentaje de endospermo duro (Serna-Salivar *et al.*, 1993).

El tamaño, forma, suavidad y humedad del endospermo total del grano afectan la densidad volumétrica del grano de maíz, la cual se expresa en libras bushel (ó kg/HL) y se obtiene pesando un volumen específico del grano de maíz (Serna-Salivar *et al.*, 1993).

1.5.7 Densidad verdadera

La densidad es una propiedad física estrechamente relacionada con la dureza y la textura del maíz. Los maíces más duros, presentan mayores densidades, porque el endospermo córneo se encuentra mas apretado y con menores espacios de aire.

La densidad verdadera del grano, se ha medido por métodos de desplazamiento, utilizando alcohol, aire, helio o gas nitrógeno. Se determina el volumen de un peso medio de maíz y su densidad se expresa en g/cm. La densidad del maíz se encuentra entre 1.18- 1.4 g/cm³,

expresada como densidad verdadera. La densidad promedio de un maíz dentado con 12 % de humedad es de 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 (Serna-Saldívar *et al.*, 1993).

1.5.8 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 por ejemplo avena 50%, trigo 40%.

El volumen de vacío influye en la velocidad de paso del aire o de fumigantes a través del grano colocado en un recipiente (Watson y Ramstad, 1987)

1.6 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MAÍZ

Es importante conocer la composición química de los granos de maíz, la cual, se representa en el cuadro 1 se reporta la composición en base seca del grano entero y de sus componentes de las diferentes estructuras que lo forman.

Cuadro 1. Composición química de las partes del maíz (g/100g base seca)

Partes del grano	En peso%	Almidón %	Proteína %	Grasa %	Azúcares %	Cenizas %	FCH* %
Grano entero	100	72	10	5	2	1.7	9
Endospermo	83	87	9	1	0.5	0.2	2
Germen	12	8	20	34	12	10	14
Pericarpio	5	7	4	1	0.5	0.3	84

Valores promedio aproximado *FCH: Fibra Cruda más hemicelulosas

Fuente: Klaus y Karel, (1991).

El endospermo es la parte estructural que cuenta con mayor porcentaje de almidón, el germen es el que cuenta con mayores % de proteína, grasa, azúcares, minerales y es donde se va a generar el nuevo grano. El pericarpio es la estructura más rica en fibra que

incluye celulosa y hemicelulosa. Estos resultados fueron obtenidos de un promedio de más de cuatrocientas variedades de maíces (Watson y Ramsted, 1987; Matz, 1991).

➤ **Carbohidratos**

El principal carbohidrato del maíz es el almidón, ya que contiene aproximadamente el 72% en base seca. La mayoría del almidón se encuentra localizado en el endospermo y juega un importante papel durante el proceso de nixtamalización. Los azúcares importantes son principalmente: sacarosa, glucosa y fructosa, en cantidades del 1-3%. El principal es la glucosa y la mayor parte se halla concentrada en el germen.

El almidón que se encuentra dentro del maíz está formado por gránulos redondos del endospermo harinoso y gránulos polihédricos del endospermo corneo. Los gránulos de almidón, están compuestos por dos polímeros: la amilosa y la amilopectina. La amilosa que se encuentra entre un 25-30% del almidón, es una molécula lineal de glucosa unida con enlaces α (1-4). La amilopectina, representa un 57-70% del almidón, es una molécula ramificada con enlaces alfa (1-6) en los puntos de ramificación y α (1-4) en la cadena lineal (Watson y Ramsted, 1987; Matz, 1991).

➤ **Azúcares libres**

Contiene alrededor del 1 al 3% en peso de azúcares libres. El azúcar más abundante es la sacarosa, seguido por la rafinosa. El grano de maíz contiene 60-65 g de sacarosa y de 8-10 g de rafinosa en 100 g de azúcares totales.

➤ **Fibra Cruda**

Diferentes Polisacáridos juegan un papel importante en la estructura del grano del maíz. Estos pueden ser clasificados como sustancias pècticas, hemicelulosas y celulosas. Desde el punto de vista de ingestión humana, los componentes de la pared celular más importante son el pericarpio y el pedicelo, los cuales son fuentes importantes de fibra. Sin embargo, la mayoría son eliminados durante el proceso de nixtamalización.

➤ **Compuestos nitrogenados o proteínas**

El maíz contiene cuatro tipos de proteínas: albùminas, globulinas, glutelinas y prolaminas. La proteína dominante es la zeína, que es una prolamina. La mayoría de las proteínas se

encuentran en el endospermo. El maíz es un cereal de calidad proteica pobre, debido a que generalmente es deficiente en los aminoácidos esenciales lisina, triptófano y metionina (Solano, 2001). Si el contenido de proteína se llegara a incrementar, la cantidad de endospermo corneo se incrementaría (Watson y Ramsted, 1987).

➤ **Lípidos**

El contenido de lípidos varía de acuerdo a la cantidad del germen presente en el grano y a su contenido de aceite. Los lípidos se encuentran principalmente como triglicéridos de ácidos grasos, además de fosfolípidos, esteroides, tocoferoles y carotenoides. La riqueza en aceite de maíz varía mucho, son variables tanto la proporción del germen en el grano, como la proporción de aceite en el germen y las dos variables parecen estar controladas genéticamente. Los pigmentos de maíz están asociados con la proteína del endospermo corneo (Watson y Ramsted, 1987).

➤ **Vitaminas**

El maíz contiene dos principales vitaminas que son liposoluble, vitamina A (β -caroteno) y la vitamina E. La mayoría de las vitaminas (niacina, riboflavina y tiamina) encontradas en el maíz son hidrosolubles. El contenido de β -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.

➤ **Minerales**

El compuesto más abundante es el fósforo, 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 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 reacciones que ocurren en animales (Watson *et al.*, 1987). La mayoría de los minerales están asociados con el pericarpio, mientras que el endospermo presenta bajas cantidades de minerales, sin embargo, la mayor parte de los minerales se encuentran concentrados en el germen.

1.7 Parámetros de establecimiento de cocción de los granos

Los principales criterios para seleccionar el maíz con destino en la elaboración de harinas de maíz nixtamalizado, fueron obtenidos de la norma oficial mexicana NMX-FF-034/ 1-SCFI-2002. Algunos otros que se seleccionaron, fueron obtenidos por varios autores, que han dedicado su investigación al desarrollo de maíces híbridos y criollos, y que posteriormente han estudiado los efectos de la nixtamalización, sobre las variedades que producen las características se muestran en el cuadro 2.

Cuadro 2. Parámetros de evaluación de maíz para producir harinas

Parámetro de Evaluación	Intervalo establecido	Método establecido
Densidad volumétrica	77.2 kg/hl	NMX-FF-034/ 1-SCFI-2002
Peso de 1000 granos	240- 370 g	Serna-Saldivar <i>et al.</i> , 1993
Densidad verdadera	$\geq 1.3 \text{ g/cm}^3$	NMX-FF-034/ 1-SCFI-2002
% de humedad del maíz	12-15 %	NMX-FF-034/ 1-SCFI-2002
Espesor de pericarpio	$< 100\mu$	Gutiérrez <i>et al.</i> , 2007
Dureza del grano	13-15 Kg _f	Martínez-Bustos <i>et al.</i> ,1999
Relación endospermo vítreo-harinoso	$\geq 2:1$	Rojas-Molina <i>et al.</i> , 2008
* Calcio fijado en pericarpio (al termino de la cocción)	2.24- 2.26 %	Gutiérrez <i>et al.</i> , 2007
Dimensiones de los granos (promedio)	\geq Largo:7.20 mm \geq Ancho:7.0 mm \geq Espesor: 6.5mm	NMX-FF-034/ 1-SCFI-2002
% de estructuras del grano de maíz nativo	Cofia: $< 2\%$ Pericarpio: $< 5 \%$ Germen: $< 12\%$ Endospermo: $\geq 78 \%$	NMX-FF-034/ 1-SCFI-2002
*Pericarpio removido	Criterio cualitativo	Serna-Saldivar <i>et al.</i> , 1993
*Humedad (al termino de la cocción)	34-36%	Serna-Saldivar <i>et al.</i> , 1993
*pH de la muestra (al termino de la cocción)	7.5- 7.9	Gutiérrez <i>et al.</i> , 2007
*Humedad (al termino del reposo)	36-42%	Salinas <i>et al.</i> , 2003
Harina	42%	NMX-FF-034/ 1-SCFI-2002

* Parámetros tomados directamente de la etapa de cocción durante la nixtamalización

La mayor parte de los parámetros mostrados, son considerados indirectos. Los parámetros que se han tomado directamente al término de la etapa de cocción son: La concentración de calcio fijado en el pericarpio, la humedad de la muestra, el pH de la muestra, el

pericarpio removido, criterios que algunos investigadores consideraron fundamentales para establecer la etapa crítica de cocción (Gutiérrez *et al.*, 2007; Serna- Saldívar *et al.*, 2008). La industria de las harinas nixtamalizadas, es la que mayor exigencia de calidad impone al adquirir el maíz para su proceso, el molinero también considera parámetros de calidad, sin embargo, hasta ahora estos han sido poco considerados y ponderados por este gremio, que a pesar de ser numeroso, se encuentra poco organizado y está monopolizado. Evidentemente, es poco considerado para normar el proceso y para el establecimiento de normas en nuestro país.

1.8 Proceso de Nixtamalización

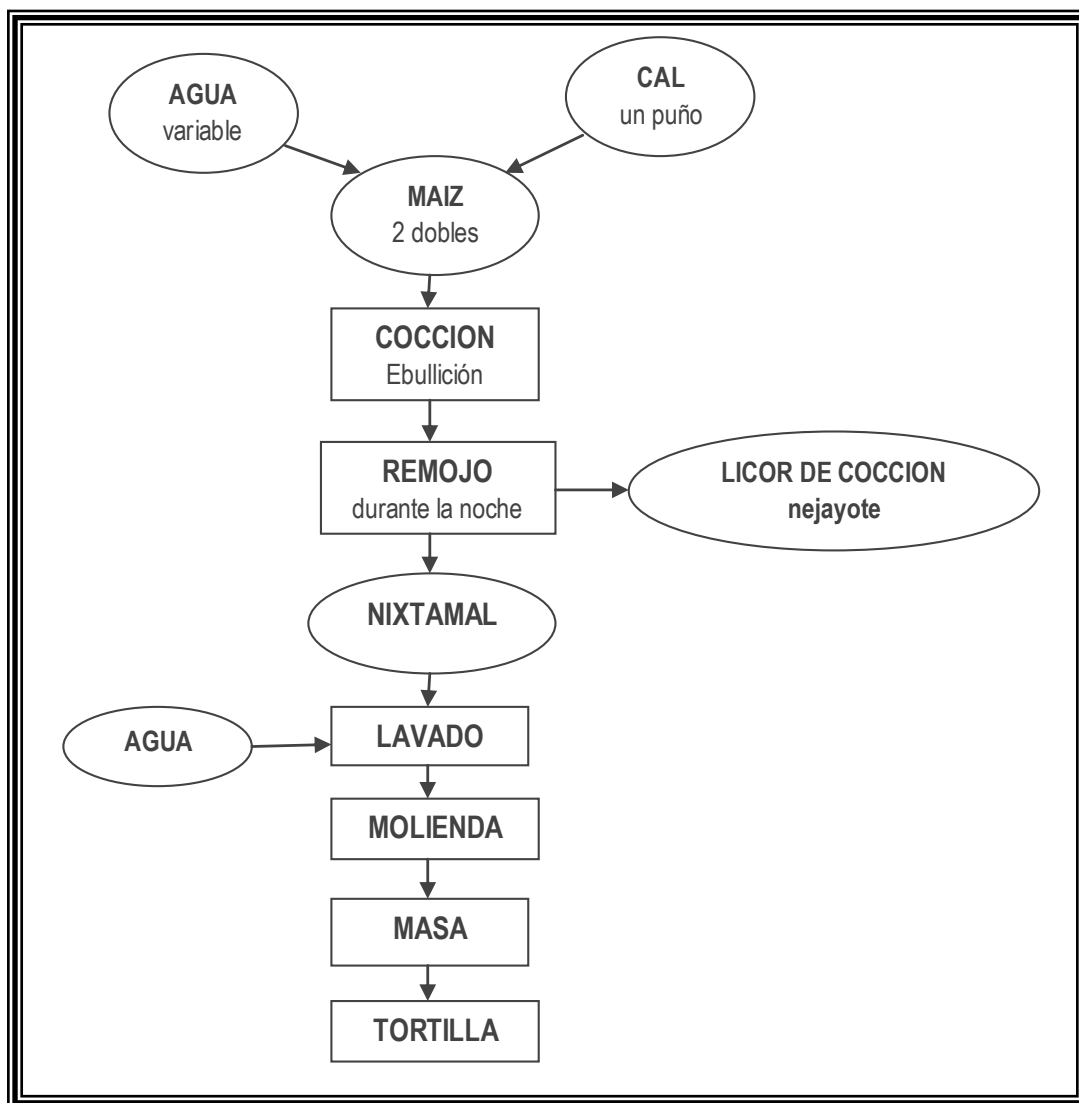
La nixtamalización se ha empleado desde tiempos remotos para preparar la tortilla, uno de los alimentos mas importantes para la población de la mesa americana (Reyes, 1990)

La nixtamalización del maíz, permitió que los granos fueran mas fácilmente digeribles, en dicho proceso el pericarpio que los cubre se desprende y se logra mas fácil el cocimiento al remojar en agua con cal y hervirse.

Entre sociedades sedentarias, con la nixtamalización se logró, de manera rápida y eficiente, suavizar los granos para su molienda y elaborar la masa, aprovechándolos después, por periodos relativamente prolongados de almacenamiento, a lo largo del año posterior a las temporadas de cosechas. Así mismo, el uso de cal en el proceso, hizo más digestibles los aminoácidos del maíz y se incrementó casi en siete veces el calcio, aumentando el nivel nutricional de la gramínea, así como la cantidad de calorías y carbohidratos que proporciona. Por ejemplo, la niacina que se encuentra presente en altas concentraciones en forma longada. El tratamiento alcalino del maíz para la producción de tortilla incrementa notablemente la cantidad de niacina disponible, ya que la cocción con cal rompe el enlace glucosídico que une a la niacina con el compuesto ligante de la proteína (Watson y Ramsted, 1987)

La nixtamalización artesanal, es un proceso empleado para cocer el grano de maíz y obtener una masa con ciertas propiedades funcionales. Principalmente se realiza en México y América central para elaborar tortillas y otros alimentos. Consiste en someter el grano de maíz a una serie de tratamientos drásticos, poco comunes en la industria

alimentaría para cualquier tipo de alimento. Este proceso fue descrito por primera vez tal y como se realiza por los mexicanos Illescas (1943). El método tradicional-artesanal de procesamiento de grano de maíz en la tortilla, utilizado en México y establecido por Cravioto (1945), se describe en la figura 6.



Fuente: Cravioto (1945).

Figura 6. Diagrama tecnológico de nixtamalización tradicional

El método consiste en colocar en un recipiente un puño de cal (aprox. 150g) para dos cuartillos de maíz (5 kg) y agua (cantidad variable de acuerdo a las costumbres del lugar y tradiciones familiares). El maíz se lleva a cocimiento a temperaturas altas hasta que hierva, así se mantiene durante algunos minutos, después se suspende el calentamiento y se le agrega agua fría. Posteriormente, se deja remojar a temperatura ambiente durante toda la

noche en su mismo licor de cocción. Al día siguiente se drena el nejayote o solución alcalina y se lava el maíz dos veces. El nixtamal lavado se muele en un metate y después en un molino manual de tornillo sinfín. Durante la molienda el nixtamal se tritura hasta formar partículas finas y gruesas. El granulado obtenido, se hidrata y forma una masa plástica, que es la base para la manufactura de tortillas y de otros productos nixtamalizados. Es notorio que el proceso de Cravioto carecía de condiciones de proceso, pero en ese tiempo era el único diagrama que se planteó (Salinas, 2003).

En este trabajo se pretendía utilizar la nixtamalización tradicional para procesar las muestras, sin embargo, carece de parámetros cualitativos reproducibles y repetibles, por esa razón no se utilizó.

1.9 Proceso tecnológico de elaboración de harinas

El maíz se consume en muchas formas distintas, desde la sémola como pan de maíz, para rosetas y productos como los copos de maíz, totopos, tostadas, tamales, entre otros productos (Rooney y Almeida-Dominguez, 1995).

Desde hace siglos, el maíz ha sido utilizado directamente como alimento humano en América Latina. Prácticamente, en todas las versiones, se forma primeramente con el maíz una masa. El método tradicional, todavía se practica en zonas de Latinoamérica principalmente en México (Hoseney, 1991).

De acuerdo con información de Grupo Industrial Maseca (Gruma), el destino principal del grano, tanto para consumo final como intermedio, es la elaboración de tortillas de forma doméstica e Industrial (Reyes, 1990). Los mexicanos consumimos 325 gramos de tortilla. En algunas áreas rurales de México y América Central, el consumo de tortillas de maíz provee alrededor de 70% de las calorías y la mitad de las proteínas en la dieta diaria (Paredes-López y Saharopulos, 1983). Desde que se liberó el precio de este producto, ha crecido el número de tortillerías. La tortilla de maíz es uno de los alimentos básicos de México, y si bien gran parte se obtiene de la producción para autoconsumo, la elaboración de tortillas a partir de harinas industrializadas es cuantitativamente importante y su utilización tiende a aumentar (Girald, 1994).

La harina refinada y la harina integral de maíz, pueden ser consideradas como vehículos en los programas de fortificación, puesto que son alimentos básicos en muchas partes del mundo, fáciles de transportar, de distribuir y conservar.

La harina de maíz nixtamalizada, es el producto que se obtiene de la molienda de los granos de maíz, sano y limpios; previamente nixtamalizados y deshidratados.

La harina de maíz nixtamalizada, es reconstituida con agua produciendo masa y es procesada en forma de tortillas; también se puede extrudir para producir botanas.

La importancia de poder manejar la masa para su posterior venta y reparto en las zonas donde es comercializada, para que a partir de ellas se elaboren los diferentes productos que se obtienen normalmente de ésta, y dada la gran demanda de estos productos en regiones diferentes a donde se produce la masa nixtamalizada de maíz, se ha implementado un proceso industrial que permite la utilización de dicho material en zonas alejadas de los centros de producción y utilizarlas en tiempos posteriores a su elaboración. En México las harinas instantáneas han adquirido popularidad entre la población urbana, debido a que eliminan las labores intensivas y tediosas del proceso tradicional; hoy en día presenta muchas ventajas debido al ritmo acelerado de vida, ya que reduce considerablemente el tiempo de elaboración de las tortillas a solo 20 minutos, ahorro de espacio, tiempo de proceso, mejor manejo de almacenamiento y vida de anaquel (Bedolla y Rooney, 1984).

Desde que se incorporó el tratamiento artesanal a las filas de un macro proceso, su ingeniería sigue siendo la misma, sin haber cambios significativos que hayan hecho uso de los conocimientos científicos. Pensando con optimismo, se puede decir que el proceso está en desarrollo, encontrándonos en una etapa de acumulación cuantitativa de resultados científicos que en un futuro darán lugar a cambios en la tecnología, porque aún existe un conjunto de aspectos que requieren investigación y entendimiento para su aplicación en los productos elaborados a partir de maíz, que hoy en día han desbordado las fronteras de México con una amplia perspectiva y un rápido crecimiento en la comunidad Europea y en Estados Unidos (González *et al.*, 2004).

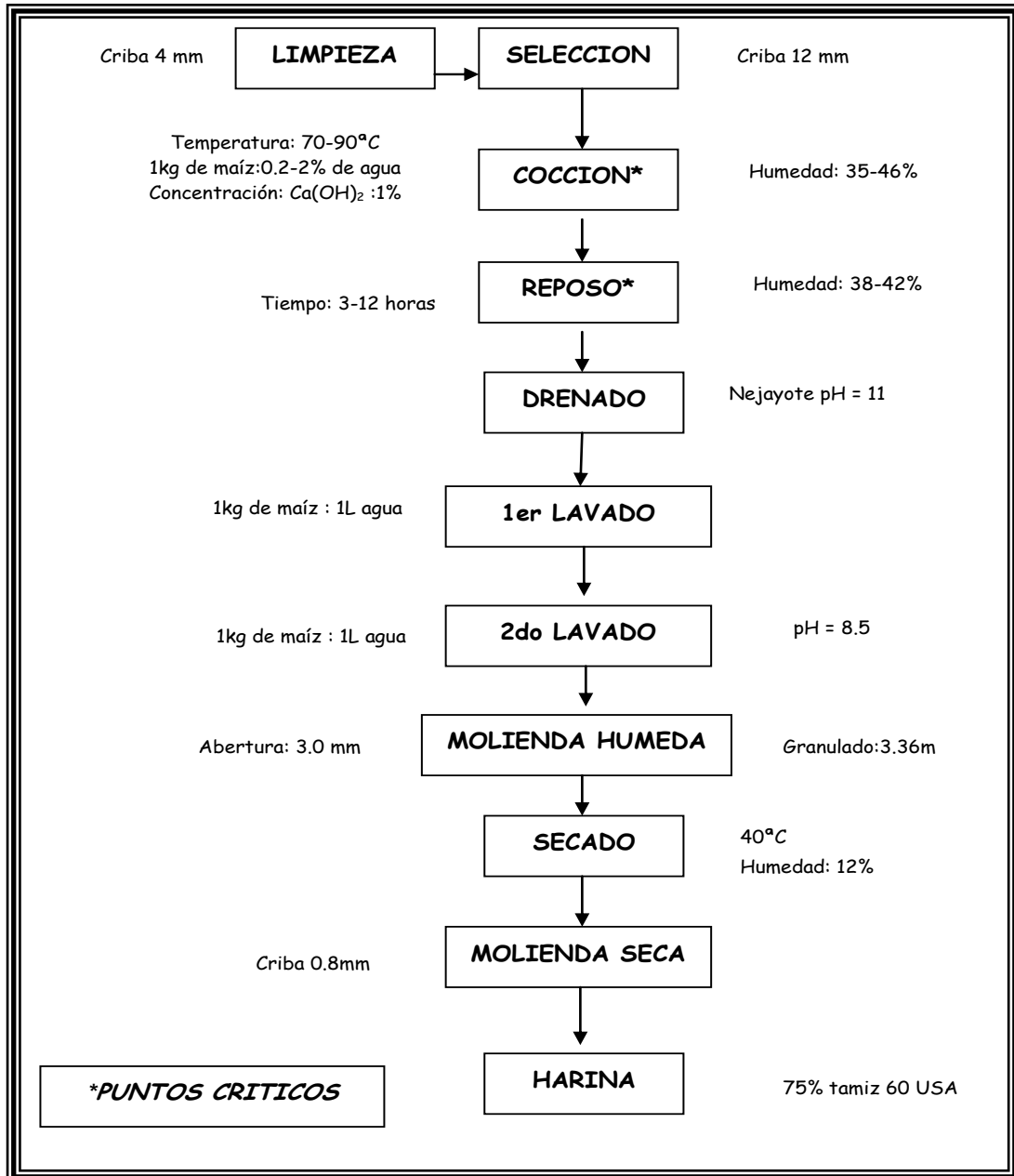
Las plantas industriales que producen harina de maíz nixtamalizada, utilizan tecnología mecanizada del proceso, emplean básicamente los mismos pasos que se siguen en el

proceso tradicional, sólo que en este proceso industrial la masa se somete a etapas adicionales como la etapa de secado y molienda.

En condiciones de almacenamiento adecuadas, la harina nixtamalizada presenta una vida de anaquel que varía de 6 a 8 meses, (Gómez *et al.*, 1989). El incremento de costos, carencia de olor y textura son las principales desventajas de productos preparados con masa deshidratada. Las tortillas preparadas con harina instantánea son frágiles y se deshidratan rápidamente, quebrándose en la parte central debido a que sus moléculas no realizan la interacción necesaria (Gómez *et al.*, 1989). Cantidades significativas de energía son usadas para secar la masa, aunque la eficiencia de energía en el proceso es buena, los costos más bajos de línea para deshidratación de la masa son altos por unidad de producto, en relación a masa fresca preparada directamente a partir de maíz. La demanda bioquímica de oxígeno en el tratamiento, su alto nivel de sólidos solubles y el gran volumen de nejayote de desecho, es uno de los mayores problemas que enfrenta la industria de la tortilla. También, la tortilla y la masa presentan menor vida de anaquel en relación a las preparadas por el proceso convencional. La rehidratación de la harina instantánea, presenta menor plasticidad y cohesividad que la masa fresca (Gómez *et al.*, 1989).

Diversas investigaciones relacionadas con aspectos fisicoquímicos y nutricionales de la tortilla se iniciaron en 1953, con la finalidad de hacer más eficiente el proceso tradicional de nixtamalización. Estas investigaciones, consideraron básicamente aspectos de relación agua: maíz, concentración de cal, temperatura y tiempo de cocimiento, reposo del grano cocido y molienda, sin modificar las características básicas del proceso de nixtamalización (Vaquero y Reyes, 1986). Posteriormente, en la década de los 70's, se realizaron varias investigaciones con la finalidad de reducir tiempos de procesamiento, mediante el cocimiento con vapor de agua, reduciendo los tiempos de cocimiento y la eliminación de la etapa de reposo. No obstante, la calidad de la masa y la tortilla no fue satisfactoria (Katz *et al.*, 1974).

El proceso de elaboración de harinas que se lleva a cabo en México, generalmente se realiza siguiendo el diagrama de proceso de Serna-Saldívar *et al.*, (1988) que se muestra en la figura 7.



Fuente: Serna-Saldivar et al., (1988)

Figura 7. Diagrama tecnológico de elaboración de harinas de maíz nixtamalizado

La producción de harinas de masas precocidas o instantáneas, se elaboran usando diversos métodos, basados en el cocimiento alcalino tradicional. La masa seca y cribada es reformulada en harinas, con un cuidadoso control de la distribución del tamaño de partícula, para reunir los diferentes requerimientos del producto.

1.9.1 Descripción del diagrama tecnológico de elaboración de harinas de maíz

Limpieza: Durante esta etapa el grano se hace pasar por una criba móvil de 4.0 mm para eliminar basura y productos extraños, polvo, etcétera.

Selección: se realiza en una criba de 8.0 mm para seleccionar granos de tamaños homogéneos, se eliminan granos picados, rotos y dañados por plagas.

Cocción: Los granos de maíz se exponen a un tratamiento térmico-alcalino, con temperaturas superiores a 70 °C (en algunos lugares hasta temperatura de ebullición). Las características químicas de la solución alcalina, durante la cocción, deben ser tales que la concentración de cal siempre exceda el punto de saturación de hidróxido de calcio. Las concentraciones empleadas durante el proceso están dentro del rango de 0.5 a 2.0% con un pH inicial de 12.4. El grano de maíz se considera cocido cuando el pericarpio se desprende con facilidad del grano frotándolo con los dedos, se suspende el calentamiento y concluye la etapa de cocción. El pH residual del licor de cocción (nejayote) debe ser aproximadamente de 11. Existen dos formas de realizar la cocción: puede iniciar desde temperatura ambiente, en ese momento se le agrega el álcali, el maíz y el agua, o bien puede iniciar el calentamiento de agua a temperatura ambiente y agregarse el maíz y el hidróxido de calcio, una vez que alcanza la temperatura establecida previamente para cocer el grano de maíz. Esto se define con dependencia con las costumbres del lugar o de la familia que proceda el grano. Durante la etapa de cocimiento el maíz se mezcla, para homogenizar el licor de cocción y los sólidos que tienden a sedimentarse, durante un periodo de 20 segundos cada 10 minutos (Trejo-González *et al.*, 1982).

El cocedor del maíz en la industria se alimenta en forma continua con maíz limpio, proveniente de silos. Al mismo tiempo, una bomba suministra de manera dosificada y constante la cal necesaria en forma de una suspensión acuosa. Luego, en el cocedor se aplica vapor y agua caliente en contracorriente.

Reposo: En esta etapa, ya sin el calentamiento, se deja reposar el grano en su medio de cocción (nejayote), en el mismo reservorio con la solución caliente, por un tiempo que varía de 3-12 horas de acuerdo con la región geográfica o lo que establezca el operario. Aquí ya no se mezcla el nejayote con los granos, la temperatura va descendiendo poco a poco. Al conjunto de granos hidratados y reposados se le conoce como nixtamal. A simple vista se

puede observar que la solución va cambiando su viscosidad y su color, debido a los sólidos que se han desprendido de los granos del maíz. La mayoría de los investigadores coinciden en que en esta etapa se promueven los principales cambios al maíz, porque el agua y los iones de calcio han penetrado al interior del grano y hay una importante pérdida de estructuras como son el endospermo y el germen (Bello *et al.*, 2002; Fernández-Muñoz *et al.*, 2002). La humedad final de los granos de maíz se establece en un rango de 54-56% en base a recomendaciones reportadas (Gómez *et al.*, 1989).

Drenado: Se drena el líquido de cocimiento o nejayote en una criba y el nixtamal es recibido por un transportador helicoidal que lo conduce a una criba lavadora.

Lavado: Generalmente se realizan dos lavados con un volumen de agua que también es muy variable, y va a depender de la localidad y de quien procese. Su función es eliminar el exceso de calcio y disminuir el pH del grano. El agua del último lavado deberá tener un pH aproximado de 8.5 en aguas residuales, de otra manera ocasiona un mal sabor en los productos elaborados. La cantidad de agua utilizada, va desde 2 litros por kilogramo de maíz hasta 4 litros por cada uno de los lavados. Las condiciones de lavado son muy importantes dado que el nixtamal (grano tratado) está más hidratado, dependiendo del tiempo en que ha reposado. Así mismo gran parte del pericarpio se ha degradado. Este echo genera mayor perdida de materia.

Molienda: El nixtamal ya lavado, se lleva a una molienda en un húmedo en un molino de discos de piedras con una distancia de abertura entre ellas de 3 mm, donde una de las piedras es fija y la otra gira para triturar el material, el que por fricción genera energía, aumentando considerablemente la temperatura y produciendo gelatinización de los gránulos de almidón. Se obtiene un granulado que al hidratarse y manipularse produce una masa compuesta de germen, fragmentos de pericarpio, partículas de endospermo aglutinados por una mezcla parecida a un pegamento de gránulos de almidón fundidos, con hoja matriz proteica y lípidos emulsificantes (Gómez *et al.*, 1989).

Secado: El granulado se seca en un horno rotatorio a temperaturas que oscilan entre 40 y 45 °C, hasta llegar a una humedad de 12%.

Molienda: Para obtener harinas instantáneas, el granulado se vuelve a moler en un molino de martillos (pulvex), donde el 60% del material obtenido debe retenerse en un tamiz 70

USA para darle usos en una gran variedad de alimentos y posteriormente se envasa en papel y se almacena.

A pesar de que el maíz, durante el proceso, pierde proteína, fibra, grasa y vitaminas, su calidad nutritiva es mayor que la de la materia prima (Serna-Salívar *et al.*, 1988).

La producción industrial de harinas de maíz nixtamalizada para producir tortillas y productos derivados, en la actualidad es el proceso más importante en la industria del maíz en México. Las diferentes industrias como Minsa, Agroinsa, Maseca y otras han establecido sus procesos de manera muy similar, pero no es sencillo obtener su proceso debido a que son aspectos confidenciales. Además se han generado procesos alternativos como: obtener harinas de maíz con procesos a alta presión, por extrusión, en condiciones saturadas, por nixtamalización fraccionada y por lo que se conocen como tecnologías limpias, la mayoría de esos procesos fueron patentados. Pero, todos esos procesos alternativos han sido solo una falacia, ya que ninguno de ellos se ha aplicado a la industria de producción de harinas, no al menos en las principales industrias que han abastecido en las últimas dos décadas al país. Por lo que el proceso de elaboración de harinas sigue siendo el mismo desde los años cincuenta, con modificaciones poco importantes y trascendentales.

En la figura 8 se presenta el diagrama de proceso de elaboración de harinas de maíz nixtamalizado planta Guadalajara, Jalisco de la industria de Maseca, al cual se tuvo acceso por una visita guiada de uno de los gerentes de producción de la planta. Posteriormente su descripción a grandes rasgos, en función de la explicación y sin forma de obtener notas por parte del trabajador de la empresa Maseca.

1.9.2 Descripción del diagrama de proceso de nixtamalización

Transporte de granos (TO-01): Se realiza en contenedores de acuerdo a la densidad volumétrica de la variedad expresada en libras por bushel o (Kg/HL).

Recepción (RE-01): Recepción temporal para análisis primarios de % de humedad, % de grano dañado, color, materia extraña, acidez, aflatoxinas. Esta etapa ocurre en un almacén de materia prima.

Transporte (TO-02): Se realiza en un elevador de cangilones para llegar a la limpieza.

Pre limpieza (LI-01): Se realiza en un ciclón, para eliminar basura y productos extraños.

Secado (SE-01): Se lleva a cabo en un secador rotatorio con una adecuación de % de humedad 15% en caso de estar pasado de humedad.

Cribado (CI- 01): En una serie de cribas con movimiento se hace una selección de tamaño y se retiran los granos quebrados.

Almacenamiento (MA-01): Se almacenan los granos en silos.

Cocción (CO-01): La cocción se realiza en un cocedor que es un tornillo sin fin enchaquetado, está dividida en 5 pasos a diferentes temperaturas (85, 97, 102, 91, 90 °C), toda la cocción se realiza de 38 a 45 minutos, se adiciona agua, maíz y cal en la primera etapa (etapa de cocimiento).

Lavado (LA-01): Se realiza en una tina o tanque de lavado por inmersión.

Drenado (DA-01): Drenado del nejayote o solución alcalina se realiza en un tanque para retirar el líquido de cocción.

Lavado (LA-02): Lavado en un elevador de cangilones, al ir subiendo se va lavando con agua caliente.

Almacenamiento (MA-02): Se almacena en un tanque sin agua durante 2 horas.

Molienda (MO-01): La molienda gruesa y húmeda se realiza en un molino de martillos.

Secado (SE-02): El secado del granulado se realiza en un Venturi, donde sale el producto a 140 °C.

Refrigerado (RE-01): El refrigerado se realiza en un equipo giratorio: para bajar la temperatura del granulado.

Separación (PE-01): La separación de retirado de pericarpio se realiza en un ciclón por diferencia de pesos para el control de la parte más dura y para realizar moliendas por separado una para el pericarpio y otra para el resto del grano.

Molienda fina (MO-02): La molienda fina se realiza en un molino de martillos estriados para obtener harina de maíz nixtamalizado.

Mezclado (ME-01): El mezclado se lleva a cabo en un mezclador de pantalón, donde se agregan conservadores y vitaminas.

Empaquetado (EM-01): El empaquetado y entarimado se lleva a cabo en un almacén de paso, para darle acomodo y pesado al producto.

Almacén (MA-03): El producto terminado se almacena a temperaturas de 10 °C.

1.10 Características de los granos destinados a la producción de harina

Las características que requieren los granos destinados a la producción de harinas de acuerdo a la norma (NMX-FF-034/1-SCFI-2002 5/18) son:

➤ Olor

El característico al grano de maíz sano, seco y limpio. No se permite el maíz que presente olores de humedad, fermentación, rancidez, enmohecido o cualquier otro olor extraño.

➤ Humedad

La clasificación del maíz puede realizarse con diferentes niveles de humedad. Sin embargo se considera que el contenido de humedad que permite el manejo, conservación y almacenamiento del maíz, es de 14%.

- Densidad (peso hectolitrico)

Para el caso del maíz blanco en la elaboración de tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizados de calidad comercial, se considera que el grano deberá tener una densidad mínima de 74 kh/hL.

- Material genéticamente modificado (productos biotecnológicos)

El uso de maíz genéticamente modificado mediante técnicas de la biotecnología recombinante, estará sujeto a las disposiciones aplicables y a la normatividad, este tipo de maíz no es aceptable para la producción de harinas y tampoco esta permitido. Los maíces híbridos naturales y los criollos se permiten con la salvedad de análisis previos en el almacén primario de la industria.

- Aplicación de agroquímicos

Los granos de maíz destinados a procesos alcalinos para su posterior consumo humano, en ningún caso deberá ser aceptado con evidencias de haber sido tratados para semillas de siembras, ni con aplicaciones de plaguicidas, fungicidas, insecticidas u otros productos químicos que se encuentren fuera de la normatividad sanitaria establecida por conducto de la “Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Toxicas” (CICOPLAFEST); solo se aceptan los productos químicos expresamente autorizados para fines de conservación. El maíz tampoco deberá contener ninguna excreta de roedor u otro animal, ni semillas toxicas que pongan en riesgo la salud humana.

1.11 Especificaciones de calidad que debe cumplir la harina de maíz nixtamalizado (De acuerdo a la Norma NMX-F-046-S-1980)

- **SENSORIALES:**

Color: debe ser blanco amarillento o característico de la variedad de grano empleado.

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

Sabor: Debe ser neutro y característico del producto y no extraño.

Aspecto: El aspecto de la harina de maíz nixtamalizado debe ser granuloso.

➤ FISICAS Y QUIMICAS

La harina de maíz nixtamalizado debe cumplir con las especificaciones físicas y químicas que la Norma Oficial mexicana solicita Norma NMX-F-046-S-1980 y que se muestran en el cuadro 3.

Cuadro 3. Especificaciones que solicita la Norma NMX-F-046-S-1980 para Harinas de maíz nixtamalizado

ESPECIFICACIONES*	MINIMO (%)	MAXIMO (%)
Humedad		12.0
Proteínas	8.0	
Cenizas		1.5
Extracto etéreo	4.0	
Fibra cruda		2.0

*Las especificaciones correspondientes se refieren sobre base seca

Contaminantes químicos: El producto objeto de esta Norma no debe contener residuos de plaguicidas en cantidades que puedan representar un riesgo para la salud. Los límites máximos para estos contaminantes, quedan sujetos a lo que establezca la Secretaría de Salubridad y Asistencia.

Contaminantes metálicos: El producto objeto de esta Norma no debe exceder el límite del contaminante de arsénico 0.3 mg/kg (ppm) máximo

Contaminantes biológicos: El producto objeto de esta norma no debe contener microorganismos patógenos, ni más de 1000 Col/g de hongos, ni biotoxinas fuera de los límites que la Secretaría de Salubridad y Asistencia señala en esta Norma, aflatoxinas 20 mg/kg (0.2mg/kg) (0.02 ppm)

Materia extraña objetable: El producto objeto de esta Norma debe estar libre de fragmentos de insectos, pelos y excretas de roedores, fuera de los límites permitidos por la Secretaría de Salubridad y Asistencia, así como cualquier otra materia extraña.

1.11 Rendimiento de acuerdo a la norma de harinas NMX-F-046-S-1980

Después de la molienda seca, que constituye la segunda molienda del proceso de la elaboración de harinas se procede a efectuar un análisis granulométrico, el cual se realiza con la finalidad de evaluar la molienda y obtener la distribución de tamaños presentes en una muestra. Para realizar el análisis granulométrico se emplean tamices normalizados, es decir numerados, dispuestos en orden decreciente. De los distintos métodos existentes para realizar en análisis quizás el más utilizado sea el tamizado. Para realizarlo se coloca una serie de tamices en cascada, es decir, ordenados de arriba hacia abajo por orden decreciente de abertura de la malla. Posteriormente, se lleva a cabo la determinación en muestras de 100g de harina.

Las especificaciones para el rendimiento de la harina de maíz nixtamalizado según la norma NMX-F-046-S-1980 debe cumplir con un tamaño de partícula tal que el 75% como mínimo pase a través de un tamiz de 60 USA.

El rendimiento de la molienda puede ser evaluado, en base a la fracción que pasa cierto número de malla o que retiene esta. Para eso se pueden utilizar gráficos acumulativos o la sumatoria de material retenido en cada malla especificada.

Uno de los principales problemas al que se enfrenta el técnico que realiza esta prueba, es la formación de grumos de harina, debido a que por el golpeteo de las partículas en el rotap, estas se energizan y forman pequeños aglomerados que no permiten tener éxito en la prueba. Se recomienda utilizar círculos de algún material plástico no contaminante dentro del tamiz para ayudar a evitar estos contratiempos, también se pueden utilizar anti aglomerantes. Entre más finas sean las harinas mayor es el efecto de formar esos grumos, lo que no ocurre con las fracciones más groseras de la harina.

Otro aspecto importante que debe considerarse es el tiempo en que se efectúa la prueba, la norma NMX-F-046-S-1980, solicita que la determinación debe realizarse en tiempos entre 10 y 12 minutos.

Una recomendación importante es que para realizar esta prueba, el producto en polvo o harina no debe estar húmeda. Si las humedades son altas primero se debe de secar.

En todos los estudios existentes reportados del proceso de elaboración de harina de maíz nunca se han realizado estudios del rendimiento. Sin embargo este trabajo tiene el propósito de evaluar este parámetro, ya que los granos de maíz estudiados corresponden a nuevas variedades. Por lo tanto debe de evaluarse el rendimiento en harinas para establecer si los híbridos tiene potencial para elaborar harina de maíz nixtamalizada.

2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

PROBLEMA: El problema que se planteó en este trabajo fue conocer ¿Cómo influye la calidad de los granos híbridos en la producción de harina de maíz nixtamalizado? Para resolverlo se formuló un objetivo general desglosado en cuatro objetivos particulares

OBJETIVO GENERAL: Evaluar el potencial para producir harinas de 5 híbridos de maíz cultivados en el bajío mexicano, mediante la caracterización fisicoquímica de los materiales, pruebas de tiempo de cocción y molienda, para elegir las variedades con atributos de calidad del grano de acuerdo a los criterios establecidos por la norma NMX-F-046-S-1980.

OBJETIVOS PARTICULARES:

I.- Evaluar la calidad de los granos de maíz, mediante la caracterización física y química de acuerdo a la norma oficial mexicana NMX-FF-034/1-SCFI-2002 de cinco híbridos, para determinar si tienen potencial para producir harinas de maíz nixtamalizado.

II.- Establecer los tiempos de cocción de los granos de maíz híbridos mediante los parámetros cuantitativos, el peso hectolítrico, la humedad, la concentración de calcio en el pericarpio durante el tratamiento térmico alcalino para procesar las variedades.

III.- Determinar el rendimiento de harinas de maíz nixtamalizada que solicita la norma oficial mexicana NMX-F-046-S-1980, mediante análisis granulométrico de muestras obtenidas de los 5 híbridos para realizar un análisis comparativo.

IV.- Determinar la concentración de calcio en harinas de maíz nixtamalizado obtenidas de las cinco variedades híbridas de maíz, mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica para conocer la concentración de calcio residual.

2.1 Desarrollo experimental

Los procedimientos experimentales se resumen en el cuadro metodológico que se muestra en la figura 10, el cual fue el mapa a seguir durante el trabajo experimental. El cuadro contiene el problema, objetivos, variables, actividades preliminares, actividades por objetivo, condiciones de trabajo y las técnicas que se utilizaron para la evaluación.

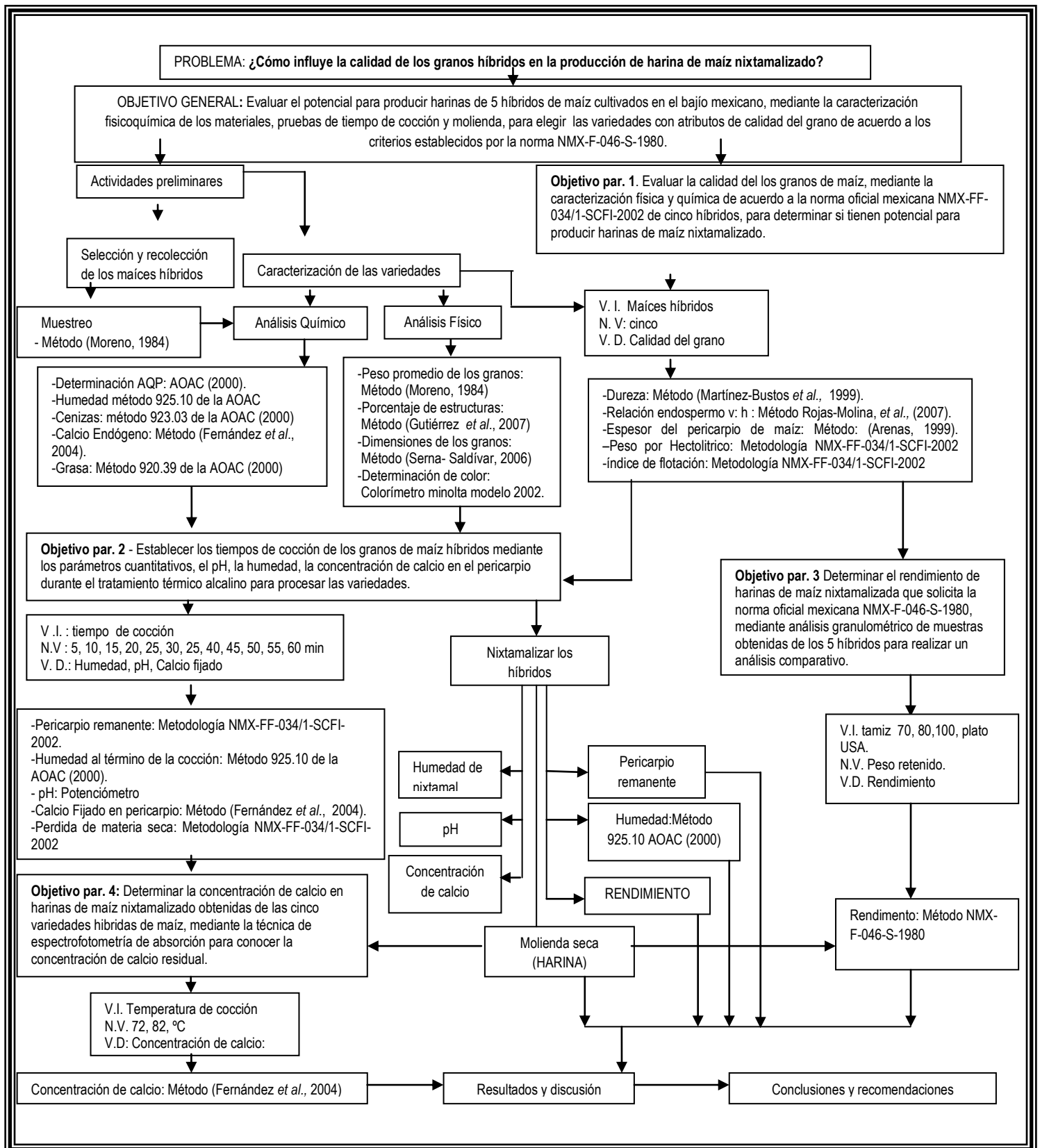


Figura 9. Cuadro metodológico del desarrollo experimental

Actividades preliminares

Las actividades preliminares que se mostraron en el cuadro metodológico de la figura 10 pertenecen a la primera etapa donde se contempló la caracterización de la materia prima (granos de maíz) debido a que se utilizaron variedades híbridas nuevas. Las características del grano nativo se utilizaron como comparativo de granos procesados.

2.1.1 Selección y recolección de los maíces híbridos

El bajío mexicano se caracteriza por ser una zona de alta producción de maíces híbridos naturales. Esta región, conformada por una extensa planicie ubicada entre los 1700 y 1800 metros sobre el nivel del mar; cuenta con un clima estable, con precipitaciones moderadas en verano y suelos ideales para la producción agrícola bajo condiciones de riego y con altos rendimientos a nivel nacional comprende la parte central de la República Mexicana, es decir los estados de Jalisco, Guanajuato, Michoacán y Querétaro, siendo de los primeros 10 productores del país (INEGI, 2007).

2.1.1.1 Muestreo de híbridos

Se realizó un muestreo durante el ciclo primavera verano del 2008 en tres regiones del bajío en el estado de Guanajuato: las Localidades fueron: La Tinaja, Villagrán y Rancho el paraíso. Los pequeños productores recomendaron quince de las variedades que manejan, sin tener conocimiento científico, solo por pruebas realizadas de manera artesanal.

De la parte central de la parcela de áreas superficiales de 360 m² en 40 surcos de 80 cm cada uno por 100 m de largo. De la parte central de la parcela, se adquirió maíz de 6 surcos. Posteriormente, los costales con muestras: Sable, DK-2020, QPM-H368C, Tigre y Bengal, se almacenaron en un cuarto con una temperatura de 5 °C en el Laboratorio del Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada, campus Juriquilla UNAM en el estado de Querétaro.

2.1.2 Caracterización de las variedades de maíz

2.1.2.1 Determinaciones Químicas

El análisis químico proximal se realizó en el grano de maíz crudo, es decir, sin nixtamalizar. Los granos fueron pulverizados para obtener harinas, a través de una molienda en seco de los cinco híbridos de maíz en un molino de cuchillas marca Braum modelo KSM como muestra la figura 10.



Figura 10. Molino de cuchillas marca Braum modelo KS

En la figura 10 se muestra la forma en que fueron obtenidas las harinas de los diferentes híbridos que se utilizaron para realizar los análisis químicos.

2.1.2.1.1 Determinación de humedad del grano nativo

La humedad de los granos nativos de las diferentes variedades de maíz: Sable, DK2020, QPM-H368C, Tigre y Bengala se realizó de acuerdo con el método 925.10 de la AOAC (2000). Esta determinación fue necesaria para conocer su humedad ya que el grano estuvo en almacenamiento. Esto permitió homogenizar las condiciones iniciales para toda la experimentación. Así mismo se utilizó como un parámetro cuantitativo para establecer el tiempo de cocción de los granos de maíz y definir la primera etapa del proceso de nixtamalización para todos los granos.

Con esta determinación se obtuvo el contenido de agua y materia seca del alimento. Se llevó a cabo mediante el secado de la muestra en una estufa de vacío.

Materiales y equipo:

- Variedades del grano de maíz: Sable, DK2020, QPM-H368C, Tigre y Bengala
- Charolas de aluminio
- Estufa de vacío modelo 05015-51 marca OAKTON
- Balanza analítica con sensibilidad de 0.1mg Modelo AS200 marca OHAUS

Procedimiento:

1. Se pesaron 6g de muestra en cajas de aluminio previamente puestas a peso constante
2. se secaron a una temperatura de 90 °C, hasta obtener un peso constante.

Este procedimiento se realizó por triplicado para cada una de las variedades, se obtuvo el promedio y la desviación estándar.

Cálculos:

$$\% \text{ Humedad} = 100 - \left[\frac{\text{Peso de la muestra seca } x}{\text{Peso de la muestra inicial (g)}} \right] 100$$

$$\% H = \frac{(A - B)}{M} \times 100$$

$$\% MS = 100 - \% H$$

Donde:

A = peso charola + muestra humedad (g)

B = peso charola + muestra seca (g)

M = peso muestra inicial (g)

MS = materia seca

2.1.2.1.2 Determinación de cenizas

Con esta determinación se obtuvo el contenido de cenizas o materia inorgánica total del alimento. Se llevó a cabo mediante calcinación de la muestra a 550 °C.

Esta determinación fue importante porque se obtuvo la cantidad de minerales presentes en los granos nativos de las diferentes variedades utilizadas. La determinación se llevo a cabo por el método 923.03 de la AOAC (2000).

Al ser incinerada la materia seca a 550 °C, se eliminaron los materiales orgánicos, quedando el residuo inorgánico o cenizas.

Materiales y equipo:

- Variedades del grano de maíz: Sable, DK2020, QPM-H368C, Tigre y Bengala
- Crisoles de aluminio
- Mufla (LINDBER, modelo 51894) de 550 °C
- Desecador
- Balanza analítica (OHAUS, modelo AS200) con sensibilidad de 0.1 mg

Procedimiento:

1. Se pesaron 5g de muestra en un crisol de aluminio previamente colocado a peso constante.
2. Se calcinaron las muestras en la mufla a 550 °C, hasta obtener cenizas blancas o grises sin partículas de carbón, se apagó la mufla y se dejó enfriar.
3. Los crisoles se sacaron de la mufla y se colocaron en una estufa de secado a una temperatura de 110 °C para enfriarlos durante unos 30 minutos.
4. Se pasó a un desecador y se registró el peso.

Este procedimiento se realizó para cada una de las variedades por triplicado, se obtuvo el promedio y la desviación estándar.

Cálculos:

$$\% \text{ cenizas} = \frac{\text{peso de la muestra calcinada } ^*(g)}{\text{Peso de la muestra inicial (g)}} \times 100$$

*A - B

$$\% \text{ cenizas} = \frac{(A - B) \times 100}{M}$$

$$\% \text{ MO} = 100 - \% \text{ cenizas}$$

Donde:

A = peso del crisol + cenizas (g)

B = peso del crisol a peso constante (g)

M = peso de la muestra inicial, g (w crisol + muestra- w del crisol a w constante)

Nota: se convirtió el % de cenizas en base a MS.

***Determinación del contenido de calcio endógeno**

La determinación de calcio endógeno fue importante para conocer la concentración de calcio en el grano crudo y pericarpio, porque la fijación de calcio después de procesar a los granos se cuantificó a partir del calcio endógeno. Esta actividad se realizó por espectrofotometría de absorción atómica para muestras de grano crudo de acuerdo al método descrito por Fernández *et al.* (2004).

Esta técnica espectroscópica destruyó la muestra, y determinó cuantitativamente el elemento presente. Se realizó el análisis elemental de la mayoría de los elementos de la tabla periódica, en muestras o extractos líquidos.

Para determinar el analito en la muestra fue necesario proporcionarle energía a los átomos y subir el nivel a los electrones, lo que se llevó a cabo en el equipo, utilizando una lámpara de cátodo hueco que debe ser del analito que se analizò, en este caso fue calcio. En este nivel, los electrones están en un estado excitado con muy poca estabilidad, tratando de regresar a su nivel original. Los electrones en un átomo en estado basal absorben un cuanto de energía, es decir, tienen una transición de un nivel de baja energía, a uno de alta energía; cuando el electrón regresa al estado base hay emisión de luz. Se genera una serie de líneas a longitudes de onda bien determinadas a la cual se le conoce como espectro, que es detectado por un espectrofotómetro y que es específica para cada uno de los elementos. La absorción de energía y la concentración del analito están cuantitativamente relacionadas con la ley de Lambert-Beer (Skoog et al, 1995; Amezcuita, 2003).

Se tomaron 100 gramos de maíz nativo, se molieron en un molino modelo KSM2 marca Braun, el polvo se hizo pasar por un tamiz 60, el material retenido en tamiz 70, se utilizó

para la determinación de calcio. Este mismo procedimiento se utilizó para las cinco variedades de maíz y para los pericarpios retirados del grano previamente.

Material y equipo:

- Micropipetas de 10 mL (PC Scientific, Mod.10 M)
- Balanza analítica (OHAUS, modelo AS200)
- Estufa de vacío (OAKTON, modelo 05015-51)
- Vasos de Teflón (CEM, modelo PFA-LV)
- Vasos de precipitado
- Matraces de 100 mL para aforar
- Carrusel para microondas
- Horno de microondas (CEM, modelo MDS 81D)
- Espectrofotómetro (VARIAN, modelo AA-110)
- Estándar de calcio 1000 ppm
- Referencia de harina de maíz nixtamalizado (corn meal-solid)
- Ácido nítrico alto grado de pureza (70%)
- Ácido clorhídrico grado de pureza (66%)
- Óxido de lantano
- Agua tridestilada
- Papel filtro No. 42
- Granos de maíz nixtamalizados
- Detergente Hy clin

Procedimiento:

1. Se tomaron 50 gramos de granos de maíz nativo de cada variedad
2. Se molieron en un molino de cuchillas (Braun modelo KSM2). Se hicieron pasar por un tamiz malla 60 y se recolectó lo que pasó en el tamiz.
3. Se colocaron 0.25 g de muestra de harina cruda en los vasos del digestor. Se le agregaron a cada uno de los vasos 10 mL de ácido nítrico, se taparon y se sellaron herméticamente (ver figura 11 a).

4. Se colocaron los vasos en el carrusel y se introdujeron al horno de microondas figura 11 b, el cual se programó a tres rampas de calentamiento: la primera de temperatura ambiente hasta 130 °C en 4:30 minutos, la segunda de 130 °C, hasta 150 °C en 4.0 minutos y la última de 150 a 175 °C en 4.0 minutos, manteniendo la temperatura constante durante 15 minutos. Posteriormente, las muestras se dejaron enfriar. Después de digerir la muestra se filtró con papel N° 42, se le adicionó 1mL de óxido de lantano y se aforó a 100 mL con agua tridestilada.
5. Se preparó la curva con el estándar de calcio para calibrar el equipo.

Se colocó una lámpara de cátodo hueco para leer Ca en el equipo.

La lectura se realizó con las muestras previamente diluidas, y se colocaron en un vaso de precipitado para introducir al nebulizador. Las muestras se leyeron en un espectrofotómetro de absorción atómica de flama utilizando como gases aire-acetileno para producir la flama. Se eligió una longitud de onda de 422.7 nm característica del calcio.

El porcentaje de absorción registrado por el detector es una medida de la concentración del elemento de la muestra.



Figura 11 a) Carrusel con vasos, b) digestor de microondas

Las condiciones en que se operó el equipo fueron: aire 12 psi, flama 422.7 nm, lámpara de uso corriente 10 mA y corte de ancho 0.7 nm Los valores de la concentración de calcio en pericarpio y en harinas de maíz nativo de los diferentes híbridos se recolectaron en tablas.

Las determinaciones se realizaron por triplicado, se reportó el promedio y la desviación estándar. Los análisis se llevaron a cabo en un laboratorio certificado, para análisis de calcio en materiales. Se utilizó un microondas para digerir las muestras, un estándar de 1000 ppm de calcio para preparar la curva de calibración y una referencia certificada *corn meal-solid*, para establecer el porcentaje de recuperación en un espectrofotómetro AA-110 VARIAN.

2.1.2.1.3 Determinación de grasa

Con esta determinación se obtiene el contenido total de materia lipídica soluble en éter, por lo que se sobreestima su valor, ya que incluye ácidos grasos, lípidos simples y compuestos, prostaglandinas, esteroides lipídicos, pigmentos y vitaminas liposolubles. Esta fracción contiene no solo la grasa verdadera, sino que además incluye a las ceras, lípidos complejos como los fosfolípidos, compuestos derivados de los lípidos como los esteroides y varios pigmentos, hormonas y aceites volátiles.

El contenido de aceite en granos de maíz es un criterio que considera la industria, cuando el destino de la materia prima es producir harinas. Se requiere que el valor de aceite se encuentre entre 3.5 y 4.0% para evitar en el producto problemas de rancidez durante el almacenamiento de harinas.

Materiales y Equipo

- Variedades del grano de maíz: Sable, DK2020, QPM-H368C, Tigre y Bengala
- Vasos para el extractor BUCHI
- Cartuchos porosos
- Soportes
- Recolectores
- Desecador
- Extractor de grasa
- Estufa de secado (OAKTON, modelo 05015-51) a 100°C
- Balanza analítica con una sensibilidad de 0.1mg (OHAUS, modelo AS200)
- Éter etílico anhidro (C₂H₅)₂^o

Procedimiento:

- Se pusieron a peso constante los vasos en una estufa de secado, después se pesaron 3 gramos de muestra dentro del cartucho y se colocó el cartucho en la jarra de extracción.
- Se inició el calentamiento y se abrió la llave de agua, la cual debió de estar fría para que condensara el éter y se encendió el aparato Lauda el cual controlaba el calentamiento de aceite que posteriormente calentó los vasos en el extractor.
- Se colocaron en los vasos 70 mL de éter etílico y se colocaron en el extractor y se dejó la extracción aproximadamente 5 horas.
- Después del tiempo se tomó con un pedazo de papel filtro una gota de solvente que atraviesa el cartucho, se evaporó el éter y ver si persiste una mancha de grasa.
- La recolección de éter se hizo de manera automática y se dejó evaporar el éter colocando los vasos dentro de una campana de extracción y por último se introdujeron los vasos en la estufa a 60 °C durante 3 horas, se enfrió y peso.

Este procedimiento se realizó para cada una de las variedades de maíz por triplicado. Se obtuvo la media y la desviación estándar.

Cálculos:

$$\%EE = \frac{(A-B) \times 100}{M}$$

Donde:

A = peso del vaso con residuo lipídico (g)

B = peso constante del vaso (g)

M = peso de la muestra (g)

EE = % de Extracto Etéreo

2.1.2.2. Análisis Físico**2.1.2.2.1 Peso promedio de los granos**

Dado que es necesario el conocimiento del peso de maíz para homogenizar la cantidad de granos que contiene una muestra por kilogramo. Se cuantificaron 1000 granos de acuerdo a la metodología descrita por Moreno. (1984). Este es uno de los parámetros que solicita la

Norma Se registró su peso en una balanza analítica. Esta determinación se realizó por triplicado, se calculó el valor promedio de los datos y la desviación estándar.

2.1.2.2.2 Porcentaje de pericarpio y de estructuras de maíz

Las variedades de maíz son híbridos nuevos o granos que han sido modificados, por lo tanto la cantidad de pericarpio y germen presentes en estos maíces es variable. Es necesario conocer el porcentaje de pericarpio, ya que durante el tratamiento térmico-alcalino, esta estructura cambia físicamente hasta degradarse y desprenderse del grano casi en su totalidad. Esta pérdida de materiales puede cuantificarse con un balance de materia a partir de la cantidad de material perdido, con respecto al grano nativo.

Además el pericarpio es una de las estructuras que contribuye a la dureza del grano de maíz por ser un material muy fibroso.

Esta actividad también se realizó para la determinación de la distribución ponderal de las principales estructuras anatómicas del maíz, se llevó a cabo de manera individual en 100 granos de maíz íntegros para obtener el porcentaje real de cada estructura (cofia, pericarpio, germen y endospermo).

Procedimiento:

1. 100 granos de maíz fueron hidratados con 50 mL de agua destilada por 40 minutos, después se drenó el agua.
2. Los componentes anatómicos se separaron manualmente de cada uno de los maíces.
3. Se secaron en un horno de vacío a 42 °C durante 2 horas, hasta que se obtuvo un % de humedad del 12 %.
4. Cada grano fue pesado con sus componentes en una balanza analítica previamente calibrada.

Para obtener el porcentaje real, se calculó el valor promedio de los datos y su desviación estándar.

Dimensiones de los granos

- Parámetros dimensionales del grano

Esta determinación consistió en medir el grosor, largo, ancho de 50 granos de maíz de cada un de las cinco variedades y se obtuvo el promedio en cada una de ellas de acuerdo a la Norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002.

Esta determinación es necesaria debido a que los granos de mínimas dimensiones representan una desventaja, porque los granos de superficies menores se deterioran mas ante la transferencia de calor que los de superficies mayores. Los granos de maíz QPM's son de menores dimensiones que las variedades comunes (Serna-Saldivar *et al.*, 1996).

La medición se llevó a cabo en muestras de 1000 granos de maíz retenidos en una criba de abertura de 9.0 mm, utilizando un vernier digital para semillas y se realizó de acuerdo a la metodología descrita por Moreno (1989).

Procedimiento:

1. Se midieron las dimensiones de largo, ancho y espesor de los granos

Se calculó el valor promedio y la desviación estándar.

2.1.2.2.4 Color de los granos.

Este parámetro se determinó con un Colorímetro Minolta modelo 2002, como se muestra en la figura 12.



Figura 12. Colorímetro Minolta, modelo 2002

Procedimiento:

1. Se colocó una muestra de 20 gramos de granos de maíz previamente seleccionados en una caja petri, la cual se llenó completamente.
2. Posteriormente se colocó sobre la muestra la lente plana del colorímetro. Se evaluó el color con el calculo del ángulo de matiz (h) y cromaticidad © calculado a partir de a^* y b^* .

2.2. Descripción de actividades por objetivos

2.2.1 Objetivo particular 1

2.2.1.1 Dureza de los granos de maíz

La dureza es una propiedad intrínseca importante debido a que afecta los requerimientos de la molienda, las propiedades nutritivas, la formación de polvos, la densidad del grano y la densidad volumétrica. La dureza es una característica heredable, pero puede ser modificada por las condiciones de secado en post-cosecha. La dureza resulta difícil de medir debido a la complejidad, estructura y composición del grano, pero está cercanamente relacionada con la razón del endospermo vítreo o corneo y el endospermo harinoso, así como también de la edad del grano y además del espesor del pericarpio. Esto es importante porque un grano de dureza muy alta presenta una difusión de agua y calcio lenta durante el proceso de nixtamalización y mayor capacidad de absorción de agua. Por otra parte los granos de dureza intermedia tienen mayor velocidad de hidratación y requieren de una menor cantidad de agua (Ramos *et al.*, 2004).

Debido a que la dureza es una propiedad determinante para establecer el tiempo en que los granos de maíz deben cocerse, se determinó en 100 granos de maíz, utilizando un analizador de textura (Texture Technologies Corp., Mod. TA-XT2 Fairview Road, Scarsdale, N. Y.) En el que se obtuvo la fuerza de rompimiento requerida para fracturar las muestras. La misma prueba se llevó a cabo para determinar la dureza del endospermo vítreo y del endospermo harinoso. El área bajo la curva que corresponde a la fuerza de deformación empleada para fracturar los granos, se determinó con un software para

análisis de textura con el método reportado por Martínez-Bustos *et al.*, (1999). Se realizó por triplicado y calculó el valor promedio y la desviación estándar.

2.2.1.2 Relación de endospermo vítreo: harinoso

El endospermo varía en textura y calidad vítrea. Los granos duros ricos en proteína tienden a ser vítreos, en tanto que los granos blandos pobres en proteína tienden a ser opacos. La textura es producida por la fuerza de unión entre la proteína y el almidón, esta fuerza es controlada genéticamente. La transparencia en cambio, es el resultado de escasez de cavidades aéreas. Un endospermo córneo o vítreo es muy denso, mientras que el harinoso está lleno de espacios vacíos y es menos denso. Generalmente el endospermo vítreo se encuentra localizado a los lados del grano, la matriz proteica que lo cubre es más gruesa, ahí los gránulos de almidón son de forma polihédrica, son de aspecto traslúcido y no presentan cavidades aéreas. En los granos de maíz convencionales utilizados para el proceso de nixtamalización la relación de endospermo vítreo-harinoso es generalmente de 2:1, en las variedades de maíz QPM's es mayor. Esto define la capacidad y velocidad de absorción de agua, puesto que el endospermo vítreo es mayor en el maíz QPM-H368 C. Esto justifica la necesidad de realizar pruebas a este tipo de granos, debido a que afectan la difusión de agua y calcio a la parte interna del cereal durante el proceso de nixtamalización (cocción y reposo de los granos).

Procedimiento:

1. Se hidrataron 25 granos de maíz en 12.5 mL agua destilada por 40 minutos, después se retiró manualmente el pericarpio y el germen.
2. Posteriormente, los endospermos restantes del grano, se colocaron en charolas, se secaron en un horno de vacío a 42 °C durante 2 horas hasta alcanzar un contenido una humedad del 12 %.
3. Finalmente, se determinó la cantidad de endospermo vítreo o duro y del endospermo harinoso, para encontrar su relación en el grano se removió el endospermo harinoso, empleando una turbina de baja velocidad con una punta de diamante para uso odontológico (COA, International, USA).

En la figura 13 se muestra el endospermo vítreo o duro, una vez retirado el harinoso (Puede apreciarse que ha desaparecido la parte central del grano de maíz). Este procedimiento se siguió para cada uno de las 5 variedades de maíz, el endospermo restante es el duro, vítreo o también conocido como corneo. Por último, se pesaron cada uno de los endospermos y se obtuvo la relación endospermo vítreo, endospermo harinoso. Esta determinación se realizó por triplicado y se calculó el valor promedio y la desviación estándar.



Fuente: Rojas et al., (2007)

Figura 13. Vista frontal del endospermo vítreo, duro ó corneo

El endospermo vítreo es cristalino y se localiza inmediatamente después del endospermo periférico, que se encuentra unido a la capa de aleurona.

2.2.1.3 Espesor del pericarpio de maíz

El conocimiento del espesor, resulta un parámetro importante para establecer la edad y dureza del grano.

Procedimiento:

1. 50 granos de maíz se hidrataron en 100 mL de agua, después se drenó el agua.

2. Los pericarpios de maíz se retiraron manualmente de los granos ver figura 14 a.
3. Las muestras fueron observadas en el microscopio electrónico de barrido a bajo vacío (modelo JEOL JSU-5600LV) con una resolución de 5 nm, ajustado con un espectrómetro de rayos X con energía de dispersión (Noran Instrument, Modelo 4.2.3 Voyager). Las condiciones del equipo fueron: voltaje de aceleración electrónica de 20 kV, con una presión en el rango de 237.72–396.20 kg_f/m² en la cámara de la muestra.
4. Las imágenes se obtuvieron en la superficie a partir de la señal electrónica de barrido (Arenas, 1999).
5. Las muestras se fueron rotando moviendo su posición de enfoque. Se obtuvieron los valores en 30 zonas de una misma muestra, como se muestra en la figura 14 b.

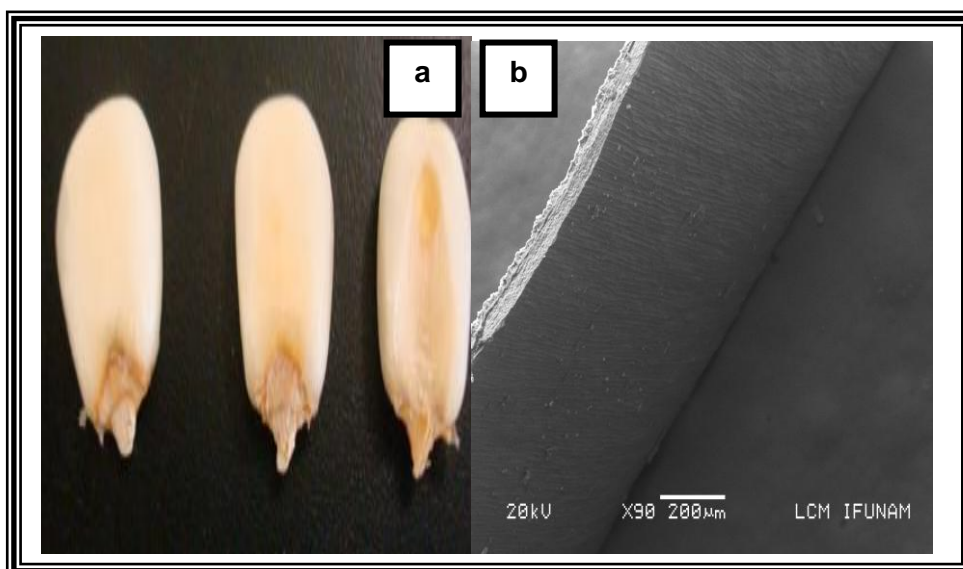


Figura 14 a) Granos sin pericarpio. 14 b) Micrografía del espesor del pericarpio

Este procedimiento en las 5 muestras y cada una por triplicado. Por último, se calculó el valor promedio de los datos y su desviación estándar.

2.2.1.4 Índice de flotación

Este método se basó en el principio de que los granos duros son de mayor densidad y por lo tanto flotan en menor cantidad que los granos de menor densidad en una solución de nitrito de sodio, de acuerdo con la Norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002.

Procedimiento:

1. Se tomaron 100 granos limpios (libres de impurezas), se vertieron en una solución de nitrato de sodio, separando los granos uno de otro por medio de un agitador de vidrio, se agitó y se esperó para tomar la lectura.

El número de granos que ascendieron a la superficie se usa como índice de flotación.

2.2.1.5 Peso hectolítrico

El análisis consiste en determinar el peso por unidad de volumen con o sin impurezas. La determinación se realizó en una balanza fija de peso hectolítrico, peso de prueba o densidad volumétrica, es la medición de densidad más ampliamente utilizada y representada para granos y se expresa en unidades de kg/HL , este valor representa el peso del grano dentro de un contenedor con capacidad de 1 litro. Se desea que un maíz presente un peso hectolítrico de alrededor de $77.2 kg/HL$ ya que esto tiene relación con el % de endospermo duro que es deseable en granos con destino para producir harinas.

Procedimiento:

1. Primero se niveló la balanza girando los tornillos para que la burbuja quedara bien centrada, en seguida se puso la balanza en cero colocando el recipiente vacío en el gancho de las barras graduadas y moviendo las pesas a la posición cero.
2. Se colocó el recipiente vacío en la base de la balanza de tal manera que al salir el grano del embudo caiga exactamente en la base del recipiente, se obturo la tolva o embudo con la trampa correspondiente y se centró con respecto al recipiente.
3. Se vertió el grano en el embudo y se quitó el obturador para dejar completamente libre la salida de la tolva o embudo evitando golpes y movimientos bruscos, con tres movimientos en zigzag se rasó el grano con el borde redondeado de la regla de madera y finalmente se pesó el recipiente conteniendo el grano y se anotó el peso registrado expresado en kg/HL con una exactitud de 0.1gramos.

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

2.2.2 Objetivo particular 2

Establecimiento de los tiempos de cocción

Se realizó la determinación del tiempo de cocción de las cinco variedades de maíz, siguiendo los criterios de tiempo, del índice de flotación y del desprendimiento del pericarpio entre los dedos.

Dos kg de maíz se vertieron en el tanque de cocción aislado térmicamente con 4 litros de agua y 20 g de hidróxido de calcio, se inició la cocción a 22 °C, a una velocidad de calentamiento de 2.5 °C por minuto. La temperatura de proceso se realizó a 82 °C, la cual se alcanzó en 24 minutos. Ahí se mantuvo la isoterma hasta el término del experimento. La mezcla se movió con un mezclador de paleta cada 10 minutos dando 4 vueltas y se tomaron muestras de 20 gramos cada 5 minutos, cada una de ellas se molió en un molino Pulvex 200. Posteriormente se determinó la humedad y el calcio fijado.

El procedimiento fue el mismo para todas las variedades híbridas de maíz. El tratamiento térmico-alcalino se realizó en un equipo piloto con control de temperatura y adquisición de datos de temperatura con cuatro termopares colocados en un dedo térmico en el centro del tanque, los valores se registraron en una computadora personal.

2.2.2.1 Pericarpio remanente

La Norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 lo define como el pericarpio adherido al grano después de la nixtamalización.

Esta determinación es necesaria para conocer como se elimina el pericarpio durante la nixtamalización y que afecta la permeabilidad del grano a la solución alcalina en que se cuece. La difusión del 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 debido a la presencia de gomas naturales, pero también produce oscurecimiento debido a la presencia de pigmentos y calcio atrapado entre las gomas. Este efecto es indeseable para la producción de harinas de maíz nixtamalizado que se prefiere tengan un color lo más cercano al blanco.

El cocimiento aplicado al maíz tiene la función de hidratar y suavizar el pericarpio. El periodo de reposo debe permitir la difusión de la solución alcalina y las estructuras internas del grano una vez removido el pericarpio (Gutiérrez *et al.*, 2007).

Esta determinación se realizó de acuerdo a la metodología reportada por la Norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002

Procedimiento:

1. Se preparó una solución de hidróxido de sodio (NaOH) 2N, pesando 80g de NaOH diluyéndolo en un litro de agua destilada.
2. En cuatro vasos de precipitado de 100 ml, se colocaron en cada uno cinco granos de maíz limpio y se agregaron 10 ml de (NaOH) 2N, para cubrir los granos.
3. Se colocó en baño María a 50 °C los cuatro vasos de precipitado durante 15 minutos, se tomaron lecturas de comportamiento de pericarpio del maíz, respecto a las características presentadas referentes a la hinchazón, formación de burbujas, separación parcial del pericarpio del endospermo de cada grano de maíz y separación total del pericarpio, por medio de una valoración visual.

2.2.2.2 Humedad de nixtamal

En la Norma NMX-FF-034-2002-SCFI establece que la humedad de nixtamal para destino a la producción de harinas debe tener un valor menor a 42% al término de la cocción y reposo. Este valor es posible alcanzarlo en maíces duros, que no retengan un alto % de pericarpio o bien en maíces con un % bajo de endospermo corneo.

La Industria prefiere granos duros y semiduros para la producción de harinas, sin embargo el rendimiento de nixtamal o grado hidratado se define con el aumento de peso al incrementarse la concentración de agua en los granos, por esa razón además de determinarse la humedad el producto se pesa.

El endospermo de un grano duro absorbe poca humedad durante el cocimiento y el reposo, esto determina la velocidad de difusión del agua y calcio. Los granos suaves se hidratan rápidamente requiriendo tiempos de cocción cortos pero son susceptibles al calentamiento (Salinas *et al.*, 2003).

Procedimiento:

1. 1 kg de maíz, 10 g de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y 2 litros de agua se vertieron en un contenedor. Se inició el calentamiento partiendo de una temperatura de 22 °C, la velocidad de calentamiento fue de 2.5 °C/ minuto mezclándose la muestra cada 10 minutos.
2. Cuando alcanzó la temperatura de 82 °C, se mantuvo esa temperatura hasta que los granos de maíz alcanzaran una humedad del 35-36%.
3. Durante el periodo de la isoterma se sacaron muestras cada 5 minutos, se tomaron 10 g y se molieron en un molino Pulvex 200.
4. Se tomó una muestra de 10 g y se colocó en la termobalanza Modelo AS200 marca Ohaus AND AD-4714A, con esto se determinó la humedad presente.

Adicionalmente la humedad del nixtamal se determinó utilizando el método 925.10 de la AOAC (2002).

2.2.2.3 pH de Nixtamal.

El pH de la muestras se determinó con el método 44-19 AACC (2000) con un potenciómetro Jenco Electronics, Modelo 6071 como muestra la figura 15.

Las determinaciones se realizaron extrayendo cada cinco minutos muestras de maíz sometidas a tratamiento térmico alcalino. Las determinaciones se realizaron por triplicado con el propósito de establecer la alcalinidad de los granos de maíz. Se calculó el promedio y la desviación estándar de los datos.

Materiales y equipo:

- Granos de maíz nixtamalizados
- Frascos de vidrio para vibrador
- Agitador magnético (VELP Científica, Mod. NTC-F20310177)
- Potenciómetro (Jenco Electronics, LTD, Mod. 6071)

Procedimiento:

Uno de los parámetros cuantitativos seleccionados para el establecimiento del tiempo de cocción en granos de maíz fue el pH.

1. El potenciómetro se calibró a temperatura ambiente con tres soluciones amortiguadoras de referencia (J.T. Baker buffer standard pH 4, pH 7, pH 10).
2. Se colocaron 10 g de muestra en vasos de vidrio, la muestra fue obtenida cada cinco minutos durante la etapa de cocción de los granos, previamente molidos en un molino Braun modelo KSM2
3. Se adicionaron 100 mL de agua tridestilada
4. Se colocaron dos agitadores magnéticos y se sellaron herméticamente.
5. Los frascos se colocaron en el vibrador y se agitaron durante 3 h. después reposaron durante 6 h.
6. Por ultimo se registró la lectura del pH en el sobrenadante con un potenciómetro (JENCO Electronics LTD, mod. 6071)

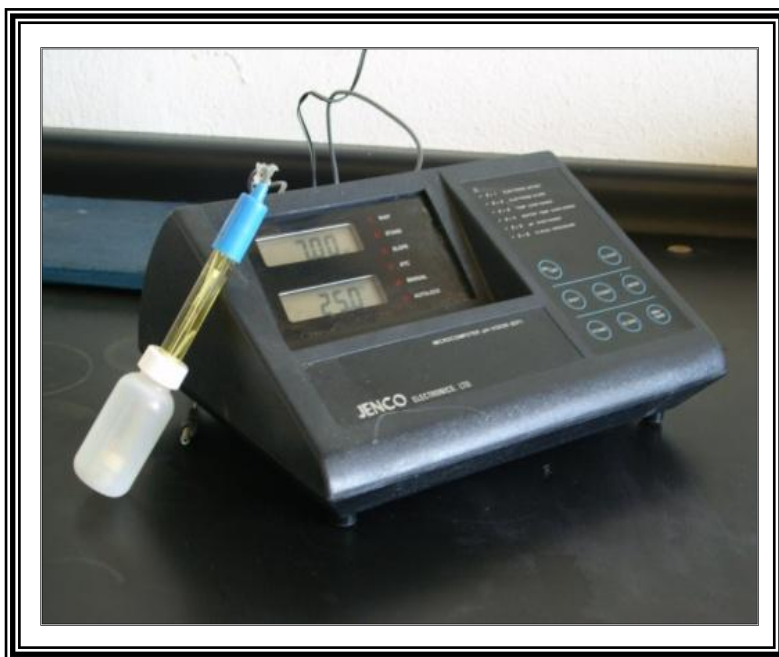


Figura 15. Potenciómetro Jenco Electronics, LTD, Mod. 6071

2.2.2.4 Calcio fijado durante la cocción

La determinación de calcio fijado fue importante para conocer la concentración de calcio en las muestras procesadas. Esta actividad se realizó por espectrofotometría de absorción atómica para muestras procesadas de acuerdo al método descrito por Fernández *et al.*, (2004). El procedimiento utilizado fue el mismo que se describió para el calcio endógeno y que se encuentra en el punto 2.1.2.1.2 de este mismo capítulo. La muestra que alcanzó la

humedad en un intervalo de 35-36% durante la etapa de cocimiento de los granos se utilizó para la determinación de calcio fijado. Este mismo procedimiento se realizó por triplicado para cada una de las variedades en estudio.

Los pasos fueron descritos en el punto 2.2.2.2, únicamente que estas muestras fueron pasadas por un tamiz 60, serie USA.

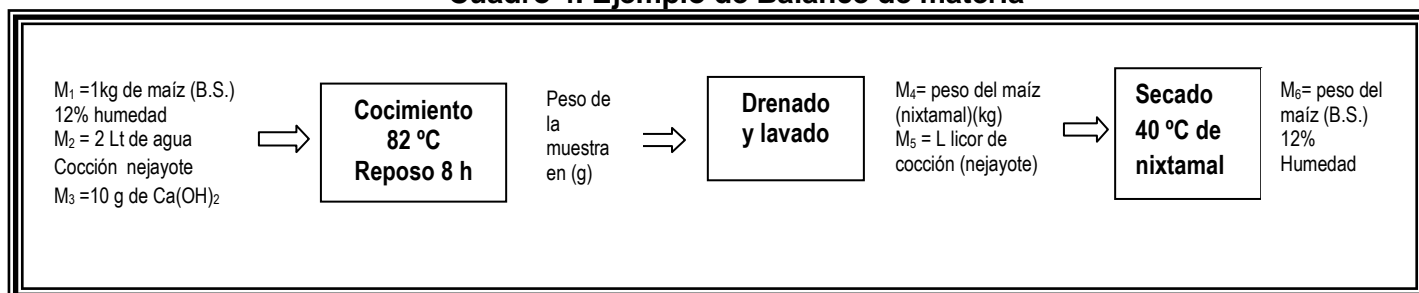
Las determinaciones se realizaron por triplicado, se reportó el promedio y la desviación estándar. Los análisis se llevaron a cabo en un laboratorio certificado, para análisis de calcio en materiales. Se utilizó un microondas para digerir las muestras, un estándar de 1000 ppm de calcio para preparar la curva de calibración y una referencia certificada *corn meal-solid*. Para leer el calcio un espectrofotómetro AA-110 VARIAN.

2.2.2.5 Pérdidas de materia seca

Esta determinación fue necesaria debido a que durante la nixtamalización se pierden cantidades consideradas de componentes de los granos como son: pericarpio, endospermo y germen. Las pérdidas de materia varían entre 3-15% dependiendo de la variedad de maíz condiciones de proceso y métodos de lavado y enjuague de nixtamal.

Cuando se tratan de maíz comercialmente procesado las pérdidas totales de materia seca son distribuidas en 2.8 al 10.7 durante la cocción y el reposo del 2.0-4.0% durante el enjuague (Serna-Saldivar *et al.*, 2008). Los balances de materia se realizaron al concluir el tratamiento térmico alcalino para cada una de las variedades al término de la etapa de cocción y reposo (Rojas-Molina *et al.*, 2009). Cada determinación se realizó seis veces debido a que para cada evento se colocaban dos charolas, una para la determinación y otra para extraer granos cada cinco minutos y para determinar el contenido de humedad. Las muestras se procesaron para la cocción de acuerdo a los procedimientos del punto 2.2.2.2 y se dejaron reposar durante 8 horas. Un ejemplo de los balances de materia se muestra en el cuadro 4.

Cuadro 4. Ejemplo de Balance de materia



M_1, M_4, M_5, M_6 son pesos de maíz en sus diferentes etapas

M_3 , Es el peso del hidróxido de calcio adicionado

M_2, M_5 , Son los litros utilizados de agua

La cantidad de materia perdida después del proceso de nixtamalización se determinó para conocer qué porcentaje de materia de los granos se pierde durante el tratamiento térmico-alcalino en cocción y reposo.

Aprovechando esta determinación también se juntaron el nejayote y las aguas de enjuague, las cuales se evaporaron para corroborar la pérdida de materia.

2.2.3 Objetivo particular 3

- **Molienda húmeda**

Se continuó con el proceso de elaboración de harinas de maíz nixtamalizado; siguiendo el diagrama tecnológico de la figura 7, Capítulo 1, que se mostró en la página 31. Se molieron 1000 g de nixtamal que se procesó. La molienda húmeda se realizó en un molino de piedras (FUMASA, modelo 100), figura 16 a y 16 b.

Los discos se mantuvieron con una abertura entre las piedras o elementos molientes de 3 mm y una velocidad de alimentación constante, proporcionada por el dosificador del molino, que es un tornillo sinfín. A este respecto es importante el control de la alimentación y es requerido para determinar la energía consumida durante la molienda de las muestras.

Procedimiento:

1. Se tomaron 10 gramos de muestra de granulado para cada una de las muestras de las diferentes variedades.

2. Se determinó la humedad en termobalanza Modelo AS 200 marca OHAUS



- **Secado de las muestras**

El granulado se colocó y distribuyó en charolas de acero inoxidable como muestra la figura 16 b para deshidratarse.

Todos los granulados de maíz húmedo, se deshidrataron en un secador de vacío (construido en el Laboratorio de Físicoquímica de Alimentos FATA, UNAM *campus* Juriquilla) a una temperatura de 40 °C . El tiempo de secado se prolongó hasta que las muestras alcanzaron una humedad del 12 %.

Los granulados deshidratados se pesaron y se obtuvo el rendimiento de nixtamal para harina de cada variedad

- **Molienda seca**

Las muestras de granulado ya secas se pulverizaron en un molino de martillos fijos con elementos molientes estriados (Pulvex, modelo 200) que se muestra en la figura 17.

Para tal efecto se utilizó un dosificador para la alimentación de la materia prima al molino. La velocidad utilizada fue de 26.48 g/s, la cual fue constante para todas las corridas. Se colocó una criba de restricción a la salida de 0.8 mm.



Figura 17. Molino de martillos Pulvex 200

- **Tamizado de las muestras**

A las harinas obtenidas de la molienda de los maíces se les efectuó el siguiente procedimiento.

Procedimiento:

1. Se seleccionó la serie de tamices USA de acuerdo a la Norma NMX-046-S-1980 con número de mallas 40, 45, 50, 60, 70, 80, 100 y plato.
2. Cada uno de los tamices se pesó incluyendo el plato y se registró.
3. Los tamices se acomodan en pila en orden descendente del número.
4. Se pesaron 100 gramos de muestra y se colocaron en la parte superior del primer tamiz. Posteriormente la tapa.
5. Toda la pila de tamices se acomoda en el Ro-tap como muestra la figura 18.
6. Se programaron 12 minutos para agitación de las muestras.

7. Al apagarse el equipo, los tamices se pesaron junto con el plato.
8. Con los valores obtenidos se construyo una tabla.



Figura 18 Rot-tap, Mod. KH59986-60

- **Rendimiento**

El rendimiento fue calculado de acuerdo a las especificaciones de la Norma NMX-046-S-1980 que especifica que por lo menos el 75% del material debe pasar por el tamiz 60 USA.

Procedimiento:

1. Los pesos de harina retenida en los tamices: 70, 80, 100 y plato se sumaron
2. Se calculó el porcentaje que pasó el tamiz 60 USA. Con estos valores se calculó el rendimiento en harina

2.2.4 Objetivo particular 4

2.2.4.1 Concentración de calcio fijado

La determinación de calcio fijado fue importante para conocer la concentración de calcio que fija cada una de las variedades después de la cocción, reposos y los dos lavados. Esta actividad se realizó con la misma metodología descrita en el apartado 2.1.2.1.2. Las lecturas de calcio se realizaron por espectrofotometría de absorción atómica para las muestras del grano procesado de acuerdo al método descrito por Fernández *et al.* (2004).

La única variación a la metodología fue la cantidad de muestra tomada (1g) para la digestión de harinas.

2.2.5 Análisis Estadístico

Los análisis estadísticos utilizados consistieron en realizar la media y la desviación estándar de cada una de las determinaciones. Debido a que los granos son independientes no había interés de hacer un análisis comparativo entre ellos.

CAPITULO 3

RESULTADOS

3 RESULTADOS

3.1 Resultados del desarrollo experimental

Todas las actividades realizadas se efectuaron de acuerdo al cuadro metodológico. Los procedimientos se describieron en el capítulo 2 de metodología.

3.1.1 Selección y recolección de los maíces híbridos

De las quince variedades recomendadas solo se seleccionaron al azar cinco. Se recolectaron mazorcas de tres regiones del estado de Guanajuato. En el cuadro 5 se muestran los híbridos de maíz y las zonas donde se cosecharon. Las mazorcas, se desgranaron para tener un total de 2 costales, aproximadamente 40 kg.

Cuadro 5. Variedades seleccionadas y las zonas de recolección de la cosecha

Híbrido	Zona de recolección*
Sable	Rancho El paraíso
DK-2020	Rancho Villagrán
Bengala	Rancho Villagrán
Tigre	Rancho Villagrán
QPM-H368C	Rancho La tinaja

*zonas del estado de Guanajuato

3.1.1.1 Muestreo de híbridos

- Muestreo

El maíz de las diferentes variedades se limpió para retirar basura y productos extraños, por inspección visual se retiraron granos dañados, con fisuras, rotos y daños por insectos, con moho, sin pedicelo, con germen amarillo.

Las muestras que se retuvieron en una criba vibratoria de 9 mm se volvieron a verter a los costales, una vez en los costales se obtuvieron cinco muestras primarias de cada saco. Se introdujo dentro del costal una bayoneta hasta el 75 % de la profundidad y se retiró con cuidado. La bayoneta que se utilizó se muestra en la figura 19.

Este procedimiento de introducir la bayoneta se introdujo en diferentes zonas del saco, siguiendo la metodología de Moreno (1984), hasta obtener 3 kg. Después, se utilizó la técnica de cuarteo para solo dejar 1kg de maíz.



Figura 19. Bayoneta para muestrear grano de maíz

3.1.2 Caracterización de las variedades de maíz

Estos resultados contemplaron las características físicas de la materia prima y su composición química, datos que se utilizaron como parámetros comparativos con los obtenidos después de someter al maíz al proceso de nixtamalización.

3.1.2.1 Determinaciones Químicas

Los resultados del análisis químico proximal para las variedades: Sable, Tigre DK2020, QPM-H368C y Bengala se desglosan en los siguientes puntos.

3.1.2.1.1 Determinación de la humedad

Los resultados de la determinación de humedad en granos de maíz nativos de las diferentes variedades se reportan en la cuadro 6. El valor es un indicativo de las condiciones en que el grano se encuentra después del almacenamiento. Adicionalmente, fue un parámetro utilizado para establecer el tiempo de cocción de las variedades utilizadas.

Cuadro 6. Porcentaje de humedad en el maíz nativo de las diferentes variedades

Híbrido	Humedad (%)
Sable	12.9 ± 0.11
DK2020	11.4 ± 0.17
QPM- H368C	12.2 ± 0.15
Tigre	11.7 ± 0.19
Bengala	13.2 ± 0.12

*Los valores representan el promedio ± la desviación estándar, (n=3)

El contenido de humedad del grano fue inferior al límite establecido por la NMX-FF-034/1-SCFI-2002 que es el 15 %, el cual está influenciado por el tipo de grano, ya que los maíces de tipo cristalino y semicristalino tienden a tener un menor contenido de humedad (Méndez *et al.*, 2005).

También indico que las condiciones de almacenamiento fueron buenas para todas las unidades experimentales en estudio, porque no sobrepasan los valores correspondientes de humedad que especifica la Norma.

3.1.2.1.2 Determinación de cenizas

En el cuadro 7 se reportan los valores del porcentaje de cenizas obtenidos de los diferentes variedades híbridas de maíz estos valores dependen en gran medida de la tierra en que se cultivó y de las características propias de las variedades cosechadas.

Cuadro 7. Porcentajes de cenizas en el maíz y pericarpio para las diferentes variedades

Variedad de maíz	Cenizas grano total (%)	Cenizas pericarpio (%)
Sable	1.3 ± 0.20	0.25 ± 0.14
DK2020	1.8 ± 0.11	0.34 ± 0.10
QPM- H368C	1.4 ± 0.19	0.27 ± 0.16
Tigre	1.7 ± 0.16	0.31 ± 0.13
Bengala	1.9 ± 0.10	0.41 ± 0.17

Esta determinación fue muy importante para posteriormente obtener la cantidad de calcio presente en los granos nativos. De todos los minerales presentes en el grano la cantidad de calcio presente es de especial interés porque esta cantidad debe sumarse a la cantidad absorbida de calcio durante la cocción del proceso de nixtamalización. La determinación de cenizas también se realizó en el pericarpio de maíz, debido a que la concentración de calcio en pericarpio fue también un parámetro para establecer el tiempo de cocción.

La norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 establece un máximo de 1.5% para este parámetro en grano total, para el pericarpio no existen valores solicitados.

Es evidente que los granos de maíz híbridos DK2020, Tigre y Bengala tienen los mayores valores de cenizas en grano total y en pericarpio y coinciden en que los tres fueron cultivados en el rancho Villagrán, probablemente porque en esa zona las tierras de cultivo son más ricas en minerales. Las variedades Tigre y el DK2020 tienen valores mayores que los que solicita la norma, lo cual es bueno por el aspecto nutricional.

☆ **Determinación de la concentración de calcio endógeno en grano y pericarpio nativo.**

La determinación de calcio endógeno de las diferentes variedades es indispensable, se realizó de acuerdo al método Fernández-Muñoz *et al.* (2002), con modificaciones. Las cenizas obtenidas fueron digeridas como se explicó en el capítulo de metodología. Los resultados de los valores de calcio se reportan en el cuadro 8 para grano entero y para pericarpio, las variedades estudiadas: Sable, DK2020, QPM-H368C, Tigre y Bengala.

Cuadro 8. Concentración de calcio en maíz nativo y en pericarpio

Variedad de maíz	Grano (mg/kg)	Pericarpio (mg/kg)
Sable	0.04 ± 0.17	0.02 ± 0.22
DK-2020	0.08 ± 0.11	0.06 ± 0.26
QPM-H368C	0.06 ± 0.22	0.03 ± 0.18
Tigre	0.07 ± 0.19	0.05 ± 0.20
Bengala	0.08 ± 0.14	0.06 ± 0.25

*El valor representa el promedio ± desviación estándar, (n = 3)

La concentración de calcio nativo es un dato muy importante, ya que éste se sumará al contenido de calcio que se adquirió durante el proceso.

Los mayores valores de la concentración de calcio también fueron para las variedades de: DK2020, Tigre y Bengala, lo que evidencia que las variedades cosechadas en rancho Villagrán tienen mayores concentraciones de calcio endógeno en grano de maíz y en pericarpio.

La norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 no especifica valores de calcio en grano nativo por la variabilidad de las tierras de cultivo. Sin embargo, esta determinación fue necesaria para cuantificar el calcio al finalizar el proceso de nixtamalización.

3.1.2.1.3 Determinación de grasa

Los valores del contenido de extracto etéreo para las diferentes variedades se reporta en el cuadro 9.

Los valores solicitados por la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002, requiere que se encuentren en un intervalo de 3.5 - 4.5 % para elaboración de harinas de maíz nixtamalizado.

Cuadro 9. Extracto etéreo en el maíz nativo diferentes variedades

Variedad de maíz	Extracto etéreo (%)
Sable	3.3 ± 0.11
DK-2020	4.0 ± 0.10
QPM-H368C	4.6 ± 0.21
Tigre	4.4 ± 0.17
Bengala	3.7 ± 0.10

*El valor representa el promedio ± desviación estándar, (n = 3)

Se observa que el mayor contenido de lípidos lo reporto el grano de maíz QPM-H368C, esto es debido a que la mayor parte de las grasas se encuentra localizado en el germen, y esta variedad es la que presento un mayor porcentaje de germen en grano total. Pero todos los valores obtenidos entran por los establecido por la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002, que solicitó valores entre 3.5 y 4.5 %.

3.1.2.2 Análisis Físico

La mayor parte de las determinaciones del análisis físico son de suma importancia para establecer las condiciones en que debe realizarse la cocción alcalina de los granos de maíz.

Aunque esas determinaciones no ocurren dentro del proceso, son actividades preliminares que ayudan a predecir tiempos de cocimiento.

3.1.2.2.1 Peso promedio de los granos

En el cuadro 10 se muestra el peso promedio de 1000 granos. Este análisis se realizó con la finalidad de conocer con la mayor aproximación la cantidad de granos por muestra. Un peso promedio de 1000 granos bajo corresponde a una muestra con gran porcentaje de granos pequeños, y por el contrario un peso alto, se obtiene cuando los granos son grandes (Billeb y Brezan, 2001). En el cuadro 10 se muestran los valores obtenidos del peso promedio de las cinco variedades de maíz.

Cuadro 10. Peso promedio de las variedades híbridas

Variedad de Maíz	Peso promedio ¹ (g)
Sable	396.13 ± 0.16
DK-2020	452.16 ± 0.12
QPM-H368C	380.20 ± 0.2
Tigre	362.18 ± 0.17
Bengala	397.68 ± 0.10

¹ Peso promedio de 1000 granos (n = 3)

El valor representa el promedio ± desviación estándar, (n = 3)

El peso promedio también está relacionado con la relación de endospermo vítreo: harinoso presente en el grano, debido a que el endospermo vítreo, corneo o duro es más pesado por sus características de empaquetamiento y estructura (Rojas-Molina *et al.*, 2007), consecuentemente la determinación del peso promedio es mayor.

Cabe mencionar que el peso promedio de 1000 granos solicitado para el procesamiento a nivel industrial, se prefiere de un rango de 370 a 420 g (Serna-Saldívar *et al.*, 1993). Las variedades híbridas dentro del intervalo fueron Sable, Bengala y QPM-H368 C. Para la

variedad Tigre los valores estuvieron por debajo y para la variedad DK-2020 muy por arriba.

3.1.2.2.2 Porcentaje de pericarpio y de estructuras de maíz

Se obtuvieron los pesos promedio del pericarpio y de cada una de las partes anatómicas del grano de maíz objeto de estudio. La distribución ponderal de cada uno de los componentes mayoritarios para las variedades, se reporta en el cuadro 11. La Norma Oficial Mexicana NMX-FF-034/ 1-SCFI-2002 reporta para la cofia < 2 %, para el pericarpio < 5.5, para el germen < 12 % y el endospermo ≥ 78 %

Cuadro 11. Porcentaje de pericarpio y de estructuras de maíz

Variedad de Maíz	Cofia (%)	Pericarpio (%)	Germen (%)	Endospermo (%)
Sable	1.33 ± 0.16	3.97 ± 0.26	11.40 ± 0.28	83.30 ± 0.2
DK-2020	2.86 ± 0.2	5.48 ± 0.18	12.32 ± 0.34	79.34 ± 0.1
QPM-H368C	1.20 ± 0.16	7.10 ± 0.36	12.50 ± 0.18	79.20 ± 0.1
Tigre	2.23 ± 0.31	7.72 ± 0.41	12.21 ± 0.22	77.84 ± 0.4
Bengala	1.41 ± 0.10	4.16 ± 0.53	10.84 ± 0.30	83.59 ± 0.6

El valor representa el promedio ± desviación estándar, (n = 100)

Las únicas variedades que cumplen con los requisitos de porcentaje para cada una de las partes anatómicas del grano de acuerdo a la norma fueron: Sable y Bengala, la Variedad QPM-H368C se acerca, cumple para la cofia y en endospermo, pero no en el pericarpio que es un requisito que para producir harinas de maíz nixtamalizado. Se prefieren granos con un porcentaje de pericarpio menor a 5.5. Sin embargo, las variedades que no cumplieron ningún requisito fueron DK-2020 y Tigre.

3.1.2.2.3 Dimensiones de los granos

En la actualidad son pocos los datos reportados en la literatura con respecto a las dimensiones de los granos de maíz, dependiendo de la zona de la mazorca. Sin embargo, en un lote es importante determinar su homogeneidad para decidir cómo tratarlo durante el

almacenamiento, transporte y cocimiento. En este trabajo se midieron largo, ancho y espesor de las diferentes variedades. El tamaño de los granos está determinado por el tamaño de la mazorca. Los granos de mayores dimensiones se encuentran localizados en la parte media de la mazorca y los de menores en la punta. En el cuadro 12 se presentan los valores obtenidos de las variedades híbridas, Sable, DK-2020, QPM-H368C, Tigre y Bengala, se muestran los valores obtenidos de largo, ancho y espesor de 100 granos de maíz de todas las variedades y que fueron previamente tamizados con una criba con aberturas promedio de 9 mm para eliminar basura y productos extraños. Los granos que se retuvieron en la malla fueron seleccionados para todas las determinaciones, los cuales fueron empleados en el proceso de nixtamalización tradicional.

Cuadro 12. Dimensiones de los granos de maíz

Variedad de Maíz	Largo¹ (mm)	Ancho¹ (mm)	Espesor¹ (mm)
Sable	11.90 ± 0.23	8.70 ± 0.21	4.3 ± 0.19
DK-2020	12.50 ± 0.31	8.63 ± 0.30	4.1 ± 0.32
QPM-H368C	7.28 ± 0.28	7.03 ± 0.27	6.6 ± 0.21
Tigre	13.41 ± 0.37	9.86 ± 0.33	4.3 ± 0.52
Bengala	12.26 ± 0.19	8.42 ± 0.43	4.5 ± 0.37

Los valores representan el promedio ± la desviación estándar, (n=100)

Los granos de maíz QPM-H368C corresponden a granos de dimensiones menores, que los de variedades comerciales para uso del proceso de nixtamalización (Serna-Saldívar *et al.*, 1992). Esta característica significa que existen más granos de maíz por cada 100 gramos, lo que trae como consecuencia mayor área superficial en contacto con la solución alcalina donde están inmersos los granos de maíz durante el proceso, y por lo tanto, mayor fijación de calcio en una muestra representativa, sin embargo los granos de menores dimensiones pueden sufrir mas daños térmicos durante el tratamiento térmico-alcalino.

3.1.2.2.4 Color de los granos

En la actualidad el color del grano de maíz se califica de manera subjetiva y no se menciona en la literatura como una característica del grano. Sin embargo, la norma NMX-FF-034/ 1-SCFI-2002 solicita granos blancos para la producción de harina de maíz nixtamalizado. Por esa razón se evaluó el color con el cálculo del ángulo de maíz (h) y cromaticidad (c) calculado a partir de a* y b* datos recolectados con el Colorímetro Minolta modelo 2002. En el cuadro 13 se reportan valores positivos de a* y b*, que corresponden a tonalidades de rojo-naranja y amarillos respectivamente.

Cuadro 13. Angulo de maíz y cromaticidad para la medición de color

Variedad de Maíz	L*	a*	b*	C*	H
Sable	59.509	0.422	14.186	14.194	81.024
DK-2020	68.103	1.194	16.902	16.944	89.516
QPM-H368C	56.400	0.310	14.345	14.377	83.233
Tigre	64.654	0.847	15.995	16.033	86.051
Bengala	60.754	0.455	13.231	13.238	84.032

Los valores representan el promedio \pm la desviación estándar, (n=3)

El valor de L indica que el material no es completamente opaco y tampoco transparente, podría clasificarse como semi-opaco, lo cual es el resultado de la relación que existe entre el endospermo harinoso y el endospermo vítreo o corneo presente en el maíz. Lo anterior de acuerdo a la escala de colores y su interpretación en la esfera del colorímetro nos indica que las muestras presentan una tendencia hacia los tonos ligeramente amarillo muy tenue.

Los granos DK2020 y Tigre son las variedades con colores que estuvieron dentro de las tonalidades de amarillo más intenso, los valores menores fueron para la variedad QPM-H368 C, lo que representa amarillo con una tonalidad muy baja más cercano al blanco. Las variedades Sable y Bengala fueron de valores similares, muy cercanos al QPM-H368C, igual con tonalidades amarillo tenues o casi blancas, por tonalidad los más blancos son los más recomendables para la obtención de harinas.

3.2 RESULTADOS POR OBJETIVO

3.2.1 Objetivo particular 1

3.2.1.1 Dureza de los granos de maíz

La dureza del grano nativo es un indicativo de cómo se presentará la difusión de la solución alcalina en el maíz durante el proceso. Los valores obtenidos para la dureza del grano total y para el endospermo por tratarse del componente mayoritario (vítreo y harinoso) se presentan en el cuadro 14.

El endospermo vítreo se encuentra en la parte externa inmediatamente después del pericarpio y la capa de aleurona. Para hacer la determinación del endospermo vítreo se eliminó el harinoso.

Cuadro 14. Dureza del grano nativo, endospermo vítreo y harinoso

Variedad de maíz	Grano total Dureza (kg_f)	Endospermo Vítreo Dureza (kg_f)	Endospermo harinoso Dureza(kg_f)
Sable	14.12 ± 0.21	11.53 ± 1.24	7.32 ± 1.26
DK-2020	18.35 ± 0.24	16.28 ± 1.12	6.23 ± 1.18
QPM-H368C	14.82 ± 0.28	12.33 ± 0.27	7.99 ± 1.04
Tigre	16.81 ± 0.30	14.65 ± 1.25	8.96 ± 0.50
Bengala	13.11 ± 0.26	10.15 ± 1.21	6.64 ± 1.67

Los valores representan el promedio ± la desviación estándar, (n=10)

La dureza es una característica del grano que es muy importante para el proceso de nixtamalización, ya que es un indicador de la composición del endospermo establecido por la densidad del grano y el índice de flotación (Billeb y Bressabi, 2001).

Los maíces que presentaron mayor dureza tanto en grano total, como endospermo corneo y harinoso fueron el DK-2020 y el tigre, estos granos no tienen potencial para la industria harino-molinera. La variedad sable, el QPM-H368C y Bengala presentaron valores

similares. Estos datos también fueron correlacionados con el índice de flotación y el peso hectolitrito.

La dureza está cercanamente relacionada con la relación endospermo corneo-harinoso, con el espesor del pericarpio, y con la edad del grano (Rooney, 1993).

3.2.1.2 Relación de endospermo vítreo: harinoso

El % del endospermo vítreo y de endospermo harinoso se obtuvo del endospermo total, recolectando para todas las variedades de maíz. Se eliminó del endospermo harinoso como muestra la figura 20.



Fuente: Rojas et al., 2007

Figura 20. Vista superior del grano, muestra endospermo vítreo

El endospermo harinoso no se muestra en la figura 20, por eso aparece el hueco central. Los resultados de la relación de endospermo vítreo harinoso se reportan en el cuadro arrojan una relación de endospermo. Cuando la mayor parte del grano corresponde a estructura compacta y sin cavidades aéreas, esto repercute en la capacidad y velocidad de difusión de agua y calcio, lo cual explica que para estas variedades el transporte de masa

es más lento al inicio del proceso de nixtamalización, comparado con otros tipos de granos. Esto significa que la entrada de la solución alcalina al interior del grano no será rápida. Los resultados endospermo corneo, harinoso y su relación se reportan en el cuadro 15 para todas las variedades híbridas

Cuadro 15. Porcentaje de endospermo vítreo: harinoso y su relación

Variedad de maíz	Endospermo total (%)	Endospermo Vítreo (%)	Endospermo harinoso (%)	Relación endospermo V:H*
Sable	83.30 ± 0.2	54.94 ± 1.19	28.36 ± 1.17	1.93 : 1
DK-2020	79.34 ± 0.1	32.21 ± 1.43	47.13 ± 1.17	1.4 : 1
QPM-H368C	79.20 ± 1.1	63.36 ± 1.23	15.84 ± 0.58	4 : 1
Tigre	77.84 ± 0.4	53.66 ± 1.47	24.18 ± 1.64	2.2 : 1
Bengala	83.59 ± 0.6	56.8 ± 1.25	26.79 ± 1.13	2 : 1

* Relación Endospermo Vítreo: Harinoso

Los valores representan el promedio ± la desviación estándar, (n=10)

La proporción del endospermo corneo: harinoso depende del tipo de variedad de maíz. En el maíz dentado, la relación del endospermo corneo: harinoso es en promedio 2:1. Maíces con mayor % de endospermo corneo o vítreo son maíces más duros conocidos como cristalinos. La industria harinera tiene preferencia por los maíces dentados y semi-cristalinos. Por esas características podrían calificar el Sable, el Bengala y probablemente el Tigre.

La industria harinera tiene preferencia por maíces que contengan por lo menos el 25% de endospermo corneo. Los granos con mayor % de endospermo harinoso no se seleccionan para harinas, se seleccionan para la elaboración de féculas.

3.2.1.3 Espesor del pericarpio de maíz

La medición del espesor del pericarpio de maíz nativo se realizó por microscopía electrónica de barrido a bajo vacío, los valores se muestra en el cuadro 16.

Cuadro 16. Valores del espesor del pericarpio nativo

Variedad de Maíz	Espesor ¹ (µm)
Sable	79.13 ± 0.16
DK-2020	101.32 ± 0.22
QPM-H368C	87.00 ± 0.21
Tigre	96.23 ± 0.17
Bengala	74.68 ± 0.24

¹ Medidas de espesor obtenidas en 100 lugares

Las determinaciones indicaron que los espesores de pericarpio son diferentes en las variedades. El análisis del grosor del pericarpio como función de su localización mostró que el valor promedio del grano DK-2020 de el de mayor espesor de $101.32 \pm 0.12 \mu\text{m}$ y el de menor espesor correspondió a la variedad Bengala con un valor de $74.68 \pm 0.20 \mu\text{m}$. El espesor del pericarpio contribuye también a la dureza del grano. Los espesores solicitados para la producción de harinas son menores de $90 \mu\text{m}$. Por lo que solo califican en este rubro la variedad Sable y la variedad Bengala, el QPM-H368C se acerca.

Otro aspecto importante para la industria harinera es que pericarpios con espesores mayores de $90 \mu\text{m}$ representan granos muy difíciles de hidratar, por las dimensiones de su pericarpio y además cuesta mucho tiempo removerlo. Esto repercute en tiempos demasiado largos durante la cocción y el reposo. Adicionalmente, el pericarpio no se remueve fácilmente lo que trae como consecuencia que las harinas resultantes producto de estos granos tengan colores no deseables, es decir, mas amarillas.

Por otro lado el exceso de pericarpio incrementa el gasto de energía requerido en la molienda debido a que es una estructura muy fibrosa y consume una cantidad considerable en su proceso.

Evidentemente los espesores menores requieren menor tiempo de hidratación y son de fácil remoción.

3.2.1.4 índices de flotación

El índice de flotación es una determinación donde se obtiene de manera indirecta la dureza del grano de acuerdo a la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002. El índice de flotación se determinó de acuerdo al número de granos flotantes, en el cuadro 17 se muestran los

resultados obtenidos. La norma también establece un posible tiempo de cocimiento requerido durante el proceso de nixtamalización.

Cuadro 17. Valores del índice de flotación de las variedades

Variedad de Maíz	Índice de Flotación
Sable	34 ± 0.26
DK-2020	7 ± 0.32
QPM-H368C	45 ± 0.19
Tigre	12 ± 0.27
Bengala	38 ± 0.30

Los valores representan el promedio ± la desviación estándar, (n=3)

La norma oficial mexicana NMX-FF-034/1-SCFI-2002 solicita maíces semiduros a duros para la elaboración de harina. La clasificación de los granos 1-12 son granos muy duros, 13-37 duros, 38-62 intermedios, granos suaves de 63-87, muy suaves 88-100. Las variedades DK-2020 y la variedad Tigre se encuentran dentro de la clasificación de maíces muy duros por lo que no son adecuados para la producción de harinas. El grano QPM-H368C está fuera de todas las clasificaciones, por lo que se califica como un grano de características diferentes. La variedad Sable y La variedad Bengala se encuentran dentro del rango establecido por la norma.

La norma establece una propuesta posible del tiempo de cocimiento requerido en función al índice de flotación durante el proceso de nixtamalización. Para maíces muy duros 45 min, duros 40 min, intermedios 35 min, suaves 30 min, muy suaves 25 min.

3.2.1.5 Peso hectolítrico

En el cuadro 18 se presentan los valores de la determinación del peso hectolitrico para cada una de las muestras de variedades de maíz.

Cuadro 18. Valores del peso por hectolitro de las variedades híbridas

Variedad de Maíz	Peso por hectolitro
Sable	77.17 ± 0.20
DK-2020	75.6 ± 0.23
QPM-H368C	74.3 ± 0.33
Tigre	77.7 ± 0.19
Bengala	76.13 ± 0.31

Los valores representan el promedio ± la desviación estándar, (n=3)

El peso por hectolitro más alto, tiene el valor más bajo de dureza, ya que este peso es la densidad del grano a granel, propiedad que se ve afectada por el espacio intergranular, las dimensiones del grano y su peso. La norma oficial mexicana NMX-FF-034/ 1-SCFI-2002 reporta que maíces con calidad harinera deberán estar por arriba de 74 kg/hL. De manera que todas las variedades híbridas caracterizadas entran dentro del valor establecido para utilizarse en la elaboración de harinas. Los granos de pequeñas dimensiones, se acomodan mejor dejando menor espacio inter granular que un grano grande, dando como resultado valores en peso por hectolitro mayores, los más adecuados serían el Sable y el Bengala.

3.2.2 Objetivo particular 2

Uno de los principales problemas de la industria harinera es la determinación de tiempos de cocción.

Cuando se trata de granos nuevos, o de híbridos o criollos es aún más problemático, ya que no existen referencias ni datos, por eso son necesarios los estudios como los que se han planteado en este trabajo.

Establecimiento de los tiempos de cocción

El procedimiento fue el mismo para todas las variedades híbridas de maíz. El tratamiento térmico-alcálico se realizó en un equipo piloto con control de temperatura y adquisición de datos de temperatura, los valores se registraron en una computadora personal.

3.2.2.1 Pericarpio remanente

En la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 el pericarpio remanente en un grano es un parámetro que indica cuanto pericarpio permanece en el grano después del proceso de nixtamalización. El valor reportado por la norma es 26 % como máximo.

Cuadro 19. Pericarpio remanente de las variedades

Variedad de Maíz	Pericarpio remanente (%)
Sable	24.74 ± 1.3
DK-2020	38.86 ± 1.8
QPM-H368C	25.34 ± 1.5
Tigre	31.60 ± 1.2
Bengala	22.28 ± 1.3

Los valores representan el promedio ± la desviación estándar, (n=3)

Las variedades DK 2020 y Tigre estuvieron muy por encima de las solicitadas por la norma, por lo que estas dos variedades se encuentran descartadas por la cantidad de pericarpio que permanece en sus granos. Esto no es deseable para la producción de harinas por el color que le confiere al producto. Por otro lado resulta muy difícil hidratar granos con pericarpio difícil de remover. Esto también repercute en tiempos más largos de proceso, lo que trae como consecuencia un costo adicional para la industria.

3.2.2.2 Humedad de nixtamal

Gutiérrez *et al.* (2007) utilizando los parámetros fisicoquímicos: Humedad, pH, concentración de calcio en pericarpio, ellos reportaron que para establecer el tiempo de cocción los valores que coincidían con el desprendimiento del pericarpio se encontraban en 34-36% para harinas al término de la cocción.

En la Norma NMX-FF-034-2002-SCFI establece que la humedad de nixtamal para destino a la producción de harinas debe tener un valor menor 42 % al término del reposo. Este valor es posible alcanzarlo en maíces duros, que no retengan un alto % de pericarpio. La figura 21 muestra los tiempos en que las variedades de maíces híbridos alcanzaron

humedades dentro del intervalo de 34-36 % de acuerdo a lo establecido como parámetro de medición para la cocción.

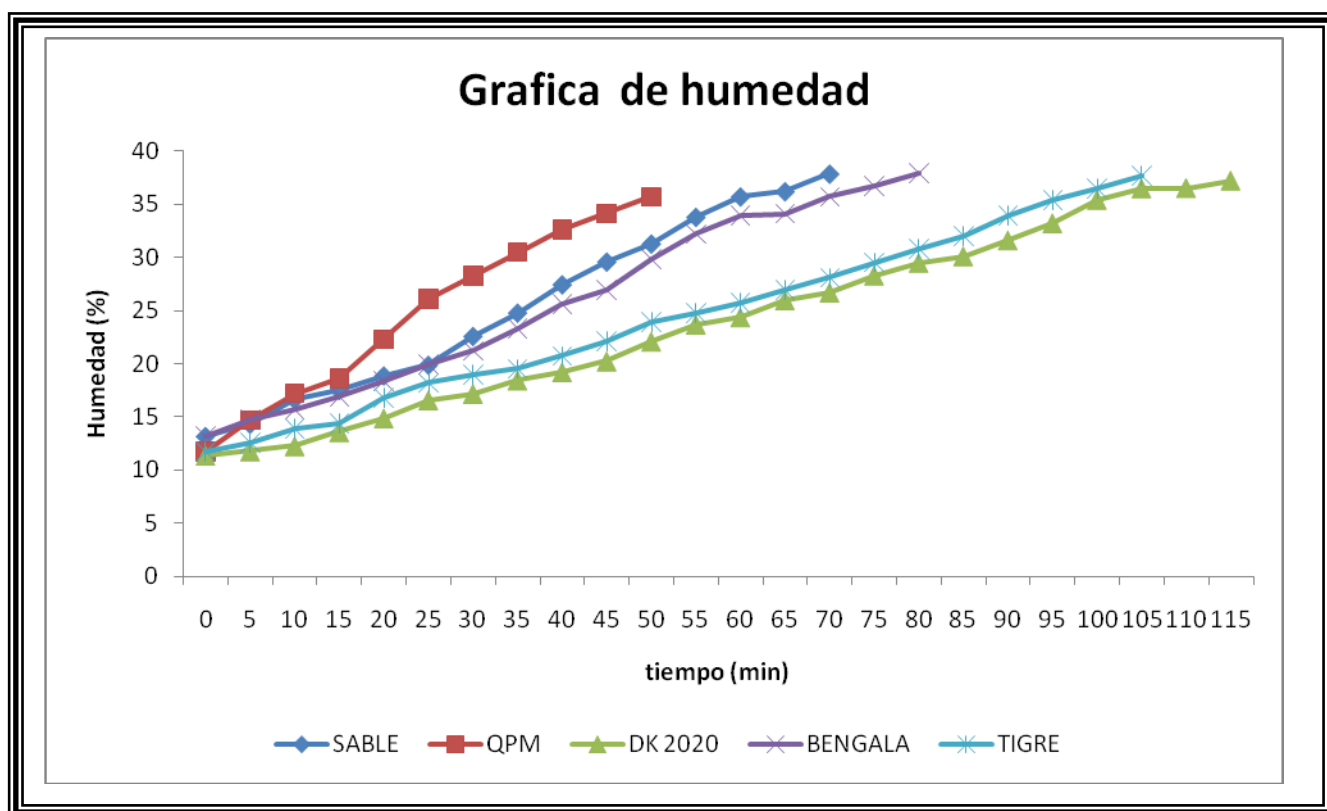


Figura 21. Humedades adquiridas durante la cocción

En la gráfica de humedad vs tiempo se puede observar que las variedades que tardaron más tiempo en alcanzar la humedad de 35-36% fueron Tigre y DK2020 con tiempos de 95 minutos y 105 minutos respectivamente. Este tiempo es indicativo de que los granos están entre la clasificación de granos muy duros, ya que cuesta mucho hidratarlos. Estos resultados concuerdan con los datos de dureza, índice de flotación y peso hectolítrico.

Con esas características las variedades Tigre y DK2020 no califican para ser procesados y elaborar harina.

3.2.2.3 pH

El valor del pH al término de la cocción en las variedades de maíz tiene relación con la cantidad de agua absorbida y la de calcio fijado. Los valores se reportan en el cuadro 20.

Cuadro 20. pH promedio de las variedades de maíz

Tiempo (min)	SABLE	QPM	DK2020	BENGALA	TIGRE
0	6.9	7.03	7.03	7	7.03
5	6.9	7.05	7.05	7.2	7.05
10	6.93	7.09	7.05	7.4	7.05
15	6.95	7.21	7.09	7.5	7.09
20	6.95	7.40	7.12	7.57	7.12
25	6.99	7.61	7.21	7.63	7.21
30	7.05	7.64	7.35	7.74	7.35
35	7.1	7.68	7.4	7.82	7.4
40	7.23	7.73	7.55	7.9	7.55
45	7.37	7.79	7.57	8.05	7.6
50	7.58	*7.85	7.61	8.1	7.68
55	7.79		7.63	7.15	7.72

Los valores representan el promedio \pm la desviación estándar, (n=3)

El valor del pH de las muestras de cada una de las variedades reportaron poca variabilidad, este factor está influenciado por la cantidad de agua absorbida por el grano y la cantidad de calcio fijada por lo que los tiempos en que los granos alcanzaron valores similares de pH fueron Sable 7.84 ± 0.12 , QPM 7.85 ± 0.10 , DK2020 7.85 ± 1.12 , Bengala $7.86 \pm$ y Tigre 7.86 ± 1.25 con tiempos de 65, 50, 115, 75 y 95 minutos respectivamente. Por eso las variedades Tigre y DK2020 son los tiempos mayores para obtener el pH solicitado.

3.2.2.4 Calcio fijado durante la cocción.

La determinación de calcio fijado en pericarpio fue importante para conocer la concentración de calcio en las muestras procesadas. Esta actividad se realizó por espectrofotometría de absorción atómica para muestras procesadas de acuerdo al método descrito por Fernández *et al.* (2004).

Esta cantidad de calcio es importante, ya que se suma a la del calcio endógeno del grano. La concentración de calcio se muestra en la figura 22.

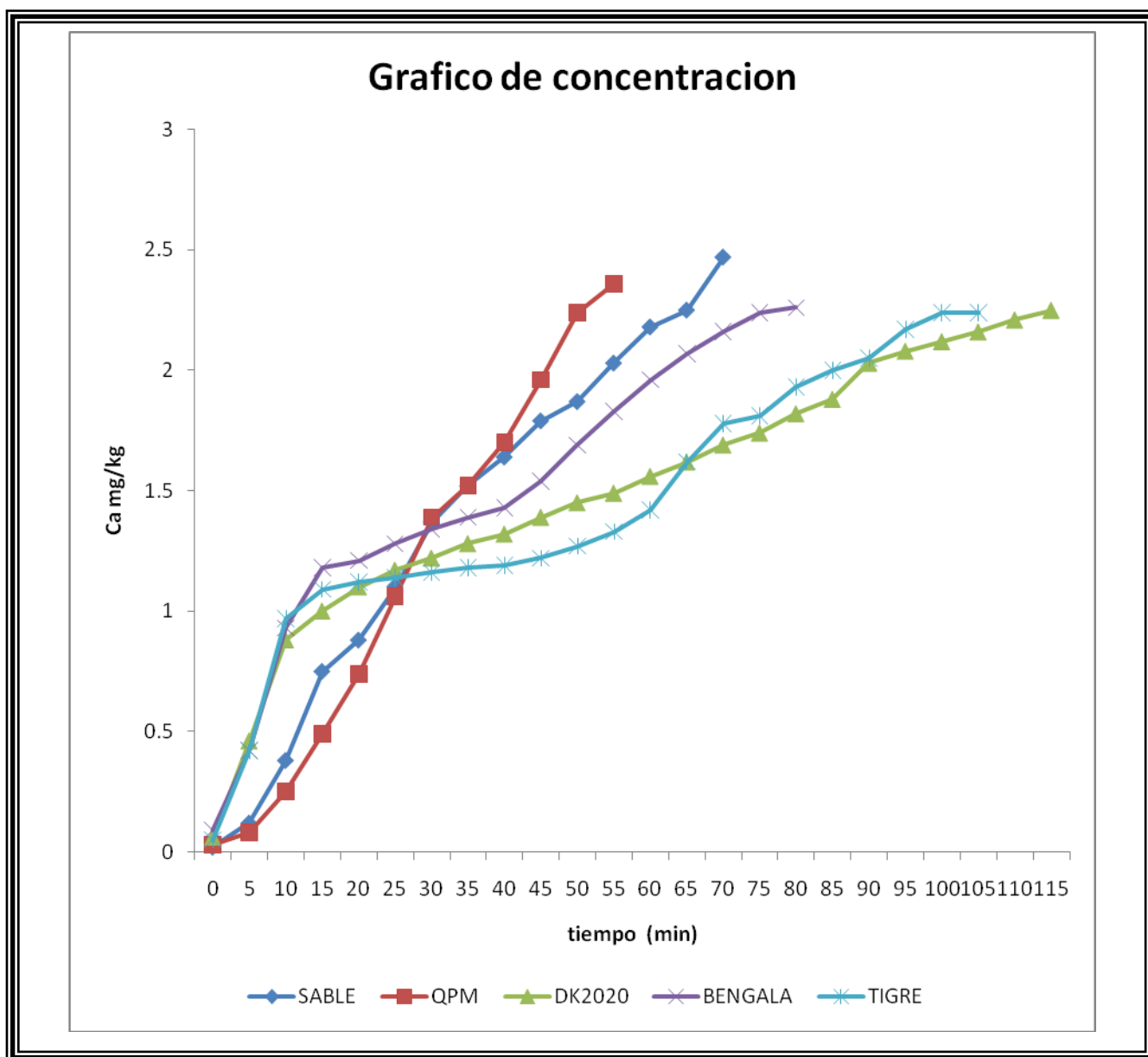


Figura 22. Concentración de Calcio fijado

La concentración de calcio fijado durante la cocción de los granos es muy importante ya que un 80% de calcio es biodisponible igualmente debido a la dureza de las variedades Tigre y DK2020, los tiempos son de 95 y 100 minutos correspondientemente en comparación con el QPM`S, Sable y Bengala que fueron de 50, 65 y 75 minutos, ya que el calcio se transporta con el agua al interior del grano. De acuerdo a esto los granos híbridos

Tigre y DK2020 no califican para la producción de harinas, ya que son muy duros y requieren mucho tiempo de cocción para que llegue el agua al endospermo y gelatinice el almidón.

3.2.2.5 Pérdidas de materia seca

Las pérdidas de materia obtenidas para las cinco variedades de maíz se cuantificaron por el balance de materia y se reportan en el cuadro 21. Los balances de materia se realizaron al concluir el tratamiento térmico alcalino para cada una de las variedades al término de la etapa de reposo.

Cuadro 21. Perdida de materia seca de las variedades

Variedad de Maíz	Perdidas de materia (mg/kg)
Sable	3.13 ± 0.21
DK-2020	1.22 ± 0.16
QPM-H368C	2.63 ± 0.32
Tigre	1.39 ± 0.28
Bengala	3.48 ± 0.44

Los valores representan el promedio ± la desviación estándar, (n=3)

Las mayores pérdidas de materia se reportan para la variedad Bengala posteriormente la variedad Sable. La variedad que menos materia pierde es la DK-2020 y la Tigre. Estos datos coinciden con la cantidad de pericarpio remanente y con los tiempos de hidratación, por lo que aprecia que son variedades con pocas calidad para destino en la producción de harinas.

3.2.3 Objetivo particular 3

- **Molienda húmeda**

Se molieron 2000 g de nixtamal que se proceso. La molienda húmeda se realizó en un molino de piedras (FUMASA, modelo 100). Los discos del molino se mantuvieron con una abertura entre las piedras o elementos molientes de 3 mm y una velocidad de alimentación

constante, proporcionada por el dosificador del molino. En este equipo se obtuvo el granulado húmedo. El granulado se colocó y distribuyó en charolas de acero inoxidable como muestra la figura 23 para deshidratarse.



Figura 23. Molienda húmeda

- **Secado de las muestras**

Todos los granulado de maíz húmedo obtenidos, se secaron a vacío en un equipo (construido en el Laboratorio de Fisicoquímica de Alimentos FATA, UNAM *campus* Juriquilla) a una temperatura de 40 °C . El tiempo de secado se prolongó hasta que las muestras alcanzaron una humedad del 12 %. Cabe destacar que las muestras con mayor tiempo de secado fueron la variedad DK2020 y la variedad Tigre. Las muestras deshidratadas se aprecian en la figura 24.



Figura 24. Granulados deshidratados

Posteriormente, se pesaron para obtener el rendimiento de nixtamal. Datos que se muestran en el cuadro 22. Posteriormente se molieron las muestras.

Cuadro 22. Rendimiento de nixtamal de las variedades

Variedad de Maíz	Rendimiento por Kilogramo (kg)
Sable	1.760± 1.12
DK-2020	2.123± 1.36
QPM-H368C	1.834 ± 1.12
Tigre	2.14 6± 1.18
Bengala	1.873 ± 1.23

En el cuadro 22 se puede apreciar que el mayor rendimiento de nixtamal correspondió a las variedades DK-2020 y Tigre. Estos datos eran evidentes debido a que fueron los granos más duros y al hidratarse después del proceso pesaron más. Sin embargo, estos granos fueron los que no aprobaron la mayoría de las pruebas.

- **Molienda seca**

Las muestras de granulado ya secas se pulverizaron en un molino de martillos fijos con elementos molientes estriados (Pulvex, modelo 200) que se muestra en la figura 25.



Figura 25. Molino de martillos Pulvex 200

- **Rendimiento**

Para obtener el rendimiento las muestras se pesaron como muestra la figura 26 a cada uno de los tamices y se realizo la sumatoria de los pesos retenidos en malla 70, 80, 100 y plato como muestra la figura 26 b y 26 c posteriormente se calculó el porcentaje que pasó el tamiz 60 USA. Con estos datos se estimo el rendimiento para cada una de las muestras.

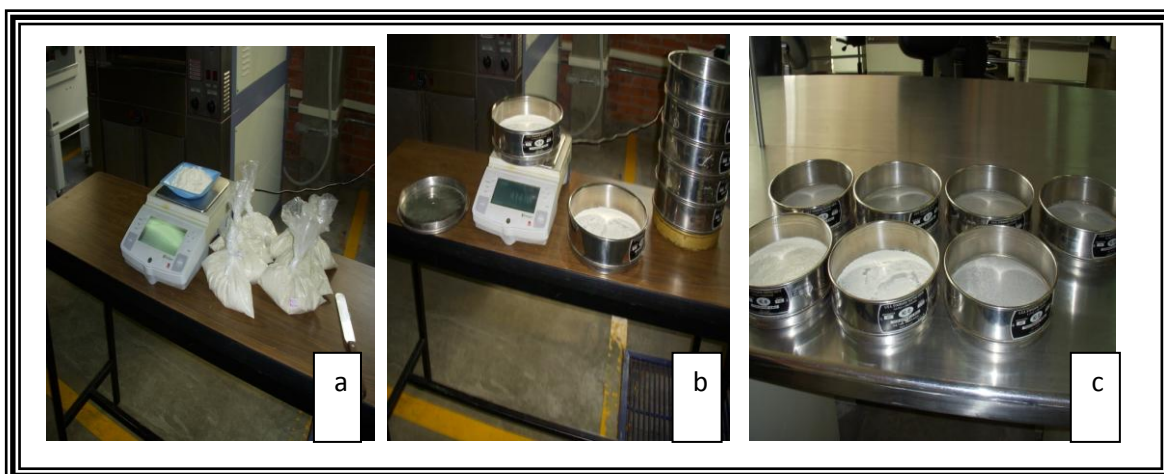


Figura 26 a) Pesado de harina, 26 b) pesado de tamices, 26 c) distribución de harina en tamices.

En el cuadro 23 se muestran los resultados del rendimiento de las harinas de maíz nixtamalizadas obtenidas de las cinco variedades de maíz híbridas.

Cuadro 23. Rendimiento de harinas de las variedades

Variedad	Tamiz 30	Tamiz 35	Tamiz 40	Tamiz 45	Tamiz 50	Tamiz 60	Tamiz 70	Tamiz 80	Tamiz 100	plato	Σ	RENDIMIENTO Σ 70-120
SABLE	0	1.78	2.92	3.18	5.23	6.21	39.76	27.25	8.93	4.73	99.99	80.31
DK2020	2.02	23.3	25.21	23.11	9.11	8.10	6.12	3.0	0	0	99.97	9.12
QPM-H368C	0.84	3.12	4.21	7.13	8.68	10.91	28.11	20.31	13.0	3.53	99.84	64.95
TIGRE	5.4	9.81	17.71	21.63	10.58	11.74	6.20	7.51	6.17	3.18	99.93	23.06
BENGALA	1.12	2.63	3.21	4.58	5.16	7.28	26.11	23.34	20.15	6.23	99.81	75.83

Las únicas variedades que cumplieron la norma en rendimiento fueron la variedad Sable y variedad Bengala, el QPM H368C se acerca. Definitivamente las variedades Tigre y DK-2020, se encontraron muy lejos. Por lo que estas dos últimas variedades no califican con el rendimiento, junto con otros factores debido a que son granos muy duros es difícil alcanzar el estándar estipulado por la norma oficial mexicana NMX-046-S-1980 que especifica que por lo menos el 75% del material debe pasar por el tamiz 60 USA.

3.2.4 Objetivo Particular 4

3.2.4.1 Concentración de calcio fijado

La concentración de calcio fijado en cada una de las variedades híbridas procesadas a 82 °C (Cocción y reposo) se reporta en el cuadro 24

Cuadro 24. Concentración de calcio fijado durante el proceso de nixtamalización

Variedad de Maíz	Concentración de calcio (mg/kg)
Sable	0.17 ± 1.1
DK-2020	0.34 ± 1.3
QPM-H368C	0.20 ± 1.0
Tigre	0.30 ± 1.5
Bengala	0.26 ± 1.3

Los valores representan el promedio ± la desviación estándar, (n=3)

En el cuadro 24 se puede apreciar que la mayor concentración de calcio durante el proceso de nixtamalización correspondió a la variedad DK-2020 y en seguida el Tigre. Inicialmente estos granos tenían la mayor concentración de calcio endógeno, el cual se realizó por absorción atómica. Sin embargo, es considerable el valor final de calcio para estas dos variedades.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Se evaluó la calidad de los híbridos de acuerdo a los atributos que solicita la norma oficial mexicana NMX-FF-034/1-SCFI-2002 para considerar si tenían potencial para elaborar harinas de maíz nixtamalizado. De las cinco variedades; Sable, DK-2020, QPM-H368C, Tigre y Bengala, no todas las variedades estudiadas entraron dentro de los estándares para ser utilizados en este proceso.
- Los atributos físicos de los granos de maíz son los que tienen el mayor peso para definir la calidad. Para las pruebas del peso promedio las variedades de maíz no seleccionadas por estar por arriba de los valores fueron DK-2020 y Tigre. Los cuales no califican por los resultados de las pruebas del % de las estructuras y por las dimensiones, ya que fueron granos muy grandes. Fueron también, los que reportaron mayor porcentaje de endospermo corneo, su índice de flotación tubo los valores más bajos por tratarse de granos extremadamente duros, lo que le asigna tiempos de cocción más grandes. Adicionalmente, su espesor de pericarpio reportó los valores de 101.32 ± 0.22 , 101.32 ± 0.22 μm correspondientemente, por arriba de lo solicitado por la norma y por supuesto el mayor % de pericarpio remanente después del cocimiento. A pesar de que estas pruebas que descalificaron a las variedades DK-2020 y Tigre se siguieron analizando, ya que se requieren suficientes evidencias para demostrar que no tienen potencial para producción de harinas. Su color como harinas, fue no deseable, se prefieren tonalidades blancas o amarillos muy tenues y presentaron mayor tonalidad. En cuanto a la prueba del rendimiento que especifica que por lo menos el 75% del material debe pasar por el tamiz 60 USA fueron 9.12 y 23.06 % correspondientemente. Estas variedades reportaron valores muy por abajo de lo solicitado. prácticamente se les consideraba sin potencial para la industria harinera y nixtamalera. Su destino sería la elaboración de alimento para animales.
- Los granos con valores de calcio más altos después de la cocción y el reposo fueron el DK-2020 con 0.34 ± 1.3 y la variedad Tigre 0.30 ± 1.5 . Estos resultados

estaban pronosticados, debido a que desde un principio tenían el mayor valor de calcio endógeno por las tierras donde se cultivaron. Este atributo no tiene que ver con el destino en el proceso de las variedades, pero si es un parámetro importante que debe ser considerado para la alimentación en humanos por su aporte nutricional. Sin embargo, no es importante si no se pasan las pruebas de calidad. Por esa razón a estas dos variedades se les considera sin potencial para la elaboración de harinas.

- Las variedades Sable y Bengala estuvieron dentro de los intervalos de valores solicitados por la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 lo que hace que califiquen exitosamente para producción de harinas de maíz nixtamalizado.
- La variedad QPM-H 368C resultó con inconvenientes, como es en el análisis químico, donde el parámetro más importante es el contenido de grasas en el maíz. Este fue el único grano que resultó con valores apenas superiores a los solicitados por la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002, con un 4.6 %. Se requiere se encuentre en un intervalo de 3.5 - 4.5 %. Sin embargo, esta variedad obtuvo buenos resultados en otras pruebas como; el rendimiento, color y tiempo de cocción por lo que califica para producción de harinas.

RECOMENDACIONES

- Se recomendaría utilizar más variedades de maíces, no sólo híbridos, también utilizar maíces criollos, para que las variedades cosechadas en nuestro territorio mexicano sean utilizados para fines industriales y no solo para consumo animal.
- Esta caracterización debería también aplicarse para la industria molinero- tortillera, no únicamente para la harinera.
- Hay parámetros de calidad que recomienda la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 que son muy indirectos como el peso hectolitrico y el índice de flotación. Habría que revisar otras técnicas y metodologías que han empleado algunos autores. Algunos de ellos consideran las pruebas dentro del proceso como el tiempo de cocción recomendado y el pericarpio remanente después del reposo.

***REFERENCIAS
BIBLIOGRAFICAS***

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AACC (2000). Approved Methods 08-01 30-25 and 46-13. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA.
- Allen, M. D. (1994). Nutrition and health, ingredient analysis table feeds tuffs reference issue. Eds. Scheid. *Journal and Muirhead*, **65** (1): 24-35.
- Amezcuita, E.; Chavez, L. F.; Molina, D. L.; Hoyos, P. y Galvis, J. H. (2003). Susceptibility to compaction of improved soils (oxisols) in the Eastern Plains of Colombia. International soil Tillage Research organization Conference, Proceedings of ISTRO-16. "Soil Management for Sustainability". Brisbane, Australia, 13-18. Pp. 1-73.
- AOAC (2000). Official Methods of Analysis of AOAC International, seventeenth ed. AOAC, Gaithersburg, MD, USA.
- ASAE Standards, (1995). S319.2: Methods for Determining and Expressing Fineness of Feed Materials by Sieving. ASAE, St. Joseph, Michigan.
- Asturias, M. A. (1975). Hombres de maíz. Ed. Universitaria Centroamericana, EDUCA, Guatemala. Pp.24-42.
- Bedolla, S. y Rooney, L. W. (1984). Characteristics of U.S and Mexican instant maize flours for tortilla and snack preparation. *Cereal Foods World* **29**, 372-377
- Bedolla, S. y Rooney, L.W. (1982). Cooking maize for masa production. *Cereal Foods World* **27**, 219-221
- Bello, L. A.; Osorio, S. P.; Amaga, A. E.; Nuñez, S. C. y Paredes-Lopez, O. (2002). Chemical, physicochemical and rheological properties of masa and nixtamalized corn flour. *Agrociencia* **34**, 6-14.
- Billeb, A.; Bressani R. (2001). Características de cocción por nixtamalización de once variedades de maíz. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* **51**: 86-94
- Bressani, R. y Scrimshaw, N.S. (1958). Effect of lime treatment on in-vitro availability of essential amino acids and solubility of protein fractions in corn. *Journal. Agricultural. Food Chemistry* **6**. 770-774.

- Bressani, R.; Benavidez, B.; Acevedo, E. y Ortiz, M. A. (1990). Changes in selected nutrient content and in protein quality of corn masa and quality protein maize during rural tortilla preparation. *Cereal Chemistry* **67**: 515-518.
- Bressani, R.; Medrano, J. F.; Elias, L. G.; Gómez-Brenes, D.; González, J. M., y Navarrete, R. K. (1982). Estudios de control de insectos para la preservación del maíz Opaco-2 almacenado y efecto sobre su valor nutritivo. *Turrialba* **32**, 51-58.
- Bressani, R.; Turcios, J. C.; Reyes, L. C. y Merida, R. S. (2001). Caracterización Física y Química de harinas industriales nixtamalizadas de maíz de consumo humano en América Central. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. **51**(3):309-313.
- Brown, R. R.; Fulford, G. N.; Daynard, T. B.; Meiering, A. G. y Olken, L. O.(1979). Effect of drying method on grain corn quality. *Cereal Chemistry* **56**, 529-532.
- Cortez, A. y Wild-Alltamirano, C. (1972). Contribution to the technology of maize flour. In: Nutritional Improvement of maíz. R. Bressani, J. E. Braham and M. Behar, eds. INCAP Pub. L.4, INCAP, Guatemala.
- Enciclopedia de México. (1978). Editorial Enciclopedia de México S.A., México. Pp. 27-34.
- FAO, (1992). Anuario de producción. Superficie cosechada, rendimiento de maíz y usos. Reporte técnico. Roma, Italia. 52, 17-32.
- FAO, (1993). El maíz en la nutrición humana. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Roma. Italia. Pp. 1-5.
- Fernandez-Muñoz, J. L.; Rodríguez, M. E.; Pless, R. C.; Martínez, L. I. y Baños, L. (2002). Changes in nixtamalized corn flour depend on post cooking steeping time, *Cereal Chemistry* **79**: 162-166.
- Fernandez-Muñoz, J. L.; Rojas-Molina, I; Gonzalez-Davalos, M. L.; Leal, M.; Valtierra, M. E.; Martín-Martínez, E. y Rodríguez, M. E. (2004). Study of calcium ion diffusion in components of maize kernels during traditional nixtamalization process. *Cereal Chem* **81**, 65-69.

- García, M. S. *Diario La Jornada*. Agosto 12 (2009). México D. F.
- Gill, N. T. y Vear, K. C. (1965). *Botanica Agrícola*. Ed. Acribia, Zaragoza España. Pp. 41-45.
- Giral, B. A. (1994). 2^{do} folletín. Comercialización de un desarrollo tecnológico. CINVESTAV, México, D. F.
- Gómez, M. H.; Mc Donough, M. C.; Rooney, L. W. y Waniska, R. D. (1989). Changes in corn and sorghum during nixtamalization and tortilla baking. *Journal Food Science* **54**(2): 330-336.
- Gómez, M. H.; Mc Donough, M. C.; Rooney, L. W. y Waniska, R. D. (1989). Changes in corn and sorghum during nixtamalization and tortilla baking. *Journal Food Science* **54**(2): 330-336.
- González, R.; Reguera, E.; Figueroa, J. M.; y Sanchez-Sinacio, F. (2004). Physicochemical changes in the Hull of corn grains during their alkaline cooking. *Food Chemistry* **52**: 3831-3837.
- Gutiérrez, C.E.; Rojas-Molina, I.; Pons-Hernández. J.L.; Guzmán, H.; Aguas-Ángel, B.; Arenas, J.; Fernández, P.; Herrera, G. y Rodríguez, M.E. (2007). Study of calcium ion diffusion in nixtamalized quality protein maize as a function of the cooking temperature. *Cereal Chem* **84** (2): 186-194.
- Hooseney, R. C. (1991). *Principios de ciencia y tecnología de los cereales*. Ed. Acribia. Zaragoza, España. Pp. 32-76.
- Illescas, R. (1943). La teoría química de la formación del nixtamal. *Sociedad mexicana de historia Natural* **4**:129-132.
- Jakson, D. S.; Rooney, L. W.; Kunze, O. P. y Waniska, R. D. (1988). Alkaline processing properties of stress-cracked and broken corn (*Zea mays* L.). *Cereal Chemistry* **65**, 133-137.
- Katz, S. H.; Hediger, M. L. y Valleroy, L. A. (1974). Traditional maize processing techniques in the new world. *Science* **184**, 765-773.

- Khan, M. N.; Desrosiers, M. C.; Rooney, L. W.; Morgan, R. G.; Sweat, V. E. (1982). Corn tortillas: evaluation of corn cooking procedures. *Cereal Chemistry* **59**, 279-284.
- Klaus, J. L. y Karel, K. W. (1991). Handbook of Cereal Science y Technology. Pp. 148-162.
- Martínez, B. F. y Guiragossian, V. (1989). Comparación de metodos de dureza en sorgo y su relación con los parámetros de tratamiento alcalino y su calidad de tortillas. Presentado en: Reunión Nacional sobre sorgo y maíz, 2-5 de octubre, Memorias. Guadalajara Jalisco, México.
- Marínez-Bustos, F., Morales, S. E., Chang., K., Herrera-Gómez, A., Martínez, J.J., Baños, L., Rodríguez, M.E., and Flores, M.H. (1999).Effect of infrared baking on wheat flour tortilla characteristics. *Cereal Chem.* 76: 491-495.
- Martínez-Herrera, M. L. y Lechance, P. A. (1979). Corn (*Zea mays*) kernel harness as an index of the alkaline cooking time for tortilla preparation. *Journal Food Science* **44**, 377-390.
- Matz, A. S. (1991). The chemistry and tecnologia of cereals as food and feed. An Arl Book 2^a.ed. New York. USA.
- Mendez-Albores, J. A.; Arambula-Villa, G.; Loarca-Piña, M. G.; Castaño-Tostado E. y Moreno-Martinez, E. (2005). Safety and Efficacy Evaluation of Aqueous Citric Acid to Degrade β -aflatoxins in Maize. *Food and chemical Toxicology* **43**, 233-238.
- Moreno Martínez Ernesto. (1984). Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Universidad Nacional Autónoma de México. Pp.17-20.
- NMX-F-046-S-1980. Harina de maíz nixtamalizado. Norma Mexicana. Secretaria de comercio y fomento Industrial. Dirección General de Normas.
- NMX-FF-034/1-SCF-2002. Harina de maíz nixtamalizado. Norma Mexicana. Secretaria de fomento Industrial. Dirección de Normas.
- Paredes-López, O. y Saharopulos-Paredes, M. E. (1983). Maize. A review of tortilla production technology. *Bakers Digest* **57**. 16-25.

- Pomeranz, Y. Z. y Lai, F. S. (1986). Comparison of methods for determination of hardness and brakage susceptibility of commercially dried corn. *Cereal Chemistry* **63**, 39-43
- Popul Vuh. (1975). Las antiguas historias del Quiche. Ed. Universitaria Centroamericana, EDUCA, Guatemala. Pp. 78-86.
- Ramos, G., Peste-Valdez, M., Connor-Sánchez, A., Placencia, C. y Pless, R. (2004). Hydration rates for various types of Mexican maize based on single-kernel measurements. *Cereal Chemistry*. **81**, 308-313.
- Reyes C. P. (1990). El maíz y su cultivo. Edit AGT Editor S.A. México, D.F. Pp. 85.
- Rodríguez, M. E., Yáñez-Limón, J. M., Alvarado-Gil, J. J., Vargas, H., Sánchez-Sinencio, F., Figueroa, J. D. C., Martínez, B. F., González- Hernández, J., Silva, M. D., and Miranda, L. C. M. (1995). Influence of the structural changes during alkaline cooking on the thermal, rheological and dielectric properties of maize tortillas. *Cereal Chemistry*. **73**, 593-600.
- Rodríguez, M. E.; Yañez, J. M.; Figueroa, J. D.; Martínez B. F.; González-Hernández, J. y Martínez-Montes J. L. (1990). The influence of slaked limen content on the processing conditions of cooked maize tortillas: changes of Thermal, structural and rheological properties. *Z Lebensm Unters Forsch* **201**, 236-240.
- Rojas, L. F. (1988). La cultura del maíz en Guatemala. Guatemala: Ministerio de cultura y deportes. Pp. 67-69.
- Rojas-Molina, I., Gutiérrez-Cortez, E., Palacios-Fonseca, A., Baños, L., Pons-Hernández, J.L., Guzmán- Maldonado, S.H., Pineda- Gómez, P., Rodríguez, M.E. 2007. Study of structural changes in endosperm of quality protein maize during traditional nixtamalization process. *Cereal Chemistry* **84**, 304-312.
- Rojas-Molina, I.; Gutierrez, E.; Cortes-Acevedo, M. E.; Falcon, A.; Bressani, R.; Rojas, A.; Ibarra, C.; Pons-Hernandez, J. L.; Guzman-Maldonado, S. H.; Cornejo-Villegas, A. y Rodriguez, M. E. (2008). Analisis of quality protein changes in nixtamalize QPM flours as a function of the steeping tim. *Cereal chemistry* **85** (3): 409-416.

- Rooney, L. W. y Almeida-Domínguez. (1995). Productos de maíz nixtamalizado y calidad de maíz. Seminario sobre tecnología de la tortilla. Asociación Americana de Soya. México. D.F. Pp. 25-34.
- Rooney, L. W. y Serna-Saldivar, S. O. (1987). Food uses of whole corn and dry-milled fractions. Pp 399-429. In: Corn Chemistry and Technology. S. A. Watson and P. E. Ramsted, eds American. *Association Cereal Chemistry*. St. Paul, MN.
- SAGARPA, (2006). Secretaria de Agricultura y Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México, D.F.
- Salinas M. Y. (2004) Calidad de maíz para las Industrias de la Tortilla y harina. Memorias del del 1^{er} Congreso Nacional de Nixtamalización. Pp 23-31.
- Salinas, M. Y.; Arcelano J. L. y Martínez, F. (1992). Propiedades físicas, químicas y correlaciones de maíz híbrido procesados para valles altos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. **42**, 161-167.
- Salinas, M. Y.; Martínez, F. y Gómez, J. (1982). Comparación de métodos para medir la dureza del maíz (*Zea mays*). *Archivos Latinoamericanos de Nutricion* **42**, 59-63.
- Salinas, M. Y.; y Arcelano, J. L. (1989). Calidad nixtamalera y tortillera de híbridos de maíz con diferente tipo de endospermo. *Rev. Fit. Mex.* 12:129-135.
- Salinas-Morales, Y.; Martinez-Bustos, F.; Soto-Hernandez, M.; Ortega-Paczka, R. y Arellano-Vazquez, J. L. (2003). Efecto de la nixtamalización sobre antocianinas del grano de maíces pigmentados. *Agrociencia* **37**, 617-628.
- Serna-Saldivar, S. O.; Almeida-Domínguez, H. D.; Gómez, M. H.; Bockholt, A. J. y Rooney, L. W. (1991). Method to evaluate ease of pericarp removal of lime-cooked corn kernels. *Crop Science* **31**, 842-844.
- Serna-Saldivar, S. O.; Gomez, M. H., y Rooney, L. W. (1990). Technology, chemistry and nutritive value ok alkaline-cooked corn products. Ch. 4 In:*Cereal Science* **10**, 243-247.
- Serna-Saldivar, S. O.; Gómez, M. H.; Almeida-Domínguez, H. D.; Islas- Rubio, A. y Rooney, L. W. (1993). A method to evaluate the lime-cooking properties of corn. *Cereal Chemistry* **70**, 762-764.

- Serna-Saldivar, S. O.; Gomez, M. H.; Islas-Rubio, A. R.; Backholt, A. L. y Rooney, L. W. (1992). The alkaline processing properties of quality protein maize. Quality protein maize. ET. Mertz, Ed. *American Association of cereal chem.* St. Paul, MN. Pp. 273-294
- Serna-Saldivar, S. O.; Knobe, D. A.; Rooney, L. W.; Tanksley, T. D. y Sproule, A. M. (1988). Nutritional value of sorghum and maize tortillas. *Journal of Cereal Science* **7**, 83-94.
- Serna-Salivar, S. O.; Rodríguez G. M. E; Gutiérrez, C. E.; Rojas-Molina, J. I.; Cornejo-Villegas, M. A. (2008). Nixtamalización del maíz a la tortilla: ISBN 978-607-7790-17-9. Pp. 46-49.
- Skoog, A.D. y Learly, J. J. (1995). Analisis instrumental. *Ed. Mac Graw-Hill.* México, D.F. Pp. 227-295.
- Tortosa, M. E. y Primo, Y. E. (1982) .Química agrícola III, Alimentos. Ed. Alambra. México, D.F. Pp. 28-46.
- Trejo-González, A.; Feria-Morales, A. y Wild-Altamirano, C. (1982). The role of lime in the alkaline treatment of corn for tortilla production. Modifications of proteins Food, nutritional, and pharmacological aspects. Pp. 245-263 En: *Advances in Chemistry*. R. E. Freney y J. R. Whitaker, (eds). Acs: Washington, D. C.
- Tucux-Sajquin, A. de R., y Bressani R. (2004). Relación entre algunas características fisico-químicas de variedades de maíz y algunos parámetros de maíz nixtamalizado. Guatemala. Botellin 2, Pp. 4-27.
- Vaqueiro, C. M. y Reyes, P. (1986). Process for producing nixtamalized corn flour. U. S *Patent No. 4*, 594,260.
- Watson, S. A y Ramsted, P. E. (1987). *Corn Chemistry and Technology*, American Association of Cereal Chemist Minnesota. U.S.A.

- White, J. P. y Johnson, L. A. (2003). Description, development, structure and composition of the corn kernel. Chapter 3. En: *Corn Chemistry and Tecnology*. 2 Ed. American Association of Cereal Chem. Inc. Minnesota, USA. Pp. 69-78.
- Wolf, M. J.; Buzan, C. L.; Mac Master, M. M. y Rist. C. E (1952). Structure of the mature corn kernel.III. Microscopic structure of the endosperm of dent corn. *Cereal Chemistry* **29** (5): 349-361.