



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN**

**Caracterización física y química de 20 variedades
de maíz híbridas y criollas para su selección
a la industria molinero-tortillera o harinera.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA EN ALIMENTOS

PRESENTA:

YENETH YESCAS MARTÍNEZ

ASESORA: DRA. ELSA GUTIÉRREZ CORTEZ

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO

2012



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
 UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: **VOTO APROBATORIO**

DRA. SUEMI RODRÍGUEZ ROMO
 DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLÁN
 PRESENTE



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

Con base en el Art. 28 del Reglamento de Exámenes Profesionales nos permitimos comunicar a usted que revisamos la: **TESIS**
Caracterización física y química de 20 variedades de maíz híbridos y criollos para su selección a la industria molinero-tortillera o harinera

Que presenta la pasante: **Yeneth Yescas Martínez**
 Con número de cuenta: **09733205-3** 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 ESPÍRITU"
 Cuautitlán Izcalli, Méx. a 04 de Junio de 2012.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	IA. Laura Margarita Cortazar Figueroa	
VOCAL	Dra. Elsa Gutiérrez Cortez	
SECRETARIO	IA. Sandra Margarita Rueda Enríquez	
1er SUPLENTE	M. en C. Enrique Martínez Manrique	
2do SUPLENTE	IA. Frida Rosalía Cornejo García	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 120).
 HHA/pm



A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, a la que es un orgullo y privilegio pertenecer.

A la **DOCTORA ELSA GUTIÉRREZ CORTEZ**. Por su infinita paciencia, por sus sabios consejos, su apoyo incondicional, por la aportación de sus conocimientos en la estructuración y redacción de esta tesis. Gracias por la confianza y amistad brindadas desde el principio de este proyecto ya que fue un factor muy importante para la culminación de este trabajo experimental por lo que estaré eternamente agradecida con usted.

“POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”

José Vasconcelos



A **DIOS**. Por darme la familia que me ha dado, porque me ha permitido vivir este momento tan anhelado, porque siempre ha estado con nosotras dándonos consuelo en momentos difíciles. Gracias hoy, mañana y siempre por todo lo que nos das.

A mi **PADRE**. † Por ser un padre ejemplar y brindarme su apoyo durante toda su vida. Por fomentar en mí la fe en Dios y espero que tengas la seguridad de que donde estés te llevamos presente en nuestros pensamientos en cada instante de nuestras vidas.

“Lámpara es a mis pies tu palabra, y lumbrera a mi camino”. Salmos 119:105

A mi **MADRE**. Por ser una parte esencial en mi vida. Me faltan palabras para expresar mi profundo agradecimiento por el amor, la paciencia, confianza, consideración y esmero constante para alentarme en la realización de este trabajo. Eres la mujer más hermosa, dedicada, valiente e inteligente que Dios me ha dado.

A mis **HERMANAS**. Por impulsarme a alcanzar cada uno mis objetivos, brindándome su apoyo incondicional.

A mi sobrino **DANIELITO**: Doy gracias a Dios por tu existencia. Porque con tu sonrisa nos iluminas todos los días y llenas de felicidad nuestras vidas. Eres una personita asombrosa.

¡MUCHAS GRACIAS!

CONTENIDO	PÁGINA
ÍNDICE	
LISTA DE CUADROS	
LISTA DE FIGURAS	
RESUMEN	
INTRODUCCIÓN	i
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	1
1. Generalidades del maíz.....	1
1.1 Adaptación y cultivo del maíz	2
1.2 Maíz híbrido.....	7
1.3 Maíz Criollo.....	7
1.4 Calidad del grano de maíz.....	8
1.5 Parámetros que utiliza la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002.....	11
1.6 Propiedades físicas del maíz.....	14
1.7 Composición química del maíz.....	19
1.8 Proceso de nixtamalización	22
1.9 Proceso tecnológico de elaboración de harinas.....	24
1.10 Rendimiento de nixtamal para la Industria molinero-tortillera.....	26
1.11 Rendimiento a la norma de harinas NMX-F-046-S-1980.....	27
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	28
Problema, Objetivo General, Objetivos Particulares.....	28



Cuadro Metodológico del desarrollo experimental.....	29
2 Descripción de actividades preliminares.....	30
2.1 Caracterización de la materia prima.....	30
2.1.1 Basura y productos extraños (impurezas).....	32
2.1.2 Presencia de granos bola	34
2.1.3 Presencia de granos sin cofia o pedicelo.....	35
2.1.4 Presencia de granos dañados por insectos.....	36
2.1.5 Presencia de granos con fisuras y rotos.....	37
2.1.6 Presencia de granos dañados por calor	38
2.1.7 Presencia de granos con hongos	39
2.2 Caracterización física del grano	40
2.2.1 Dimensiones de los granos	40
2.2.2 Índice de flotación de los granos.....	41
2.2.3 Peso Hectolítrico de los granos.....	43
2.2.4 Determinación de color de los granos.....	45
2.2.5 Porcentaje de estructuras	47
2.2.6 Espesor del pericarpio.....	50
2.2.7 Dureza de los granos de maíz.....	51
2.2.8 Peso de los 1000 granos de maíz.....	52
2.3 Caracterización química del grano	53
2.3.1 Humedad de los granos.....	53

2.3.2 Determinación de grasas.....	55
2.3.3 Determinación de cenizas.....	58
2.3.4 Determinación de proteína cruda o bruta.....	60
2.3.5 Determinación de fibra.....	62
2.3.6 Determinación de carbohidratos.....	63
2.3.7 Determinación de calcio endógeno.....	63
2.4 Objetivo Particular 3.....	66
2.4.1 Nixtamalización de las variedades de maíz criollo e híbrido.....	66
2.4.2 Determinación del proceso de nixtamalización.....	67
2.5 Determinación del rendimiento.....	70
2.6 Determinación de la concentración de calcio en muestras procesadas.....	71
2.7 Análisis estadístico.....	72
CAPÍTULO III RESULTADOS	73
3 Descripción de Actividades Preliminares.....	73
3.1 Resultados de la caracterización de la materia prima.....	73
3.1.1 Basura y productos extraños (impurezas).....	73
3.1.2 Presencia de granos bola.....	75
3.1.3 Granos híbridos sin cofia o pedicelo.....	76
3.1.4 Presencia de granos dañados por insectos.....	78
3.1.5 Presencia de granos con fisuras y rotos.....	80

3.1.6 Presencia de granos dañados por calor.....	82
3.1.7 Presencia de granos con hongos.....	84
3.2 Resultados de la caracterización física del grano.....	85
3.2.1 Dimensiones del grano.....	85
3.2.2 Índice de flotación de los granos.....	87
3.2.3 Peso Hectolítrico de los granos.....	89
3.2.4 Resultados de color de los granos.....	90
3.2.5 Porcentaje de estructuras.....	92
3.2.6 Espesor del pericarpio.....	95
3.2.7 Dureza de los granos de maíz.....	96
3.2.8 Peso de los 1000 granos de maíz.....	98
3.3 Resultados de la caracterización química del grano.....	101
3.3.1 Resultados de humedad.....	102
3.3.2 Grasa de los granos.....	102
3.3.3 Cenizas de los granos.....	103
3.3.4 Proteína cruda o bruta de los granos.....	103
3.3.5 Fibra de los granos.....	103
3.3.6 Carbohidratos de los granos.....	104
3.3.7 Calcio Endógeno de los granos.....	104
3.4 Objetivo Particular 3.....	106
3.4.1 Nixtamalización de las variedades de maíz híbridas y criollos.....	106

3.4.2 Resultados de humedad en la cocción.....	106
3.5 Determinación del rendimiento de harina de maíz.....	110
3.6 Determinación de la concentración de calcio en muestras procesadas	111
3.7 Análisis estadístico.....	115
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	116
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	131
ANEXO.....	138



FIGURA		PÁGINA
1.1	Localización del bajío en la República Mexicana.....	6
1.2	Granos de maíz de diferente color.....	16
1.3	Rendimiento del nixtamal al término del drenado del nejayote.....	27
2.1	Cuadro metodológico del desarrollo experimental.....	29
2.2	Granos híbridos seleccionados.....	31
2.3	Granos criollos seleccionados.....	32
2.4	Basura y productos extraños de una muestra.....	33
2.5	Granos bola de una muestra de maíz.....	34
2.6	Granos sin cofia de una muestra de maíz.....	35
2.7	Granos con daño por insecto de una muestra de maíz...	36
2.8	Granos fisurados y rotos de una muestra de maíz.....	37
2.9	Granos de maíz dañados por calor.....	38
2.10	Granos con hongos de una muestra de maíz.....	39
2.11 a)	Medición del largo del maíz.....	40
2.11 b)	Medición del ancho.....	40
2.11 c)	Medición del espesor.....	40
2.12 a)	Medición del Índice de flotación de una muestra.....	42
2.12 b)	Medición del Índice de flotación en varias muestras.....	42
2.13 a)	Balanza para peso hectolítrico.....	45
2.13 b)	Vaciado del embudo.....	45
2.13 c)	Eliminando el exceso del grano en el cilindro.....	45
2.14 a)	Granos empotrados sin espacios.....	46
2.14 b)	Todas las variedades.....	46
2.14 c)	Colorímetro Hunter –lab, modelo Miniscan XEPLUS.....	46
2.15 a)	Desprendimiento del pericarpio del grano.....	48
2.15 b)	Balanza analítica para pesado de las estructuras.....	48



2.16	Endospermo vítreo y endospermo harinoso.....	49
2.17	Pericarpios obtenidos de granos de maíz.....	50
2.18 a)	Analizador de textura TA-X2 (Stable Microsystems,UK)	51
2.18 b)	Maíz perforado de la prueba de dureza.....	51
2.19	Peso de mil granos de maíz.....	52
2.20 a)	Equipo Marca Steinlite para determinación de humedad	54
2.20 b)	Determinación de humedad de una muestra.....	54
2.21 a)	Molino de bola con granos de maíz.....	55
2.21 b)	Ejes para los molinos de bola.....	55
2.21 c)	Muestra de harina de maíz para la determinación de grasa.....	55
2.22 a)	Cartucho con harina.....	57
2.22 b)	Determinación de grasas.....	57
2.23 a)	Crisoles con harina.....	59
2.23 b)	Mufla para determinación de cenizas.....	59
2.24 a)	Muestra de harina.....	65
2.24 b)	Vasos y carrusel del digestor.....	65
2.25 a)	Hidróxido de Sodio.....	67
2.25 b)	Cocción de las variedades de maíz.....	67
2.26 a)	Granos nixtamalizados molidos.....	68
2.26 b)	Humedad en termobalanza.....	68
2.27 a)	Molienda en nixtamal.....	69
2.27 b)	Granulado de harina.....	69
2.28	Granulados de maíz deshidratados.....	69
2.29 a)	Pila de tamices.....	71
2.29 b)	Pesado de harinas.....	71
2.29 c)	Tamices en rotap.....	71
2.29 d)	Tamices con harinas.....	71
2.30	Espectrofotómetro de Absorción Atómica.....	72

LISTA DE FIGURAS



3.1	Gráfica del peso hectolítrico en granos híbridos.....	90
3.2	Gráfica del peso hectolítrico en granos criollos.....	91
3.3	Gráfica de color en granos de maíz híbridos.....	92
3.4	Gráfica de color en los granos criollos.....	93
3.5	Gráfica de espesores del pericarpio en granos de maíz híbridos.....	96
3.6	Gráfica de espesores de pericarpio de maíz criollos.....	97
3.7	Gráfica de dureza en granos de maíz híbridos.....	98
3.8	Gráfica de dureza en granos de maíz criollos.....	99
3.9	Gráfica de humedad de variedades híbridas durante la cocción.....	107
3.10	Gráfica de humedad de variedades criollas durante la cocción.....	108
3.11	Gráfica de rendimiento en harina para maíces híbridos...	111
3.12	Gráfica de rendimiento en harina para maíces criollos...	112
3.13	Gráfica de concentración de Ca en granos de maíz híbridos.....	113
3.14	Gráfica de concentración de Ca en maíces criollos.....	114

LISTA DE FIGURAS





CUADRO	PÁGINA	
1.1	Temperaturas recomendadas para la buena producción de maíz.....	5
1.2	Parámetros para definir la calidad del grano de maíz.....	12
1.3	Composición química de las partes del maíz (g/100g base seca).....	20
2.1	Índice de dureza de los granos.....	42
3.1	Contenido de impurezas en las variedades híbridas.....	73
3.2	Contenido de impurezas en las variedades criollas.....	74
3.3	Contenido de granos bola en las variedades híbridas.....	75
3.4	Contenido de granos bola en las variedades criollas.....	76
3.5	Contenido de granos sin cofia en las variedades híbridas.....	77
3.6	Contenido de granos sin cofia en las variedades criollas.....	78
3.7	Daños por insecto en granos de maíz híbrido.....	79
3.8	Daño por insecto en granos de maíz criollo.....	80
3.9	Granos híbridos con fisuras y rotos.....	81
3.10	Granos criollos con fisuras y rotos.....	81
3.11	Granos híbridos dañados por calor.....	82
3.12	Granos de maíz criollo dañados por calor.....	83
3.13	Daños por hongos en granos híbridos.....	84
3.14	Daños por hongo en granos de maíz criollo.....	85
3.15	Dimensiones de granos de maíz variedades híbridas.....	86
3.16	Dimensiones de granos de maíz variedades criollas.....	87
3.17	Índices de flotación de los granos híbridos.....	88
3.18	Índices de flotación de los granos criollos.....	88
3.19	Porcentaje de estructuras en granos de maíz híbrido.....	93

LISTA DE CUADROS



3.20	Porcentaje de estructuras en granos de maíz criollo.....	94
3.21	Peso de los 1000 granos en variedades de maíz híbridos.....	99
3.22	Peso de los 1000 granos en granos de maíz criollos.....	100
3.23	Análisis químico proximal en maíz híbrido.....	101
3.24	Análisis químico proximal en maíz criollo.....	101
3.25	Porcentaje de Ca Endógeno en maíz híbrido.....	105
3.26	Porcentaje de Ca Endógeno en maíz criollo.....	105
3.27	Humedad en el reposo y Rendimiento de nixtamal en granos híbridos.....	108
3.28	Humedad en el reposo y Rendimiento de nixtamal en granos criollos.....	109



La escasez de maíz en México aunado a la crisis económica provocó que se especulara la posibilidad de que se volviera vulnerable la biodiversidad de maíces locales en detrimento de la seguridad alimentaria del país por lo que el cultivo de híbridos representa una pieza clave para elevar la producción en México. La zona del bajo mexicano en el año 2008, se caracterizó por ser una región extremadamente alta en su producción de semillas de maíz, debido a que cuenta con las condiciones ideales para su cosecha y recolección. Sin embargo, las ventas fueron pocas debido al desconocimiento de los parámetros de calidad de las variedades cultivadas por lo que es de suma importancia conocer la calidad del grano, ya que esto determina en gran parte el uso de la semilla. En el presente trabajo se evaluó la calidad de los granos de maíz, mediante la caracterización física y química de los parámetros de calidad de 20 variedades de granos de maíz híbridos y criollos cultivados en los campos experimentales del bajo mexicano para su selección a la industria molinero-tortillera o harinera. Para evaluar la calidad de grano nativo se cuantificaron los parámetros de: impurezas, daño por insecto, roto o fragmentado, por hongos. Las propiedades físicas se realizaron de acuerdo a lo estipulado en la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 y para el análisis químico proximal (AQP) se determinó Humedad, Grasa, Cenizas, Proteínas, Carbohidratos siguiendo los métodos de AOAC (2000). El calcio endógeno y fijado después del proceso de nixtamalización se determinó por espectrofotometría de absorción atómica. Los tiempos de cocción se establecieron mediante la determinación de humedad, que se llevó a cabo en una termobalanza marca Sartorius, modelo MA-35 utilizando el método 925.10 AOAC (2000). Estas humedades se consideraron para el término de la cocción 34-36% para la industria molinero-tortillera y para la harinera 32%. Otras técnicas que contribuyeron para el tiempo de cocción fueron: el índice de flotación, peso hectolítrico y la dureza. Adicionalmente, se obtuvo el rendimiento de nixtamal e hidratación en el reposo. Posteriormente, se llevó a cabo la molienda de los granos en un molino Pulvex 200 y se les determinó el rendimiento en harina mediante análisis Granulométrico con la serie de tamices USA. Para las diez variedades criollas los seleccionados para la industria molinero-tortillera fueron: Roble, Blas, Barranquilla, Fresillo, Guasave, Toliman, Navatol. Para los híbridos Navolata y Conic. En cuanto a la industria harinera los valores de rendimiento solicitados por la norma NMX-046-S-1980 para los maíces criollos únicamente calificaron las variedades; Blas con un rendimiento de 78.18 ± 3.63 y Navatol con 65.8833 ± 1.2169 . Para las variedades híbridas fueron; Martinin, Dico, Oso, Vitaruto, Rino. Aunque Dico y Rino tuvieron valores de rendimiento buenos en harina no fueron seleccionados para ninguna de las dos Industrias.

De las veinte semillas evaluadas, calificaron varias. Quien decide cuales adquirir es el comprador de acuerdo a sus necesidades y giro de su industria.

Palabras clave: maíz, nixtamalización, Criollo, calcio, calidad, híbrido, harina.



Desde tiempos prehispánicos, la siembra y consumo de maíz representa mucho más que solo hablar de un cultivo fundamental en la vida. También es parte de la cultura, costumbres y alimentación del pueblo mexicano. La historia de México, jamás podría entenderse sin mencionar a la par la presencia de este.

Tal es la fortaleza de las raíces, que aún cuando con el paso del tiempo y la evolución del mundo moderno, el maíz sigue siendo sin duda el alimento base de la dieta del pueblo y con mucho orgullo ha trascendido fronteras para contribuir a que la cocina Mexicana sea una de las comidas étnicas con más presencia y demanda a nivel mundial (Fonseca, 2004). El maíz fue domesticado en América, el cual ha sido alimento, moneda y religión para el pueblo de México y la sociedad mesoamericana. Tal es su importancia que en tiempos prehispánicos había un Dios azteca del maíz: *Centeotl* y para los mayas el Dios del maíz y la vegetación *Yum Kaaz* (Trejo *et al.*, 1982).

La clasificación original del maíz la realizó el botánico Carlos Linneo, quien le asignó el nombre de *Zea mays* como único representante del género. *Zea* que significa “causa de vida” y *mays* deriva del maíz “nuestra madre”, término empleado entre Indios Caribeños de Cuba y Haití. Ambos términos reflejan la alta estima que el cultivo de maíz representaba para todas las sociedades precolombinas de aquella época (Castañeda, 1990).

La domesticación del maíz por las antiguas civilizaciones de Mesoamérica, es responsable en gran medida de la evolución de estas sociedades, siendo muy importante por proporcionar la energía que este alimento vino a proveer a la población. A finales del siglo XV, tras el descubrimiento del continente americano, el grano fue introducido en Europa a través de España. Se difundió entonces por los lugares de clima más cálido del Mediterráneo y posteriormente a Europa septentrional. En la actualidad, el maíz se cultiva en todas las regiones del mundo aptas para actividades agrícolas y se recogen en algún lugar del planeta todos los meses del año. Es el único cereal que se cultiva dos veces al año.



Hoy en día, el maíz se emplea en la alimentación animal, para consumo humano y en la industria para obtención de una gran variedad de productos. El pueblo de México ha hecho de este cereal su alimento básico y con este cereal se procesan tortillas, botanas, harinas entre otros.

La tortilla se pueden elaborar a partir de masa fresca o bien usando harina nixtamalizada. La masa fresca se obtiene de la nixtamalización del grano mediante el método tradicional y su posterior molienda en molinos de piedra. En el caso de harinas nixtamalizadas, que es el procesamiento del grano a escala industrial aplicando básicamente el mismo principio que el método tradicional, pero con la diferencia que los volúmenes que se manejan en los cocedores son mucho más grandes, además de que el proceso contempla la molienda húmeda para obtener el granulado, un deshidratado y una molienda seca (Salinas, 2004).

El uso de harinas industrializadas es una práctica cada vez más popular por su comodidad en la preparación de la tortilla y de diferentes platillos. La tortilla es un bien de consumo generalizado e indispensable en la dieta de los mexicanos, además adquiere gran relevancia debido al hecho que representa la única fuente barata de calcio en algunos países de Centroamérica. Su consumo per cápita es de 225 g diarios en México (Rojas-Molina *et al.*, 2009).

Actualmente la industria de harinas nixtamalizadas es la que mayor exigencia de calidad impone al adquirir el maíz para su proceso; el molinero-tortillero también considera parámetros de calidad. Sin embargo, hasta ahora éstos no han sido bien identificados y ponderados por este gremio, que es numeroso y se encuentra poco organizado, por este hecho se creó la norma mexicana NMX-FF-034/ 1-SCFI-2002 en la cual nos describe las características que debe cumplir el maíz para consumo humano, también por otro lado, tenemos a la norma NMX-F-046-S-1980 enfocada a harinas (Salinas, 2004).



El principal destino de la harina de maíz es la industria de la tortilla. El tipo de harina que se produce depende de las necesidades del cliente, las cuales se obtienen manejando las diferentes variables (granulación, tiempos y temperaturas de cocimiento y remojo, híbridos de maíz y contenido de aditivos) según convenga.

El maíz por su versatilidad también se ha utilizado para la producción de biocombustible, aunque generó una problemática para abastecer la demanda de maíz a nivel mundial, debido a que este grano se considera como base determinante de otros alimentos básicos (Cambreros, 2005).

Del año 2006 al 2007 la tonelada de maíz pasó de 122.14 a 164.26 dólares, del 2007 al 2008 incrementó el 38% (FAO, 2008). Una estrategia de precios del Grupo Comercializadora de Mercados Internacionales estimó que en el 2012 el precio del maíz tendrá el mayor incremento. En Estados Unidos se genera 40% del total de la producción de maíz, 20 % China, Unión Europea y Brasil 6% y México alrededor del 3%. Para este año China declaró que tenían mayor demanda del grano y por primera vez en la historia no exportarán. Estados Unidos es el primer productor y exportador mundial del grano de maíz pero no lo vende como alimento en el mercado internacional, lo transforma en combustible para consumo interno y así aminorar la dependencia que tiene del petróleo (La Jornada, 2009). El costo del maíz podrá ser de hasta 9 dólares por kilogramo. SAGARPA (2008) declaró en sus proyecciones que probablemente para el 2015 el kilogramo de tortilla se conseguirá en un precio de \$ 60 kg. La escasez de maíz en México, aunado a la crisis económica que atraviesa requiere de mayor producción de granos debido a que la industria harinera y molinera-tortillera tienen una alta demanda. Con 25 kilogramos de maíz, se pueden obtener subproductos tales como 36.2 kilogramos de tortilla, o 24.9 kilogramos de harina, o 14.5 de almidón, o 9.4 litros de etanol, o 0.73 L de aceite. Se requiere de variedades de maíz nuevas que tengan menores costos y que se cultiven en suelos nacionales (INEGI, 2008). En el año 2008 México incrementó la producción de maíz híbrido y criollo, por lo que el cultivo de híbridos representa una pieza clave para



elevar la producción. La zona del bajío mexicano se caracteriza por ser una zona de alta producción anual de maíz híbrido y criollo. Esta región de la parte central de la República Mexicana, contempla los estados de Jalisco, Guanajuato, Michoacán y Querétaro. El bajío tiene una extensa planicie ubicada entre los 1700–1800 metros sobre el nivel del mar. Cuenta con un clima estable, con precipitaciones moderadas en el verano y suelos ideales para la producción agrícola bajo condiciones de riego y con rendimiento de los más altos a nivel nacional siendo de los 10 primeros productores del país (Lutz y Herrera, 2007). La producción de maíz en esta zona fue extremadamente alta en el 2008. Sin embargo, las ventas fueron pocas debido al desconocimiento de los parámetros de calidad de las variedades sembradas tanto criollo como híbrido. Es de suma importancia conocer las cualidades intrínsecas de cada variedad, tales como; dimensiones, peso hectolitro, índice de flotación, cantidad de endospermo harinoso, etc. (Flores-Farias *et al.*, 2002). La industria que se dedica al desarrollo de productos a base de maíz esta continuamente exigiendo materia prima de mejor calidad y de mejor precio que abaraten sus costos de producción y que mejoren la calidad del producto final. Así mismo, los agricultores de los estados del bajío mexicano se ven beneficiados ya que si alguno de estos híbridos resulta idóneo para la producción a nivel industrial, entonces este será cultivado, lo que representa un aumento en los niveles de venta en productores de maíz y en la economía agrícola mexicana. El presente trabajo tiene el propósito de caracterizar 20 variedades de maíz híbridos y criollos cosechados en el bajío mexicano para estudiar el potencial por variedad y posteriormente darle destino para la industria harinera o bien para la pequeña y mediana industria molinero-tortillera.



Capítulo 1

Antecedentes



CAPITULO I

1. Generalidades del maíz

Hace aproximadamente 10,000 años, el hombre descubrió que los granos de los cereales podían cultivarse, cosecharse, mejorarse y utilizarse como reserva importante de alimento, logrando así un adelanto gigantesco en el desarrollo de la humanidad. Los cereales representan el alma de la agricultura y el grueso de la producción agrícola. El maíz, el trigo y el arroz constituyen la base de la alimentación de la mayoría de los seres humanos. Hoy en día, los tres cultivos son mundiales y se han adaptado a todos los climas y estilos culinarios. En casi todo el mundo los cereales representan la principal fuente de energía y en algunos lugares el único aporte de nutrimentos (Castañeda, 1990).

El maíz se cultiva en el bajío mexicano dos veces al año. Una por riego y la otra por temporal. Por esa razón esa zona tiene una alta productividad. Es una planta alta dotada de un amplio sistema radicular fibroso. Se trata de una especie que se reproduce por polinización cruzada y la flor femenina (elote, mazorca, choclo o espiga) y la masculina (espiguilla) se hallan en distintos lugares de la planta (FAO, 2008).

El maíz fue la principal fuente de alimentación de las civilizaciones precolombinas en el nuevo mundo. Botánicamente, el maíz (*Zea mays*) pertenece a la familia de las gramíneas, familia que se caracteriza por tener sistemas fibrosos en las raíces, venas paralelas en las hojas y tallos con nudos sólidos. Ésta familia se divide en varias tribus y a cada una de éstas pueden pertenecer varios géneros, a cada género varias especies. De acuerdo con el punto de vista más moderno. El género *Zea* es representado solamente por una única especie, *mays* (Lange y Hill, 1987).

El maíz es uno de los cereales más importantes del mundo, suministra elementos nutritivos a los seres humanos y a los animales. Es una materia prima básica de la industria de la transformación, con la que se producen



almidón, aceite y proteínas, bebidas alcohólicas, harinas, tortillas, edulcorantes alimenticios y combustible (Barros y Buenrostro, 1997).

El maíz ha sido y continúa siendo el cereal básico en la alimentación de grandes sectores de la población urbana y rural de varios países Latinoamericanos principalmente México. Otros países de América que lo consumen son: Argentina, Colombia y Guatemala. También se utiliza en forma de harina como materia prima para elaborar botanas en la comunidad Europea y en Estados Unidos de América (Billeb y Bressani, 2001).

1.1 Adaptación y cultivo del maíz

El cultivo del maíz tuvo su origen, en América Central, especialmente en México, de donde se difundió hacia el norte hasta el Canadá y hacia el sur hasta Argentina (White y Johnson, 2003). A finales del siglo XV, tras el descubrimiento del continente americano por Cristóbal Colón, el grano fue introducido en Europa a través de España. Se difundió entonces por los lugares de clima más cálido del Mediterráneo y posteriormente a Europa septentrional. Pese a la gran diversidad de sus formas, al parecer todos los tipos principales de maíz conocidos hoy en día, clasificados como *Zea mays*, eran cultivados ya por las poblaciones autóctonas cuando se descubrió el continente americano. La mayoría de las variedades modernas del maíz proceden de material del sur de los Estados Unidos, México y América Central (FAO, 2009).

Su cultivo marcó el paso de una forma de vida nómada en la que el hombre se alimentaba de la caza y de frutas silvestres, a una vida sedentaria, en la que se convierte en agricultor y ganadero (Astiasarán y Martínez, 2003).

El maíz abarca una gran variedad de líneas y tipos de plantas que exigen ciertas condiciones de clima y suelo. Además, el maíz exige un clima relativamente cálido y agua en cantidades adecuadas. La mayoría de las variedades del maíz se cultivan en regiones de temporal, de clima caliente y de



clima subtropical húmedo, pero no se adaptan a regiones semiáridas. El granizo y las heladas afectan considerablemente el cultivo.

El maíz germina sin problema en la oscuridad. Para su crecimiento requiere pleno sol. En cuanto a floración, el maíz es una planta de días cortos. Su floración se retarda durante los días largos del año. Sin embargo, los mayores rendimientos se obtienen con 11 o 14 horas de luz por día, o sea, cuando el maíz florece tardíamente. La condición ideal de humedad de suelo, para el desarrollo del maíz, es el estado de capacidad del campo. La cantidad de agua durante la temporada de crecimiento no debe ser menor de 300 mm. La cantidad óptima de lluvia es de 550 mm, la máxima, de 1000 mm. Las variedades precoces necesitan menos agua que las tardías. Así mismo, las impurezas del aire pueden causar pérdidas, ya que dañan en forma visible las hojas o limitan el crecimiento de las plantas. El maíz dulce es más sensible a las impurezas del aire y a gases como el ozono, los fluoruros, cloruros y el dióxido de azufre. Por otro lado, en áreas con vientos fuertes, se deben cultivar variedades enanas y también se debe construir rompevientos. Los vientos calientes y secos pueden provocar la desecación de los cabellos de elote. Si esto sucede, pierden su poder de recepción de polen (Parsons, 1983).

En cuanto a los suelos, el maíz necesita suelos profundos y fértiles para dar una buena cosecha. El suelo de textura franca es preferible para el maíz. Esto permite un buen desarrollo del sistema radicular, con una mayor eficiencia de absorción de la humedad y de los nutrientes del suelo. Además, se evitan problemas de acame o caída de las plantas. Los suelos con estructura granular proveen un buen drenaje y retienen agua. Además, son preferibles los suelos con un alto contenido de materia orgánica. Se obtienen una mejor producción cuando la calidad y acidez del suelo están balanceadas. El pH óptimo se encuentra entre 6 y 7 (Parsons, 1983).



Para obtener un buen rendimiento del cultivo de maíz, el productor debe planear cuidadosamente sus acciones. Una buena planificación del cultivo requiere que el agricultor tome en cuenta aspectos tales como el clima, el suelo y los sistemas de cultivo, entre otros. El maíz crece rápido, tiene un buen rendimiento a temperaturas entre 20 y 30 °C con un suministro abundante de agua. A temperaturas de 38 °C o más, en la noche, el maíz necesita un ambiente fresco y no demasiado húmedo.

Para la producción de granos, necesita un período de aproximadamente 120 días libres de heladas. El maíz elegido debe madurar en un promedio de dos semanas antes de la primera helada. Los tipos de suelos para el cultivo de maíz deben tener las siguientes características; suelos de tipo franco y profundo, suelos de aluvión, cerca de la orilla de ríos, suelos vírgenes, cubiertos por una vegetación natural exuberante. Los que no son adecuados son suelos muy arenosos o muy arcillosos, los susceptibles a erosión, con pendientes fuertes, los más húmedos, y los que tienen un alto porcentaje de sales. Para obtener buenas condiciones para el cultivo de maíz se requiere un campo con las siguientes características:

- ❖ Bien nivelado, para facilitar las labores y favorecer la penetración uniforme del agua de lluvia y de riego.
- ❖ Libre de vegetación natural. Ésta debe ser bien incorporada al suelo para su debida descomposición.
- ❖ Un suelo permeable.
- ❖ Un terreno suelto hasta por lo menos 20 cm de profundidad, pero, de preferencia, hasta aproximadamente 25 cm.
- ❖ Una cama de siembra con una profundidad de 8 hasta 10 cm por partículas más finas, para asegurar condiciones para la germinación.



El método de siembra del maíz depende, en primer lugar, de las condiciones del clima y del suelo. Cuando las condiciones de humedad son desfavorables se siembra en un campo plano. En zonas semiáridas, se siembra en surcos.

La siembra se efectúa a mano o con máquinas sembradoras. Para la siembra mecánica, se usan normalmente sembradoras de precisión, que hacen el trabajo en bandas. Estas máquinas se pueden equipar con un distribuidor de fertilizantes, para sembrar y fertilizar al mismo tiempo. El cultivo requiere cuidados desde la siembra hasta la cosecha. Las operaciones son diversas y se les implementan de acuerdo con las necesidades del maizal. El manejo incluye las siguientes operaciones; control de malezas, suministro de agua en caso de riego, desespigamiento, combate de plagas (Parsons, 1983).

Para producir maíz, la temperatura óptima depende del estado de desarrollo de la planta, estas deben oscilar entre 20 y 30 °C. La temperatura para las diferentes etapas de desarrollo se reportan en el cuadro 1.1

Cuadro 1.1 Temperaturas recomendadas para la buena producción de maíz

Estado de desarrollo del grano	Mínima T (°C)	Óptima T (°C)	Máxima T (°C)
Germinación	10	20 - 25	40
Crecimiento vegetativo	15	20 - 30	40
Floración	20	21 - 30	30

Fuente: (Parsons, 1983)

La zona del bajío mexicano es un lugar idóneo para la producción de maíz, debido a que sus temperaturas oscilan en el intervalo de las temperaturas mostradas en el cuadro 1.1 Esta región se caracteriza por ser un lugar de cultivo de maíz híbrido y criollo.



El bajo se encuentra localizado en la parte central de la República Mexicana como muestra la figura 1.1. Los estados que contempla son: Jalisco, Guanajuato, Michoacán y Querétaro.



Fuente: (Biosca, 2009)

Figura 1.1 Localización del bajo en la República Mexicana

La zona de bajo mostrada en la figura 1.1 tiene una extensa planicie ubicada entre los 1700-1800 metros sobre el nivel del mar. Cuenta con un clima estable, con precipitaciones moderadas en el verano, suelos ideales para la producción agrícola bajo condiciones de riego y con alto rendimiento, siendo de los 10 primeros productores de la República Mexicana, representa un área muy productiva (Lutz y Herrera, 2007).

La producción de maíz en esta zona fue extremadamente alta en el 2008. Sin embargo, las ventas han sido pocas debido al desconocimiento de los parámetros de calidad de las variedades de maíz sembradas. De manera que, el bajo cuenta con buenas tierras para adaptación y cultivo de nuevas variedades de maíces híbridos y criollos.



1.2 Maíz híbrido

En Mesoamérica, los nativos solían generar variedades a través de cruzas para cultivarlas de acuerdo a las condiciones climáticas. Esto permitió la creación de variedades y razas nuevas de maíz, sin embargo; no fue hasta 1905 que botánicos estadounidenses descubrieron que cuando el polen de la misma mata fecundaba las mazorcas de sí misma se generaban granos que producían plantas distintas; por lo que seleccionaron las mejores semillas y dieron lugar a líneas puras de variedades que presentaban mayor resistencia a plagas y condiciones climáticas (Pandey *et al.*, 1984).

La hibridación es un proceso natural de la planta que determina la expresión genética y define las características y composición química del grano, lo cual nos lleva a seleccionar los granos para obtener híbridos con mejores características para producción o para mejoras nutrimentales, tales como el contenido de flavonoides y compuestos fenólicos (Colin, 2000).

Los híbridos actuales son cruzas que se obtuvieron mediante una fertilización y selección de biotipos de homocigotos que determinan la expresión genética, donde los genes recesivos sobreviven a una polinización cruzada y mantienen su estado de heterocigoto, tal que al cruzar al híbrido inicial se generan mayor diversidad de variedades mediante dobles cruzas (White y Jhonson, 2003).

1.3 Maíz criollo

Las variedades mejoradas de maíz son, en general, inapropiadas para las condiciones de cultivo de los campesinos, quienes prefieren los maíces criollos; los cuales están organizados en grupos genéticos (componentes) llamados patrones varietales en concordancia con las condiciones ambientales y usos.

Los campesinos no compran semilla híbrida, generalmente seleccionan su semilla de la cosecha del año anterior con base en diversos caracteres (Muñoz y Cuevas, 2000), los cuales están asociados a características de calidad. Mediante esos procesos de selección han generado grupos de variedades



(componentes de un patrón) específicas para cada nicho ecológico o microregión, y para los diferentes usos (Romero y Muñoz, 1996). A estos sistemas de variedades se les ha denominado patrones etnofitogenéticos de semillas (Gil *et al.*, 1995) o simplemente “patrones varietales”.

Las variedades de maíz mejoradas les parecen a los productores inadecuadas porque ignoran el proceso de obtención, los patrones varietales y las características de calidad; tales como: fácil nixtamalización, dureza y adhesividad de la masa, extensividad, tiempo de cocción, perfiles nutricionales, suavidad, sabor y durabilidad de la tortilla (Cuevas *et al.*, 1998).

1.4 Calidad del grano de maíz

Con objeto de facilitar la comercialización y de determinar las aplicaciones más adecuadas de los distintos tipos de maíz producidos en el mundo, se han establecido determinadas características cualitativas del grano. La calidad del grano de maíz está determinada principalmente por la estructura y composición del grano. Las diferencias en estructura y composición dependen del cultivar así como de las prácticas de manejo, el clima, el suelo y los métodos de cosecha y postcosecha (FAO, 2009).

La determinación de clase y grado de calidad de los cereales juega un papel fundamental y crítico en el comercio, mercadeo y movimiento de granos en el mundo. La estandarización de la calidad del grano permite un mercado mejor y más justo entre comprador y vendedor; así mismo da la pauta para poder mezclar lotes de grano con el mismo grado o calidad. Los objetivos de cualquier sistema de estandarización de granos se orientan a definir términos descriptivos de lote del grano, con el fin de proporcionar un comercio más justo, proveer información que ayude a determinar la calidad de productos terminados, dar herramientas para programas de fitomejoramiento y experimentar con nuevos avances tecnológicos de factores o características de granos que correlacionen altamente con el uso terminal (Astiasarán y Martínez, 2003).



Las tortillas se preparan a partir de masa fresca o bien empleando harina nixtamalizada, productos que son elaborados por las industrias molinero-tortillera y de harinas nixtamalizadas, respectivamente, ambas industrias que nixtamalizan maíz tienen requerimientos de calidad diferentes (Salinas, 2004).

La calidad del grano es un concepto que se refiere a las características que los procesadores y los consumidores de alimentos solicitan. Las características de calidad del grano incluyen rendimiento, propiedades físicas, químicas y tecnológicas, además de características fitosanitarias-nutrimientales. Dentro de las propiedades tecnológicas se encuentran: la estabilidad durante el almacenamiento, eficiencia de conversión a productos y como 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. El maíz que es convertido en harina, podría tener diferentes especificaciones y es seleccionado de manera más selecta. Generalmente, se utiliza las variedades de color blanco y de alta dureza. Factores que influyen en 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 y remojo y el color del producto dependen de las características de la materia prima. 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. Para las industrias nixtamalera como harinera que emplean granos de maíz, su calidad y propiedades tecnológicas son una constante



preocupación. Se requieren granos sanos, limpios, uniformes de tamaño, textura y color (Watson y Ramstad, 1987).

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 de diferente tipo de endospermo requieren distinto 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 esta predeterminada por la relación amilosa/amilopectina en el almidón, afecta significativamente la plasticidad de la masa nixtamalizada. La dureza del grano de maíz es pues, de mucha importancia para su nixtamalización, por lo cual se han realizado varias investigaciones sobre este tema (Salinas *et al.*, 1982). Sin embargo, muchos métodos son complejos y no prácticos para fines de selección de variedades de maíz adecuadas para nixtamalización. Salinas y Arellano (1989) informaron sobre la capacidad de varios métodos para evaluar la dureza del grano. 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, en menor proporción, 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.

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 Arellano, 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 grandes, sin roturas e impurezas, alta densidad de grano, alto peso de prueba, bajo porcentaje de granos flotadores, grano limpio de color brillante, grano blanco de olote blanco, baja pérdida de sólidos durante la nixtamalización, grano de maduración completa y natural, grano sin daño por exceso de secado, grano sin hongos o dañado por insectos (Serna-Saldívar,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, de producción y manejo.

1.5 Parámetros que utiliza la norma NMX-FF-034/ 1-SCFI-2002

En el cuadro 1.2 se presentan los parámetros de calidad que se utilizan para la industria molinero-tortillera y para la industria harinera. Algunos de estos parámetros son obligatorios por la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002. Otros son obtenidos de acuerdo a criterios de calidad que han considerado diferentes autores, metodologías que han establecido en sus centros de trabajo para homogenizar los estudios de sus diferentes variedades tanto híbridas como criollas (Salinas, 2004; Serna-Saldívar *et al.*, 2008).

Dichos parámetros son: Dureza del grano, humedad del maíz, dimensiones de los granos (promedio), densidad verdadera, peso de 1000 granos, espesor del pericarpio, densidad volumétrica, relación endospermo vítreo-harinoso, calcio fijado en pericarpio (al término de la cocción) ,% de estructuras del grano de maíz nativo, pericarpio removido, humedad (al termino de la cocción), pH de la muestra (al término de la cocción), humedad al termino del reposo para industria harinera, humedad al termino del reposo para industria tortillera.



Cuadro 1.2 Parámetros para definir la calidad del grano de maíz

Parámetro de Evaluación	Método establecido	Rango establecido
Dureza del grano	Martínez-Bustos <i>et al.</i> , 1999	13-15 Kg _f
% de humedad del maíz	NMX-FF-034/ 1-SCFI-2002	12-15 %
Dimensiones de los granos (promedio)	NMX-FF-034/ 1-SCFI-2002	≥ Largo:7.20 mm ≥ Ancho:7.0 mm ≥ Espesor: 6.5mm
Densidad verdadera	NMX-FF-034/ 1-SCFI-2002	≥ 1.3 g/cm ³
Peso de 1000 granos	Serna-Saldívar <i>et al.</i> , 1993	240- 370 g
Espesor de pericarpio	Gutiérrez <i>et al.</i> , 2007	< 100µm
Densidad volumétrica	NMX-FF-034/ 1-SCFI-2002	74 kg/hL
Relación endospermo vítreo-harinoso	Rojas-Molina <i>et al.</i> , 2008	≥ 2:1
* Calcio fijado en pericarpio (al termino de la cocción)	Gutiérrez <i>et al.</i> , 2007	2.24- 2.26 %
% de estructuras del grano de maíz nativo	NMX-FF-034/ 1-SCFI-2002	Cofia: < 2% Pericarpio: < 5 % Germen: < 12% Endospermo:≥ 78 %
*Pericarpio removido	Serna-Saldívar <i>et al.</i> , 1993	Criterio cualitativo
*Humedad (moliner-tortillero) (al término de la cocción)	Serna-Saldívar <i>et al.</i> , 1993	34-36%
*Humedad (harinera) (al término de la cocción)	Salinas-Moreno y Vázquez Carrillo,2006	32%
*pH de la muestra (al término de la cocción)	Gutiérrez <i>et al.</i> , 2007	7.5- 7.9
*Humedad al término del reposo para industria harinera	Salinas-Moreno y Vázquez Carrillo,2006	42%
*Humedad al término del reposo para industria tortillera	Salinas-Moreno y Vázquez Carrillo, 2006	56%

* Parámetros tomados directamente durante la etapa de cocción

En el cuadro 1.2 se presentan los parámetros de calidad para ambas industrias. La harinera y la moliner tortillera. Adicionalmente la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 contempla que se debe cumplir con las siguientes características:



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

Material genéticamente modificado (productos biotecnológicos): El uso de maíz genéticamente modificado mediante técnicas de la biotecnología recombinante, estará sujeto a las disposiciones aplicables.

Aplicación de agroquímicos: Los granos de maíz destinados a procesos alcalinos para su posterior consumo humano, en ningún caso deben aceptarse con evidencias de haber sido tratados para semilla de siembra, 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 Tóxicas" (CICOPLAFEST); sólo se aceptan los productos químicos expresamente autorizados para fines de conservación. El maíz tampoco debe contener ninguna excreta de roedor u otro animal, ni semillas tóxicas que pongan en riesgo la salud humana.

Microorganismos y parásitos: El maíz, cuando se analice siguiendo métodos de muestreo y examen apropiados, no deberá presentar cantidades de microorganismos o sustancias generadas por ellos, que signifiquen un riesgo para la salud y debe estar exento de parásitos que signifiquen un peligro para la salud, de conformidad con las normas de la Secretaría de Salud.

Aflatoxinas: Los granos de maíz destinados a consumo humano, deben cumplir las tolerancias referentes a aflatoxinas producidas por los hongos *Aspergillus flavus*, *A. parasiticus* y *A. nomius* determinadas por la Secretaría de Salud.



1.6 Propiedades físicas del maíz

- Dureza

Definida como la fuerza necesaria para el rompimiento del grano de maíz, se puede medir de manera directa o indirecta, siendo estas últimas las más utilizadas. Preferentemente en los laboratorios se utiliza la prueba de índice de flotación, como un método para determinar la dureza del grano de maíz debido a su simplicidad, a que es muy fácil de realizar y a que no requiere equipo especial para la prueba. Se emplea una solución de nitrato de sodio (NaNO_3) ajustada a una densidad de $1.25 \pm 0.001 \text{ g mL}^{-1}$ medido con un picnómetro. Se controla la temperatura ($22\text{-}23^\circ\text{C}$) y se emplea un volumen entre 300 y 500 mL, contenidos en un vaso de precipitado de 600 mL. Cien granos se depositan en la solución, separándose unos de otros con un agitador de vidrio, se espera un minuto para tomar la lectura. Al cabo de este tiempo se cuentan los granos que quedan flotando quedando este número como indicativo de la dureza. Este valor se comprueba con la tabla establecida en la norma NMX-FF-034/ 1-SCFI-2002 (Salinas-Moreno y Vázquez-Carrillo, 2006).

La dureza del endospermo determina en parte la velocidad de penetración del agua durante el cocimiento. Granos suaves se hidratan rápidamente requiriendo tiempos cortos de cocimiento pero son muy susceptibles al sobrecocimiento. Granos con dureza intermedia-alta son adecuados para la nixtamalización porque resisten cierto abuso o falta de control durante el proceso de producción de masa y tortillas con calidad aceptable. La Industria harinera prefiere granos duros (Almeida-Domínguez *et al.*, 1996).

- Textura

Es una propiedad intrínseca de los granos de maíz, se ve afectada por factores genéticos y ambientales, está estrechamente relacionada con la dureza del maíz. Se le ha definido por la porción relativa de endospermo duro o córneo a



suave o harinoso. La textura cambia dependiendo de las condiciones de crecimiento durante la madurez (Rooney y Almeida-Domínguez, 1995).

- Vitreosidad

Hay distintos tipos de granos, existen unos que son vítreos o traslúcidos mientras que otros son opacos y harinosos. Esta característica se ha asociado a la dureza de la semilla y al alto contenido de proteína. Aunque, la cualidad vítrea y la dureza se deben a causas diferentes. La transparencia de los granos de maíz es el resultado de las insuficientes cavidades aéreas en el grano. Esta transparencia se puede observar al colocar los granos de maíz frente a la luz. El mecanismo es el siguiente: las cavidades aéreas del grano, difractan y difunden la luz y hacen que el grano aparezca como opaco, esa es la parte harinosa. En cambio los granos bien llenos, sin cavidades aéreas la luz se difracta en la interfase aire-grano para luego viajar a través del grano sin sufrir la difracción una y otra vez así tenemos como resultado un grano traslúcido o vítreo, que representa la parte cornea del grano. Cuando se tiene la presencia de las cavidades aéreas es cuando los granos son opacos y se caracterizan por ser menos densos. Al irse desecando el grano de maíz, la proteína se hace más pequeña, se encoge y se fragmenta dejando espacios con aire. En granos traslúcidos o vítreos la proteína también se encoge, pero queda intacta provocando una mayor densidad en el grano. En cambio si se cosecha el grano no maduro y se deseca por liofilización quedará la semilla mucho más opaca y intacta la proteína. (Watson y Ramstad, 1987).

- Color

Los granos de maíz pueden diferir significativamente en el color, éste dependerá de la variedad, existen blancos, amarillos, cafés, rojos, morados tal y como se puede apreciar en la figura 1.2 sus diferencias pueden ser de origen genético en el pericarpio, aleurona, germen y endospermo (Watson y Ramstad, 1987). Cada una de estas partes pueden presentar distinta pigmentación que



va desde el incoloro hasta el café, obviamente la aleurona y el pericarpio deben ser incoloros para que el verdadero color del endospermo se aprecie.



Figura 1.2 Granos de maíz de diferente color

En la figura 1.2 aparecen granos de maíz amarillos, blancos, azules, rojos. La industria molinero tortillera acepta granos de diferentes colores y tonalidades, la industria harinera exclusivamente blancos debido a que requiere harinas blancas para su producción. Únicamente produce harinas de otras tonalidades fortificadas con nopal o algún otro componente. También produce harinas de granos azules o rojas salvo alguna exclusividad. Sin embargo, el grueso de su producción es blanco.

- Forma y Tamaños

Las diferencias en forma y tamaños de los granos de maíz son debidas a diferencias en su genética y a su colocación dentro de la mazorca, también la variedad y el medio ambiente producen variaciones en el tamaño y la forma del grano. Los granos al final de la cabeza 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. Dentro del grupo de los cereales, el maíz dentado presenta el tamaño de grano más grande y la menor densidad específica. Un peso promedio del grano dentado es de 250-350mg con un rango de 100-60mg. Las medidas promedio del rango en el centro de la mazorca son: 4mm de espesor, 8mm de ancho y 12mm de largo (Watson y Ramstad, 1987).

- Volumen de Vacío

El volumen de vacío influye en la velocidad de paso del aire o de fumigantes a través del grano colocado en un recipiente. Es una medida de espacio entre granos a granel. Habitualmente, en general 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 Sorgo 36%, Cebada 47% (Watson y Ramstad, 1987).

- Densidad

En el grano de maíz la densidad puede ser expresada de dos formas: densidad verdadera y densidad volumétrica. La primera se efectúa con medición del peso de un volumen dado de líquido tal como tolueno, etanol, agua (éste último no es muy recomendable porque los granos de maíz atrapan aire cuando son colocadas en este líquido desplazado por un peso conocido de material de prueba (grano de maíz). Un endospermo córneo es muy denso, mientras el harinoso está lleno de espacios vacíos de aire presentando menores densidades (Watson y Ramstad, 1987).

La densidad está estrechamente relacionada con la dureza y textura del grano de maíz. La densidad promedio del maíz se encuentra entre 1.18-1.4g/cm³ expresada como densidad verdadera (Rooney y Almeida-Domínguez, 1995).

La densidad volumétrica o peso de prueba se obtiene por el pesado de un volumen específico del maíz. Esta determinación es de suma importancia en la



transportación y almacenamiento de maíz porque ésta prueba determina el tamaño del contenedor, almacén requerido para el lote dado del maíz. En Estados Unidos la densidad volumétrica es medida en libras por bushel, pero en el sistema métrico, se determina en kilogramos por hectolitro. Se considera relativamente independiente del tamaño del grano. La densidad volumétrica representa el peso de grano dentro de un contenedor con capacidad de un litro. Por lo tanto mayores pesos de prueba indican mayor porcentaje de endospermo duro (Serna-Saldívar, 1993).

- **Peso hectolítrico:**

Densidad aparente del grano. Método 55-10, AACC. Se realiza con el medidor Winchester Bushel Meter, que consiste en la determinación del peso en kilogramos de un cierto volumen de grano expresado en hectolitros (100 litros) llenado y/o empacado bajo condiciones estandarizadas. El peso hectolítrico se relaciona con la densidad real del grano y por lo tanto, con la textura del endospermo o con el contenido de proteína y estado de salud del grano. Los granos dañados por insectos tienen un peso hectolítrico más bajo que las contrapartes sanas, mientras que los granos con textura córnea poseen una mayor densidad aparente. Los lotes de granos con mayor humedad tienen un menor peso hectolítrico (Serna-Saldívar, 1996).

- **Peso de 1000 granos:**

El peso de los mil granos es un indicador del tamaño del grano y este, se relaciona con los rendimientos de la molienda y con la superficie total disponible para el intercambio de calor durante el calentamiento. En condiciones comparables, los granos grandes requieren más calor para cocerse que los granos pequeños debido a que éstos últimos tienen menos superficie total. Tamaños intermedios o grandes son deseables para el proceso de nixtamalización ya que resisten cierto grado de sobreprocesamiento y todavía producen masa y tortillas con calidad aceptable. Las industrias prefieren los granos de tamaño uniforme y mediano, lo cual es difícil ya que en



la misma mazorca se encuentran granos de diferente tamaño, en la punta generalmente se desarrollan granos más pequeños que los de la base. La prueba es sencilla, práctica y rápida (Serna-Saldívar, 1996).

- Espesor del pericarpio:

El conocimiento del espesor, resulta un parámetro importante para establecer las condiciones de cocimiento de los granos de maíz, ya que el pericarpio gobierna el mecanismo de difusión de calcio al interior de los granos de maíz durante el proceso de nixtamalización. El espesor del pericarpio varía dependiendo del tipo y variedad de grano desde 60-100 micras. Granos con espesores mayores requieren grandes tiempos para el proceso de nixtamalización y generalmente no se utilizan para la industria molinero-tortillera y mucho menos para la harinera por su dificultad de separarse del endospermo. La determinación del espesor es complicada y tediosa. A menudo se utilizan técnicas microscópicas o un vernier milimétrico digital para realizar esa prueba (Gutiérrez *et al.*, 2010).

El procedimiento que se sigue consiste en hidratar primero los granos en agua destilada y glicerina a temperatura ambiente y posteriormente retirar el pericarpio manualmente con la ayuda del bisturí, los pericarpios se secan y se realiza la medición por alguno de los métodos. Evidentemente, la microscopia tiene mayor precisión, pero no siempre se cuenta con un microscopio para realizar la determinación.

1.7 Composición química del maíz

La composición química general promedio del grano de maíz y de sus diferentes partes anatómicas mayoritarias se muestra en el cuadro 1.3. Es importante conocer la composición química para tener una idea del tipo de interacciones que tienen lugar en el grano durante el proceso de nixtamalización por la presencia de calcio (Klaus y Karel, 1991). Se puede



observar que también que se presenta la composición química total del grano así como de sus partes principales.

Cuadro 1.3 Composición química de las partes del maíz (g/100g base seca)

Partes del grano	En peso %	Almidón	Proteína	Grasa	Azúcares	Cenizas	fch *
Grano total	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 aprox. * fch= Fibra cruda más hemicelulosas

Fuente: Klaus y Karel, (1991)

- Grasas

Los lípidos representan el 4.4 % del peso total grano el germen es el mayor depósito de lípidos encontrándose como triacilglicéridos principalmente, y en menor proporción fosfolípidos, esteroides, tocoferoles y carotenoides. (Watson *et al.*, 1987). El principal ácido graso que se encuentra presente en el grano de maíz es el linoléico (50%), le siguen el oleico (35%), palmítico (13%), esteárico (4%) y linolénico (menos del 3%) (Klaus y Karel, 1991).

- Carbohidratos

Esta organizado en partículas discretas conocidas como gránulos (Klaus y Karel, 1991) se localizan mayoritariamente en el endospermo. Sobre la base del grano entero el contenido de almidón es de entre 72-73%. Los



constituyentes principales del gránulo de almidón son dos polímeros, la amilosa y la amilopectina. La amilosa es una molécula lineal de glucosa se encuentra en una proporción de un 27% y la amilopectina en un 73%, es una molécula ramificada. Las cantidades de estas macromoléculas va a depender del tipo de cereal y también de la variedad (White y Johnson, 2003).

- Azúcares

Están presentes en el grano en forma de glucosa, sacarosa y fructosa; del 1 al 3%. El 70% de los azúcares libres se encuentran en el germen las cuales se presentan en cantidades bajas (2% del grano, base seca). Los monosacáridos comprenden principalmente D-fructosa y D-glucosa. Los disacáridos y trisacáridos se componen de sacarosa y rafinosa (Tortosa, 1982).

- Proteínas

Las proteínas se localizan principalmente en el endospermo y en el germen. Las proteínas presentes en el endospermo representan entre el 75 y el 82% de la proteína total del grano (Paredes y Saharopulos, 1983). El maíz es deficiente en lisina y triptófano en cambio su relación entre leucina- isoleucina es elevada (Badui, 1996). El contenido proteico está influenciado por la disponibilidad del nitrógeno del suelo y por su genética (Watson y Ramstad, 1987). Los cambios en el contenido total de la proteína se atribuyen a las modificaciones del nitrógeno en la parte interna a nivel de endospermo, principalmente zeínas (Watson *et al*, 1987). Adicionalmente, las características del grano de maíz para su transformación y procesamiento están determinadas por las características morfológicas (White y Johnson, 2003).

En el endospermo se encuentran las prolaminas o zeínas en forma de agregados moleculares (cuerpos proteínicos), embebidos en una matriz proteínica integrada por glutelinas. Las zeínas y las glutelinas constituyen el 79% de las proteínas del grano completo. Las albuminas y las globulinas predominan en el germen del grano y una porción mínima (6-8%) se encuentra



en el endospermo. Todas las fracciones proteínicas a excepción de las zeínas son abundantes en lisina y triptófano (Yau *et al.*, 1999).

- Vitaminas

El color amarillo del maíz se debe al contenido de los pigmentos o tintes que tienen los carotenoides, los cuales desaparecen al ser almacenado el maíz, en una escala logarítmica debido a que se descomponen con la presencia de luz y oxígeno. El maíz contiene vitaminas solubles en grasa: β -carotenos (vitamina A). Todas las vitaminas hidrosolubles están presentes en el grano de maíz exceptuando a la vitamina C, ésta es sintetizada durante la germinación. La vitamina E, se localiza principalmente en el germen y suele permanecer estable durante el almacenamiento del grano (White y Johnson, 2003).

- Minerales

El mineral más abundante es el fósforo, éste se encuentra como sales de magnesio y potasio del ácido fítico. El fósforo es liberado por las enzimas fitasas para iniciar el desarrollo embrionario. El azufre se encuentra de forma inorgánica como constituyente de los aminoácidos metionina y cisteína. La acumulación de elementos como el hierro, cobre, zinc, níquel y ácido fítico durante la etapa de maduración esta correlacionado con el incremento de materia seca y proteína (White y Johnson, 2003).

1.8 Proceso de nixtamalización

Nixtamalización, palabra derivada del Náhuatl que se compone de las palabras “nixtli” que significa cenizas o cal y “tamalli” que significa masa de maíz, por lo que tal tratamiento involucra un cocimiento alcalino de los granos de maíz en agua con cal (Paredes-López *et al.*, 2000).

La tecnología de masa de maíz nixtamalizado es muy antigua. Fueron los aztecas quienes transmitieron de generación en generación, a través de los



años el procedimiento de nixtamalizar el maíz. Inicialmente, la ceniza volcánica fue usada como fuente de álcali para llevar a cabo la nixtamalización. Este proceso es único en el mundo. Actualmente, tanto a nivel artesanal como industrial, se utiliza la cal grado alimenticio, es decir óxido de calcio con menos del 5% de óxido de magnesio para efectuar el tratamiento (Reyes, 1990).

El tratamiento térmico-alcálico o nixtamalización, cumple varias funciones: facilita el desprendimiento del pericarpio y pedicelo del grano de maíz, controla la actividad microbiana, mejora el sabor, aroma, vida de anaquel y el valor nutricional entre otras. (Paredes-López y Saharópulos-Paredes, 1983; Serna-Saldívar *et al.*, 1988). Además, se agrega al maíz una buena cantidad asimilable de calcio, indispensable para el desarrollo adecuado del tejido óseo, de los dientes y del tejido muscular.

Este proceso consiste en cocinar por 40 a 60 minutos maíz de calidad de grano duro o semiduro, blanco o amarillo, el óxido en agua, pasa a ser hidróxido de calcio. Se continúa con un período de remojo que varía entre 8 y 12 horas, después del cual el grano cocido se lava repetidamente para remover la cáscara destruida del grano, exceso de cal y otros solutos. Finalmente, el grano cocido se muele para producir una masa la cual se convierte en tortilla y otros productos como harina a nivel industrial.

El maíz nixtamalizado es el grano cocido sin la cáscara pero reteniendo el germen que le da mejor valor nutritivo que el de harina desgerminada. La funcionalidad de las masas son el producto de la nixtamalización del grano y de la mezcla de sus componentes físicos y químicos durante la producción de masa.

El nejayote, líquido residual resultante del proceso de la nixtamalización, generalmente es desechado a los drenajes, resulta ser aproximadamente la mitad del volumen de la lechada original. Este efluente presenta en solución o suspensión, principalmente carotenoides a los cuales se debe su color amarillento característico, azúcares solubles, proteínas además de la cal



sobrante, ésta es necesaria para realizar el procedimiento y se encuentra aprox.10 veces más de su punto de saturación (Gómez *et al.*, 1987).

En algunas áreas de México y centro América la nixtamalización se lleva a cabo todavía a nivel del hogar. Es un proceso simple, sin embargo, lleva tiempo y requiere de mucho trabajo y esfuerzo físico, usando cantidades altas de energía, y agua que contamina al ambiente. Varios intentos se han hecho para modificar la tecnología de la nixtamalización convencional a una más eficiente, con productos superiores y menos dañinos al ambiente. Una de las más prometedoras es la cocción por extrusión, pero es costosa (Rodríguez, 2008). La ingesta de maíz como tortilla es más alta en el área rural que en la urbana y en algunos países está asociada al ingreso. Aporta entre el 39-65% de la ingestión diaria de calorías en el área rural y entre 27-53% de la ingestión diaria de proteína. Así mismo proporciona cantidades altas de calcio y de otros nutrientes.

El proceso de nixtamalización induce algunos cambios en el contenido de macronutrientes, disminuyendo la fibra dietética y el aceite, con un pequeño aumento en el contenido de minerales. El proceso induce pérdidas sustanciales de B1, B2 y niacina, así como en carotenos cuando el maíz es amarillo. La niacina residual es altamente biodisponible lo cual junto con un triptófano posiblemente más disponible y una mejor relación leucina/isoleucina ayuda a que la población no desarrolle pelagra como han ocurrido en poblaciones que consumen maíz no nixtamalizado (Rojas-Molina *et al.*, 2009).

1.9 Proceso tecnológico de elaboración de harinas

La harina instantánea de maíz tiene su origen en México. Es un producto obtenido de la molienda de maíz nixtamalizado y se considera desde el punto de vista fisicoquímico como una matriz compuesta principalmente por fracciones de endospermo, germen, pericarpio. Para la producción de tortillas y productos derivados. En la actualidad es un proceso muy importante en la industria del maíz en México y en algunos otros lugares del mundo. Las



primeras harinas de maíz en México se produjeron en el año de 1949. El uso de harinas nixtamalizadas es una práctica cada vez más popular por su comodidad en la preparación de la tortilla y de diferentes platillos. Para el consumidor, es bien distinguido que la calidad de las tortillas hechas con harinas comerciales está por debajo de las tortillas obtenidas mediante el proceso tradicional. Los orígenes de esta baja calidad pueden ser centrados en problemas de la línea de producción o problemas intrínsecos al proceso de nixtamalización (Serna-Saldívar *et al.*, 2008).

Las propiedades de las harinas de maíz nixtamalizadas, pueden ser diferentes por la calidad del maíz utilizado como materia prima (Martínez-Herrera y Lachance 1979; Serna-Saldívar *et al.*, 1993) por el tipo de tecnología empleada en la manufactura (Gómez *et al.*, 1987) y por las variaciones en las condiciones de proceso manejadas para su elaboración (Bedolla y Rooney, 1984).

La harina comercial es una mezcla de fracciones finas y gruesas, mezcladas en proporciones cuidadosamente calculadas con el fin de ser utilizadas para productos específicos. La distribución del tamaño de partícula es uno de los criterios de calidad más importantes. En los mercados de Estados Unidos de Norteamérica existen más de 30 tipos de harina de maíz (Gómez *et al.*, 1987).

Las harinas de maíz finas, son recomendadas para dar características de flexibilidad y suavidad a las tortillas, tienen grandes cantidades de almidón, el cual es responsable de una alta capacidad de absorción de agua, lo que imparte al producto éstas propiedades funcionales (Almeida-Domínguez *et al.*, 1996). Las harinas con un tamaño de partícula grande tienen una baja solubilidad en agua, una menor viscosidad y una textura áspera debido a que, durante el tamizado el almidón y la proteína quedan junto con las partículas más pequeñas, dejando las partículas grandes escasas de estos componentes, esto es bueno para alimentos que requieren freído (Almeida-Domínguez *et al.*, 1996).



Las harinas “gruesas”, son utilizadas para elaborar tostadas, tales como totopos y tortillas chips. Este tipo de botanas ocupa el segundo lugar en consumo en Estados Unidos (Serna-Saldívar *et al.*, 1993).

Otros factores importantes en las harinas son la capacidad de retención de agua, el pH, el color y el tamaño de partícula del almidón. En este sentido, si el tamaño de partícula del almidón es intermedio o pequeño se gelatinizará y retrogradará más fácilmente, situación que afectará negativamente las características de la harina rehidratada al reducir la cohesividad y la plasticidad de la masa (Paredes-López *et al.*, 2000).

En años recientes las harinas nixtamalizadas de maíz se producen industrialmente usando básicamente la misma tecnología que la que se utiliza para obtener la masa, pero diferentes condiciones de proceso. Las etapas del proceso son básicamente limpieza, selección, cocción alcalina, reposo, drenado, primer y segundo lavado, molienda húmeda, secado y por último una molienda seca para obtener como producto final la harina de maíz nixtamalizada (Rodríguez *et al.*, 2008).

Existen ciertas desventajas con relación a las harinas y a los productos elaborados con ellas. Por un lado está el incremento en el costo del producto por las cantidades de energía que se gastan durante el proceso de secado y por el otro, el efecto que tiene este proceso de producción con relación a la textura, color y sabor del producto terminado.

1.10 Rendimiento de nixtamal para la industria molinero-tortillera

El rendimiento de nixtamal es el peso de un kilogramo de maíz al término de la cocción y el reposo, después del drenado de nejayote como muestra la figura 1.3. Un buen rendimiento está por arriba de 1.8 kg de nixtamal y un mal rendimiento por debajo de 1.5 kg. Este hecho tiene relación con la cantidad de agua absorbida por los maíces. Es decir, están implícitas las propiedades de



calidad de los granos como es la dureza, el % de endospermo córneo, el espesor del pericarpio, las dimensiones, por mencionar algunas de ellas.



Figura 1.3 Rendimiento del nixtamal al término del drenado de nejayote

En la figura 1.3 se puede apreciar nixtamal durante el drenado. Estos son granos de maíz nixtamalizados, es decir después de cocción y reposo.

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

El rendimiento de harina es aquella cantidad de harina que se obtiene de la molienda de maíz de granos nixtamalizados. La norma NMX-046-S-1980 especifica que por lo menos el 75% del material debe pasar por el tamiz 60 USA. El rendimiento de harina se obtiene al calcular pesando las fracciones retenidas de harina que pasan el tamiz 60 en un análisis granulométrico y sacando él %. Es decir los gramos de harina retenidos en las mallas 70, 80, 100 y charola. Si los valores son menores del 75% quiere decir que las harinas contienen tamaños de partícula groseros entonces se destina como harina para producir botanas, ya que estas características se requieren para producir productos crujientes y con menor absorción de aceite. Parámetro que se requiere para seleccionar variedades de maíz para destino a la industria.



Capítulo 2

Metodología



Para resolver el problema en este trabajo: ¿Los criterios de calidad de los granos de maíz establecidos por la norma oficial mexicana NMX-FF-034/2-SCFI-2003 pueden darle destino a las variedades híbridas y criollas hacia la industria molinero-tortillera o la harinera? Se planteó un objetivo general y cinco particulares

OBJETIVO GENERAL: Evaluar la calidad de los granos de maíz, mediante la caracterización física y química de los parámetros de calidad de 20 variedades de granos de maíz híbridos y criollos cultivados en el bajo mexicano para su selección a la industria molinero-tortillera o harinera.

OBJETIVOS PARTICULARES:

I.- Caracterizar físicamente 20 variedades de granos híbridos y criollos mediante dimensiones del grano, el índice de flotación, peso hectolítrico, color, % de estructuras, espesor del pericarpio, dureza, peso de mil granos, de acuerdo a las especificaciones de la norma oficial mexicana NMX-FF-034/2-SCFI-2003 para la producción de harinas o para la industria molinero tortillera.

II.- Realizar la caracterización química de 20 variedades de granos híbridos y criollos mediante el análisis químico proximal para establecer si cumplen con la norma oficial mexicana NMX-FF-034/2-SCFI-2003.

III.- Establecer los tiempos de cocción de los granos de maíz híbridos y criollos mediante la determinación de humedad al término de la cocción, cumpliendo con las especificaciones de grado de hidratación y rendimiento de nixtamal, para la industria harinera o para la industria molinero-tortillera y sugerir su uso para la producción de harinas o masa.

IV.- Determinar el % de harina de maíz que pasa el tamiz 60 USA que solicita la norma oficial mexicana NMX-F-046-S-1980, mediante análisis granulométrico de muestras obtenidas de los 20 híbridos y criollos para el rendimiento harinero y seleccionar si tienen potencial para la industria harinera o tortillera.

V.- Determinar la concentración de calcio en granos de maíz nixtamalizado obtenidas de las 20 variedades híbridas y criollas al término de la cocción y el reposo, mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica para dar cumplimiento a la concentración de calcio residual que solicita la norma NMX-F-046-S-1980 en harinas.

En la figura 2.1 se presenta el resumen esquemático o cuadro metodológico del desarrollo experimental que se llevó a cabo para realizar las actividades.

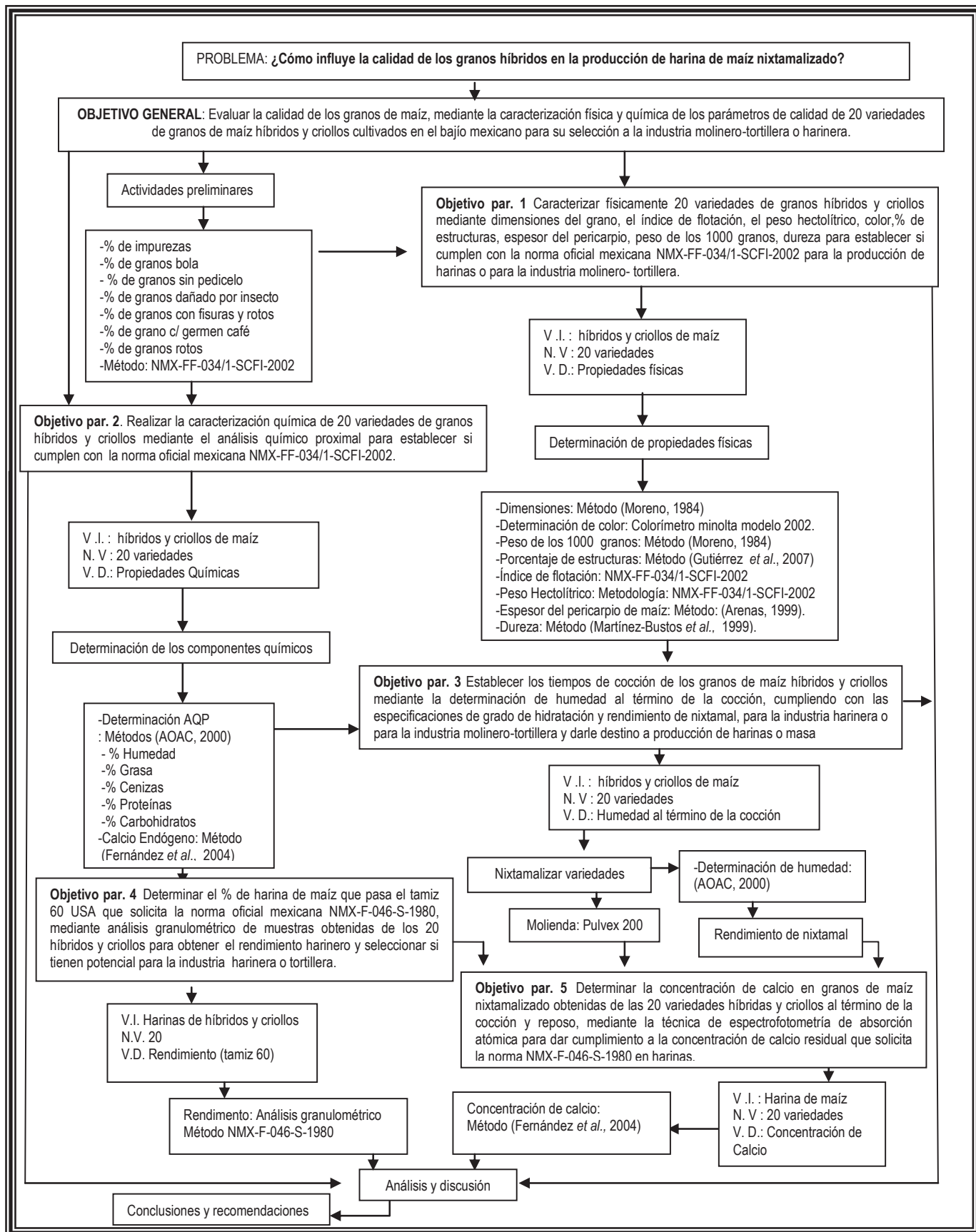


Figura 2.1 Cuadro metodológico del desarrollo experimental



2 Descripción de actividades preliminares:

Las actividades experimentales desarrolladas en el trabajo se muestran en el cuadro metodológico en resumen. Posteriormente, se describen a detalle en texto. El cuadro metodológico mostrado en la figura 2.1 es una guía para la ejecución de la parte experimental y ayuda a proyectar el trabajo conjunto. También muestra los niveles en que se trabajaron las variables independientes, las relaciones existentes entre ellas y las actividades para el cumplimiento de los objetivos que se plantearon y que sustentaron esta investigación.

Las actividades preliminares que se realizaron fueron la selección, limpieza y el acondicionamiento de la materia prima (granos de maíz).

2.1 Caracterización de la materia prima

Las variedades de maíz híbridas y criollas fueron sembradas y cosechadas en los campos experimentales del bajo mexicano. Los granos fueron proporcionados por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Delegación Bajío, ubicado en Celaya, estado de Guanajuato.

En la figura 2.2 se muestra una fotografía de los granos híbridos seleccionados aleatoriamente, para evaluar los cuales tienen los siguientes nombres; Dico, Vitaruto, Navolata, Martinin, Conic, Jabalí, Rino, Fuerte, Oso y Jaguar.

Los nombres comerciales de las variedades corresponden a los apellidos de las personas que sembraron y cosecharon los cultivos de maíz. Estos nombres se los asignó el INIFAP. Para posteriormente comercializarlos en el mercado nacional. Cabe mencionar que estas variedades no han sido estudiadas para consumo humano, tarea que en este trabajo se desarrolló, junto con otros análisis que en conjunto realizaron los laboratorios del INIFAP.

Los granos de maíz se recolectaron de diferentes regiones del bajo mexicano en diferentes estados.



Los costales de maíz proporcionados como materia prima fueron almacenados en un cuarto durante el desarrollo de esta tesis hasta su análisis de calidad y pruebas.



Figura 2.2 Granos híbridos seleccionados

En la figura 2.2 aparecen las diez variedades de maíz híbridas que se ocuparon para el trabajo experimental. Estas variedades híbridas fueron obtenidas en los campos experimentales del INIFAP y proporcionadas a los agricultores para ser sembradas. Posteriormente, fueron cosechadas, una parte se devolvió al INIFAP para ser estudiado después de su recolección. Otra se comercializó y otra se utilizó para consumo propio de los agricultores.

La figura 2.3 muestra los granos de maíz criollos seleccionados aleatoriamente, los nombres comerciales son; Roble, Blas, Camba, Combin, Caston, Toliman, Barranquilla, Fresillo, Navatol, Guasave.



Estos materiales fueron evaluados para decidir su destino a la producción en la industria harinera o molinero-tortillera.

Los granos criollos generalmente no son seleccionados para trabajar por los nixtamaleros y tampoco por los harineros. Sin embargo, algunos de ellos pudieran tener excelente calidad de grano.



Figura 2.3 Granos criollos seleccionados

La figura 2.3 es una fotografía que corresponde a los granos criollos que se evaluaron para su destino.

2.1.1 Basura y productos extraños (impurezas)

La norma oficial mexicana NMX-FF-034/1-SCFI-2002 menciona a este rubro como la materia extraña que no son granos de maíz. Se tomaron del costal muestras de maíz y se peso un kilogramo en una balanza granataria digital Marca Ohaus, modelo VOB 120.



Se separó en una criba de 2.38 mm la basura y productos extraños. Posteriormente, se cuantificó el peso de la basura.

Las impurezas son residuos generalmente de maíces, de cascarilla, de ocote, o de hoja de la mazorca. Habitualmente no pesa y es muy sencillo de eliminar.

En la figura 2.4 se muestra un ejemplo de las impurezas que contienen corrientemente las muestras de maíz.



Figura 2.4 Basura y productos extraños de una muestra

La figura 2.4 evidencia la basura de los granos. Algunas muestras, que corresponden a las diferentes variedades de maíz presentan mayor cantidad de materia extraña, esto tiene relación con la manera en que se recolectó el grano después del desgranado y también con el estado del grano. Es decir probablemente con un mayor porcentaje de daño por insecto o por hongo.

Esta actividad se realizó por triplicado y se cuantificó el valor para cada variedad utilizada en el trabajo.



2.1.2 Presencia de grano bola

Esta determinación no se encuentra en la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 pero se lleva a cabo porque es una forma de ver la calidad del grano ya que este tipo de semillas por su forma tienen un comportamiento diferente, no uniforme con el transporte del calor durante el proceso de nixtamalización.

Se tomó del costal una muestra de maíz de un kilogramo, se eligieron los granos más redondos o en forma de bola. La cantidad de granos bola era distinta en cada variedad. Los granos bola que no son deseables en las muestras de maíz, fueron contabilizados para obtener los gramos presentes en cada kilogramo.

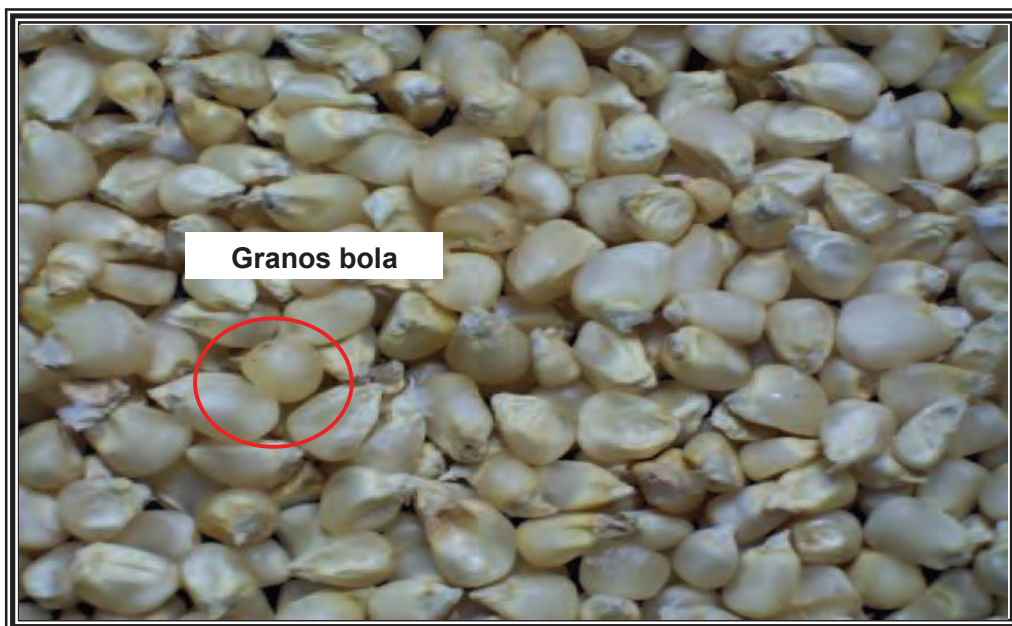


Figura 2.5 Granos bola de una muestra de maíz

En la figura 2.5 se muestran los granos bola descartados. Esta determinación se realizó por triplicado. Se le hizo un tratamiento estadístico se obtuvo el promedio y la desviación estándar ya que de estos resultados depende la compra de las semillas.



2.1.3 Presencia de granos sin cofia o pedicelo

La norma oficial NMX-FF-034/1-SCFI-2002 conoce esta determinación como granos sin punta. Se retiraron aquellos granos que no tenían cofia o pedicelo. Los granos sin cofia son muy visibles y se descartan fácilmente por lo que se hace la limpieza de la muestra de manera manual, ya que se caracterizan por dejar al descubierto el punto negro en la parte superior del grano. La función de este punto negro es la de barrera o sello que delimita o restringe a los nutrientes cuando los granos alcanzan su madurez.

En la figura 2.6 se evidencian los granos sin cofia, algunas variedades presentan mayor porcentaje.

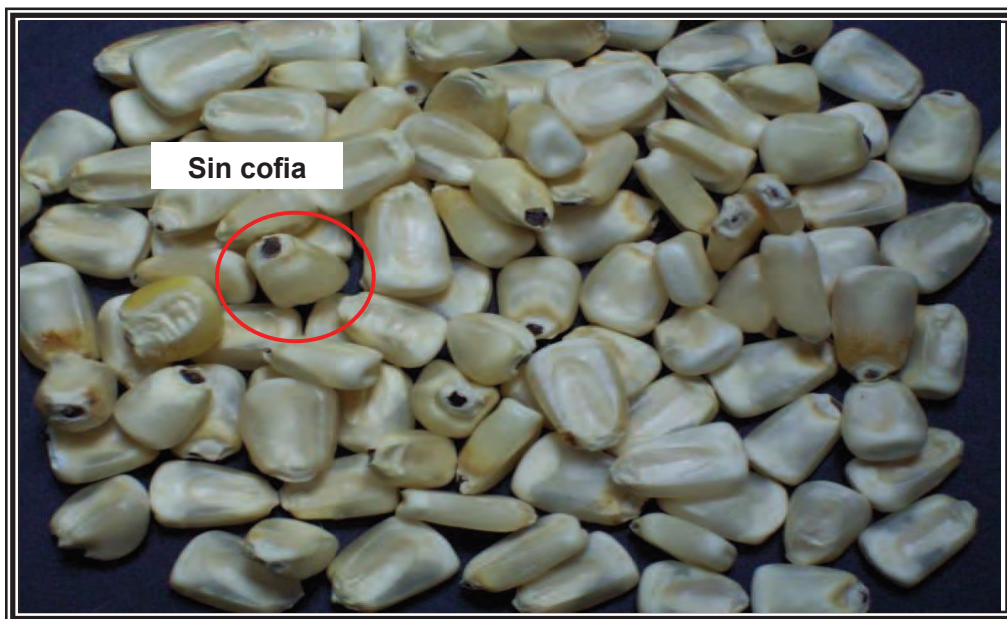


Figura 2.6 Granos sin cofia de una muestra de maíz

Los granos se contabilizaron para su posterior compra y/o penalización. Este hecho tiene que ver con la técnica empleada para desgranar la mazorca y del estado de madurez. Sin embargo, es importante porque es muy susceptible al



ataque en el período de almacenamiento y en el tratamiento térmico-alkalino durante el proceso de nixtamalización.

2.1.4 Presencia de granos dañados por insectos

En las muestras de un kilogramo de maíz se escogieron manualmente los granos dañados por insectos. Según la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 son los granos de maíz y sus partes que presenten perforaciones originadas por insectos de campo y/o almacén. Las perforaciones son muy sencillas de encontrar por tal motivo se eliminan fácilmente ya que el insecto hace perforaciones profundas y muy bien marcadas y definidas.

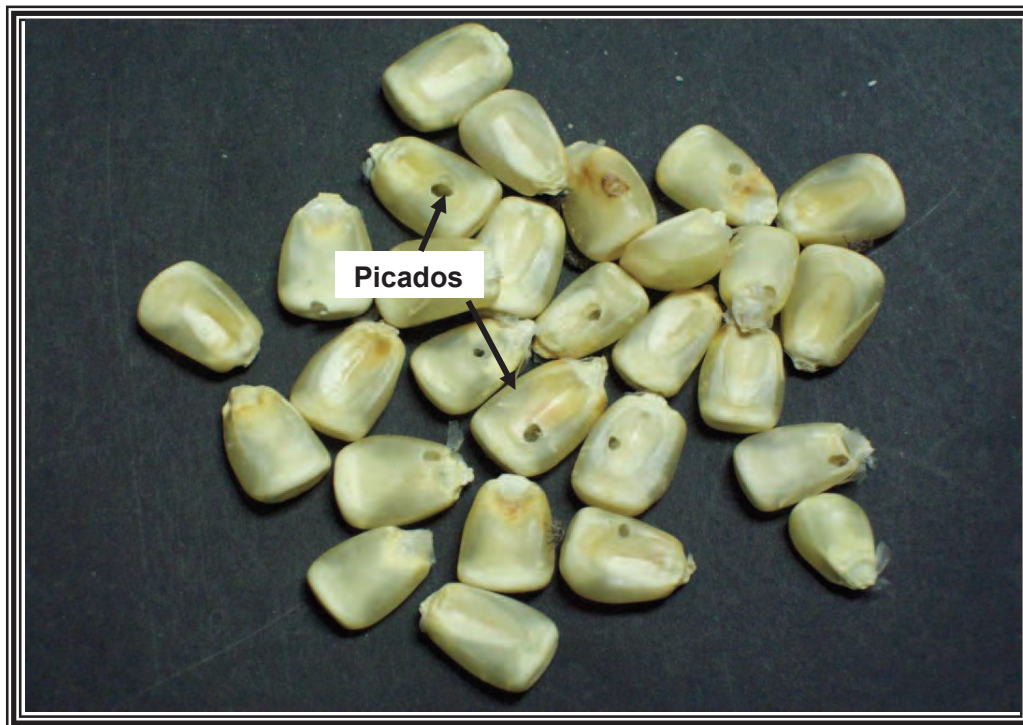


Figura 2.7 Granos con daño por insecto de una muestra de maíz

Las perforaciones se pueden encontrar en cualquier parte del grano ya que no hay un lugar específico que los insectos prefieran. Algunas veces el insecto comienza haciendo una perforación para luego introducirse y comerse el maíz iniciando del centro hacia afuera, dejando solo el pericarpio.



En la figura 2.7 se muestran los granos dañados por insectos; esta prueba también se realizó por triplicado, se cuantificaron. A los datos se les aplicó un tratamiento estadístico. Se obtuvo la media aritmética y la desviación estándar para obtener los gramos de granos dañados por insecto.

2.1.5 Presencia de granos con fisuras y rotos

Se hicieron pasar los granos por una criba con orificios de 4.5 mm. En esta prueba se quitaron de las muestras de maíz los granos fisurados y/o rotos. En la fig. 2.8 se presenta una muestra donde aparecen algunos granos de maíz rotos.



Figura 2.8 Granos fisurados y rotos de una muestra de maíz

El estado de los granos rotos es muy notorio puesto que estaban muy fragmentados puede ser que esto se deba al mal manejo que se tuvo en su desgranado, y transportación en elevadores de cangilones, etc. En algunas muestras los granos rotos están en mayor cantidad que los granos sin daño.



Esta evaluación se le hicieron tres réplicas y a los datos obtenidos se les aplicó un tratamiento estadístico el cual fue obtener el promedio y la desviación estándar.

2.1.6 Presencia de granos dañados por calor

Se escogieron manualmente de cada una de las veinte muestras de maíz los granos con coloraciones cafés, estas manchitas se localizaban ya sea alrededor del germen o en cualquier parte del grano. Esta coloración es indeseable y se conoce como granos dañados por calor. La figura 2.9 evidencia granos con estas características.



Figura 2.9 Granos de maíz dañados por calor

La cantidad encontrada en cada variedad era distinta. A veces la mayor parte de la muestra está dañada debido a la zona donde se cosechó o donde se almacenó. Este análisis se reprodujo tres veces, se cuantificaron, a los datos arrojados se le hizo un tratamiento estadístico el cual consistió en obtener el promedio y la desviación estándar para obtener los gramos de grano dañados por calor.



2.1.7 Presencia de granos con hongos

De la muestra de un kilogramo de maíz se le retiraron los granos con hongos como muestra la figura 2.10, éstos eran granos que estaban en el proceso de descomposición algunos de éstas semillas estaban afectados solo superficialmente, otras estaban invadidos en su totalidad.



Figura 2.10 Granos con hongos de una muestra de maíz

Este daño cambia su color característico a un color negruzco y tejido suave, puede ser que esto se deba al mal manejo que se tuvo en su almacenamiento después de la recolección por el agricultor o a que los granos sanos estuvieron en contacto con granos dañados o a la humedad del medio ambiente presente.

Esta selección se realizó en tres muestras de 1 kilogramo para cada una de las variedades. Se obtuvo su media aritmética y la desviación estándar.



OBJETIVO PARTICULAR 1

Este objetivo consistió en caracterizar físicamente 20 variedades de granos híbridos y criollos; los parámetros evaluados en los granos fueron: dimensiones del grano, el índice de flotación, peso hectolítrico, color, % de estructuras, espesor del pericarpio, dureza, peso de mil granos, de acuerdo a las especificaciones de la norma oficial mexicana NMX-FF-034/1-SCFI-2002 para evaluar calidad de grano para decidir su destino a la producción de harinas o para la industria molinero-tortillera.

2.2 Caracterización física del grano

2.2.1 Dimensiones de los granos

Se pesaron tres kilogramos por separado de cada uno de los costales. De cada kilogramo se tomaron al azar 20 granos de cada una de las variedades. Se le midió largo, ancho y espesor con un vernier digital.

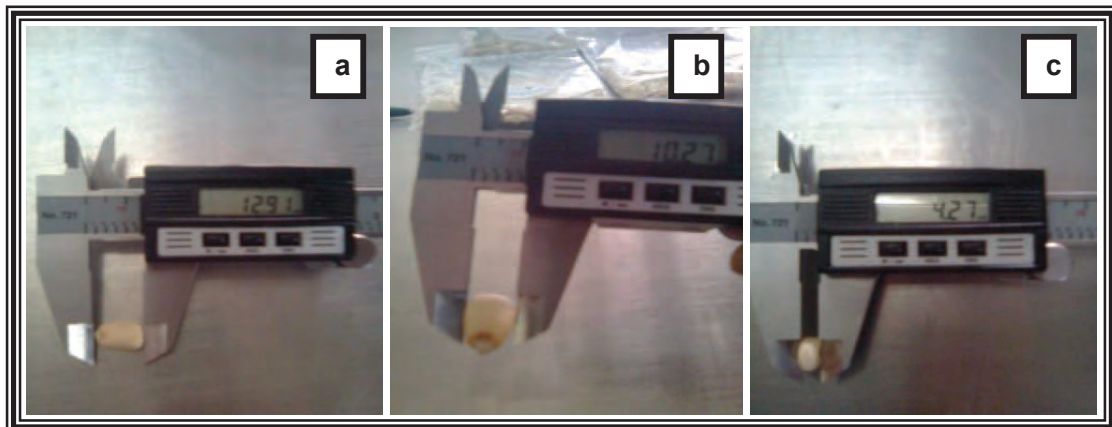


Figura 2.11 a) Medición del largo de maíz; 2.11 b) Medición del ancho; 2.11c) Medición de espesor.

La figura 2.11 a, b y c evidencia la forma en que se realizaron todas las mediciones a los granos de maíz. A los valores obtenidos se obtuvo el promedio y



la desviación estándar. Para luego comparar los datos con lo establecido por la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002.

Esta determinación es importante debido a que los granos con dimensiones minúsculas representan una pérdida, porque los granos de superficies menores se deterioran más rápido ante la transferencia de calor que los de superficies mayores. Los granos de maíz con alta calidad proteica (QPM's) son de menores dimensiones que las variedades comunes (Serna-Saldívar *et al.*, 1996).

2.2.2 Índice de flotación de los granos

Se utilizó el índice de flotación, para indicar la dureza del grano de maíz y tiempos de nixtamalización. Prácticamente determina las condiciones de nixtamalización. A mayor dureza mayor tiempo de cocción.

Este método se basa en el principio de que los granos duros son de mayor densidad y por lo tanto tales granos flotan en menor cantidad que los granos de menor densidad, en la solución de nitrato de sodio.

Se empleó una solución de nitrato de sodio, a una densidad de 1,250 g/mL (+/- 0,001 g/mL), determinada con un picnómetro. Se controló la temperatura a 22 - 23 °C, empleando un volumen de 300-350 mL, contenidos en un vaso de 600 mL. Para la obtención de la densidad de la solución de nitrato de sodio se valoró por medio de un densímetro.

Para obtener una solución al 1.25 g/mL de densidad, se ajusta a una concentración de nitrato de sodio del 41 %, sin embargo esta concentración puede variar de acuerdo a la pureza del reactivo.

De la muestra de 1000 g que se utilizó para la detección de impurezas y granos quebrados, se tomó 100 granos limpios (libres de impurezas), se vierten en la solución de nitrato de sodio previamente preparada, separando los granos uno de otro por medio de un agitador de vidrio, se agita y se espera un minuto para tomar la lectura. En la figura 2.12 se muestra como se realizó la prueba. El número de



granos que ascendieron a la superficie se contaron y se utiliza como el índice de flotación.

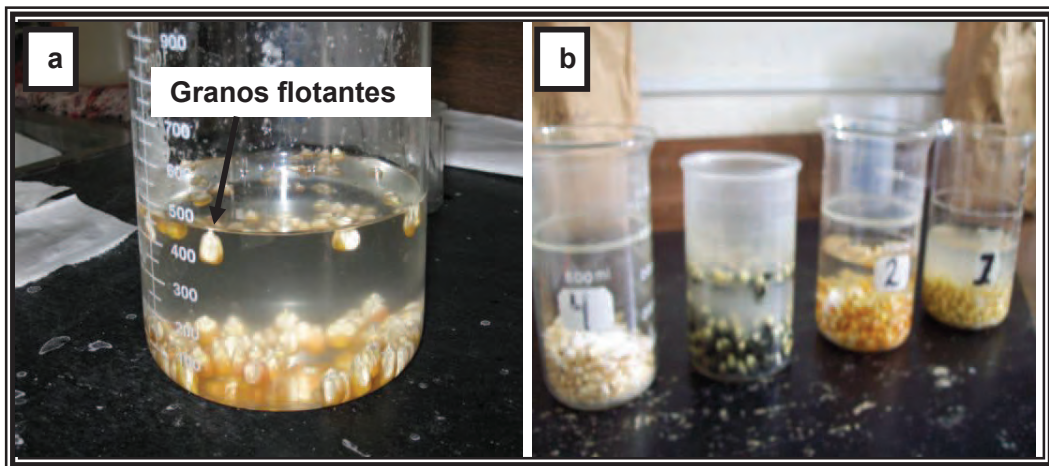


Figura 2.12 a) Medición del Índice de flotación en una muestra; 2.12 b) Medición del índice de flotación en varias muestras.

La norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 presenta una tabla de valores para realizar el análisis comparativo, la cual se muestra en el cuadro 2.1

Cuadro 2.1 Índice de dureza de los granos

GRANOS FLOTANTES	DUREZA	TIEMPOS DE COCCIÓN (minutos)
0-12	MUY DUROS	45
13-37	DUROS	40
38-62	INTERMEDIOS	35
63-87	SUAVES	30
88-100	MUY SUAVES	25

Fuente: NMX-FF-034/1-SCFI-2002



Una vez obtenidos los índices de flotación éstos se comparan con la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002. Este procedimiento se repitió en tres ocasiones para confirmar el resultado.

El índice de flotación es una medida indirecta de la dureza de los granos y este parámetro es directamente correlacionado con los tiempos de cocción de las semillas. Como se muestra en la última columna del cuadro 2.1.

2.2.3 Peso Hectolítrico de los granos

La forma y tamaño de la semilla son factores importantes en esta determinación, por afectar la manera en como los granos se acomodan en el recipiente de prueba. Otro factor es la densidad intrínseca, que depende de la estructura física del grano y su composición química, además de su humedad. El peso hectolítrico se considera como la densidad aparente del grano y consiste en determinar el peso de la semilla contenida en un volumen por litro (Salinas y Vázquez, 2006).

Este método se realiza con el medidor Winchester Bushel Meter, que consiste en la determinación del peso en kilogramos de un cierto volumen de grano expresado en hectolitros. El peso hectolítrico se relaciona con la densidad real del grano y por lo tanto, con la textura del endospermo o con el contenido de proteína y estado de salud del grano. Los granos dañados por insectos tienen un peso hectolítrico más bajo que las contrapartes sanas, mientras que los granos con textura córnea poseen una mayor densidad aparente. Los lotes de granos con mayor humedad tienen un menor peso hectolítrico (Serna-Saldívar, 1996).

El análisis consiste en determinar el peso por unidad de volumen con o sin impurezas. 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 74 kg/hL ya que esto tiene relación con el % de endospermo duro que es deseable en granos con destino para producir harinas.



La determinación se realizó en una balanza fija de peso hectolítrico, es la medición de densidad mas ampliamente utilizada y representada para granos. Se expresa en unidades de kg/HL.

El peso hectolítrico de los granos se realizó utilizando la metodología propuesta por la AACCC (Método 55-10, AACCC). En una balanza para determinar este tipo de mediciones.

El procedimiento seguido fue primero nivelar la balanza, girando los tornillos que se encuentran en la parte de atrás para que la burbuja quedara bien centrada. Enseguida, la balanza se puso en cero colocando el recipiente vacío en el gancho de las barras graduadas y moviendo las pesas a la posición cero. Se centró el recipiente. Posteriormente, se obstruyó la tolva o embudo con la trampa correspondiente y se centro con respecto al recipiente. Si se dispone de suficiente muestra (1kg) se utiliza el recipiente de 1L, en muestras de menor tamaño y hasta 300 g se utiliza el recipiente de 250 mL. Se vertió el grano en el embudo de acuerdo a la figura 2.13 a y una vez centrado se colocó el recipiente vacío en la base de la balanza, de tal manera que al salir el grano del embudo cayera exactamente en la base del recipiente. Se quitó el obturador para dejar completamente libre la salida del grano de la tolva o embudo como muestra la figura 2.13 b evitando golpes y movimientos bruscos, con tres movimientos en zig zag se aplanó el recipiente quitando el exceso de granos con el borde redondeado de la regla de madera, lo cual se aprecia en la figura 2.13 c.

Finalmente, se peso el recipiente cilíndrico que contiene el grano copeteado, se anotó el peso registrado expresado en kg/HL con una exactitud de 0.1g.

Cuando se utiliza el recipiente de 250 mL el valor obtenido se multiplica por cuatro.



Cuando se realiza esta prueba, es necesario primeramente determinar la prueba de humedad, debido a que este factor puede afectar de manera determinante el valor del peso hectolítrico.

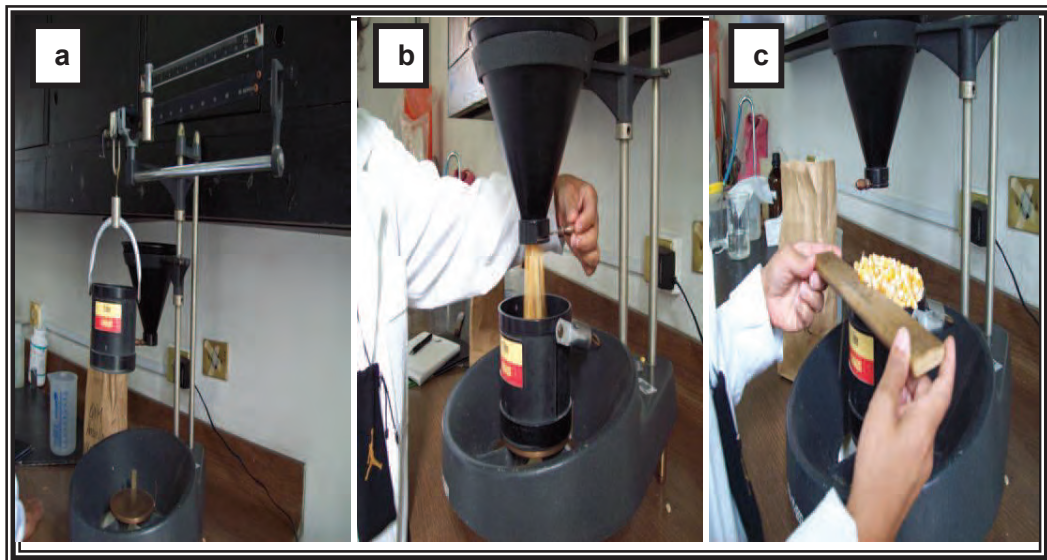


Figura 2.13 a) Balanza para peso hectolítrico; 2.13 b) Vaciado del embudo; 2.13 c) Eliminando el exceso del grano en el cilindro.

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

2.2.4 Determinación de color de los granos

El color del grano de maíz aunque no se considera de importancia para el uso alimentario, sí influye de manera significativa en las preferencias del industrial y del consumidor. La medición de color con instrumentos es simple, precisa y rápida.

El procedimiento que se siguió fue empotrar granos de maíz en plastilina de manera ordenada y tratando de no dejar espacios vacíos como muestra la figura 2.14 a y 2.14 b. Posteriormente, se calibró el analizador del colorímetro con una placa de porcelana aplicando los parámetros del integrador ($L= 82.8$, $a= 0.9$, $b= -$



1.2). El colorímetro de reflectancia registra la intensidad de luz absorbida por el color negro a la reflejada por el blanco (escala “L”), así como la descomposición de la luz en los colores básicos: La escala “a” va del rojo al verde y la “b” del amarillo al azul. Los granos de maíz se acomodaron en una caja de petri de 10 cm de diámetro, luego se comprimió con un vidrio plano, hasta llenarla por completo. Subsiguientemente, se colocó sobre la muestra la lente plana del colorímetro. Por último se evaluó el color con el cálculo del ángulo de tono ($^{\circ}$ Hue) calculado a partir de a^* y b^* con la ecuación: $\text{Ángulo de Hue} = \arctan b^*/a^*$. El color se determinó con un Colorímetro Hunter-Lab modelo MINISCAN XEPLUS, el cual se muestra en la figura 2.14 c.

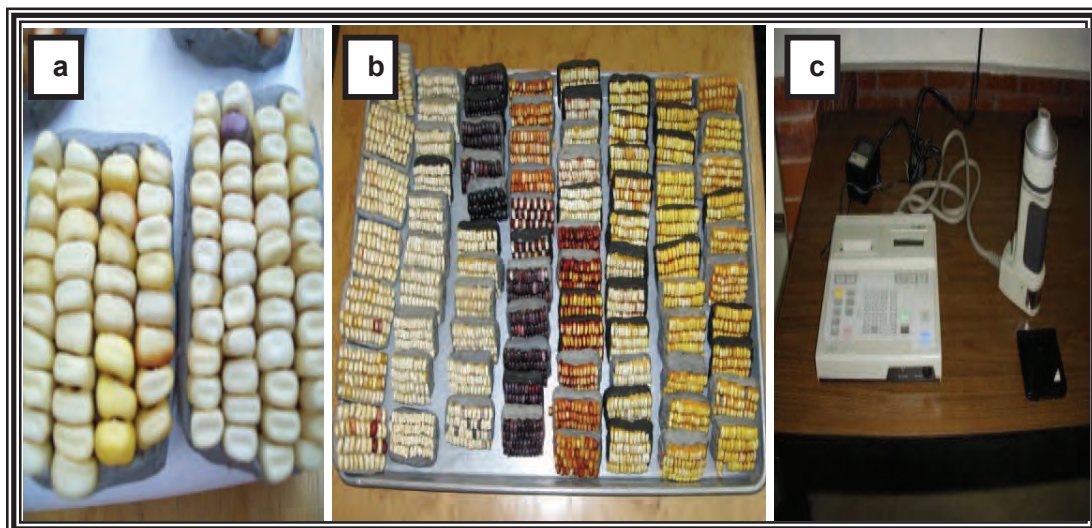


Figura 2.14 a) Granos empotrados sin espacios; 2.14 b) Todas las variedades; 2.14 c) Colorímetro Hunter- lab, modelo MINISCAN XEPLUS

En la figura 2.14 b se pueden apreciar granos de maíz incrustados que no son de color blanco y amarillo. En este trabajo únicamente se utilizaron granos blancos y amarillos, aunque la industria harinera ahora está requiriendo granos de colores debido a la cantidad de nutrientes que contienen específicamente carotenos.



2.2.5 Porcentaje de estructuras

Las variedades de maíz híbridas y criollas con las que se trabajaron son diferentes y por lo tanto su composición química la cantidad de pericarpio y germen presentes en estos maíces es variable. Esta actividad 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 por triplicado para obtener el porcentaje real de cada estructura (cofia, pericarpio, germen y endospermo).

La cantidad de pericarpio es un parámetro importante para la industria harinera, ya que genera un color amarillo al estar en contacto con el hidróxido de calcio durante el proceso de nixtamalización. Además el pericarpio es una de las estructuras que contribuye a la dureza del grano de maíz por ser un material muy fibroso. La cantidad de germen también cobra importancia, ya que en esta estructura se encuentra la grasa, y los granos con contenidos mayores de 4.5 % de grasa o más del 12 % de germen no califican para la industria harinera. El endospermo es la estructura mayoritaria del grano, es donde se encuentra el almidón, la importancia de esta estructura radica en la relación de almidón córneo: harinoso.

Cien granos de maíz fueron hidratados con 50 mL de agua destilada por 40 minutos, después se drenó el agua, los componentes del grano se separaron de manera manual de cada uno de los maíces como se muestra en la figura 2.15 a. Posteriormente, cada una de las partes se deshidrató en un horno de vacío a 42°C durante 2 horas, hasta que se obtuvo un % de humedad del 12 %. Cada grano y sus componentes fueron pesados en una balanza analítica como muestra la figura 2.15 b.

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



Una vez determinados los pesos de las estructuras. Los endospermos se hidratan por 30 minutos en agua destilada para realizar la prueba de contenido de almidón córneo y harinoso.

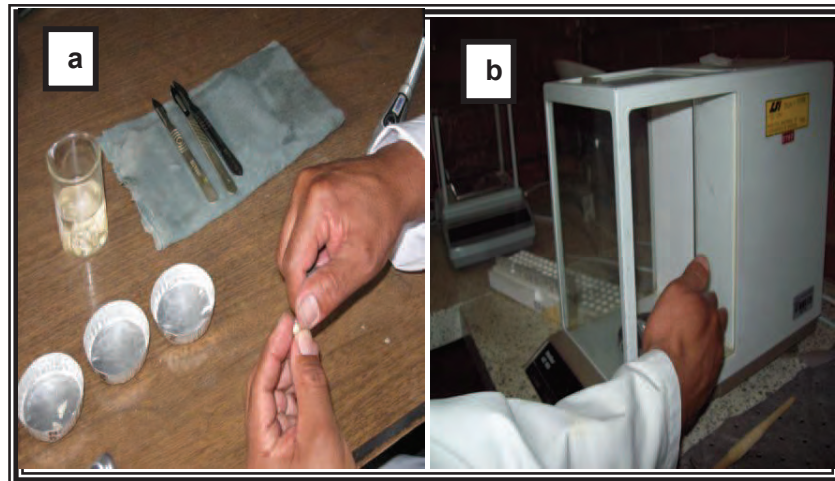


Figura 2.15 a) Desprendimiento del pericarpio del grano; 2.15 b) Balanza analítica para pesado de las estructuras

Adicionalmente, se determinó la relación de endospermo córneo y de endospermo harinoso. Esta prueba se realizó en 50 granos, a los cuales se les retiró el pericarpio y germen. Posteriormente se les aplicó un corte longitudinal como se aprecia en la figura 2.16 a, con esto se calculó el área del almidón harinoso y del córneo. Por último se obtuvo la relación de endospermo córneo: harinoso de cada variedad.

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 almidón harinoso y vítreo se muestran en la figura 2.16

El endospermo harinoso rodea la figura central del grano. Los gránulos de almidón se encuentran comprimidos en forma esférica y envueltos en una matriz proteica que los cubre ésta es adelgaza cuando los gránulos de almidón crecen en tamaño. Con el proceso de nixtamalización una parte de la matriz proteica se rompe y deja espacios con aire (cavidades aéreas) por el cual interrumpe la transmisión de luz. Por esta razón el grano presenta una apariencia opaca. (Watson *et al.*, 1987).

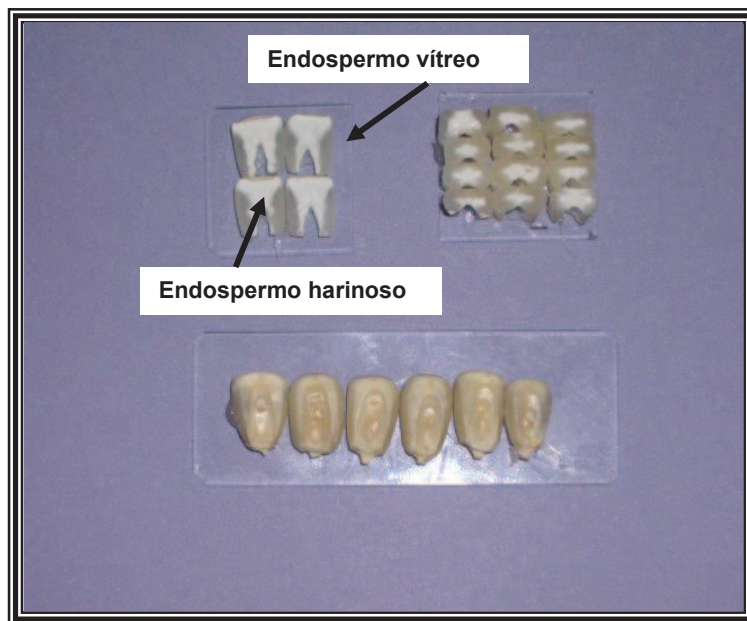


Figura 2.16 Endospermo vítreo y endospermo harinoso

El endospermo vítreo se encuentra principalmente a los lados. Los gránulos de almidón son poliédricos, se encuentran empaquetados y encerrados en una matriz proteica, más gruesa que les favorece ya que durante el secado permanece intacta y dándole al grano la apariencia traslúcida que lo caracteriza, no presenta cavidades aéreas además tiene entre 1.5 a 2.9 % mayor contenido de proteína que el harinoso.



2.2.6 Espesor del pericarpio

El conocimiento del espesor, nos resulta de gran trascendencia porque es un parámetro que nos ayuda para establecer la edad y dureza del grano. Además es la estructura que gobierna la difusión al interior de las estructuras. Si su espesor es muy grande, cuesta trabajo degradarlo durante la primera etapa del proceso de nixtamalización y esto alarga los tiempos de cocción de las variedades de maíz, los espesores solicitados por la industria harinera son menores a 100 μm .

Cincuenta granos de maíz se hidrataron en 100 mL de una solución 1:2 de agua-glicerina a temperatura ambiente durante 1 hora. La solución se drena y los granos se secan con papel absorbente. Posteriormente, con un bisturí se corta la cofia y manualmente se desprende el pericarpio como muestra la figura 2.17. Después, los pericarpios se acomodan cuidadosamente encimados en cinco capas en la porción opuesta al germen y se toma la lectura en la parte central del grupo de capas, utilizando un micrómetro (Mohamed *et al.*, 1993).



Figura 2.17 Pericarpios obtenidos de granos de maíz

Este procedimiento se reprodujo tres veces en las muestras. Por último, se calculó la media aritmética de los datos y su desviación estándar.



2.2.7 Dureza de los granos de maíz

La dureza se define como la fuerza necesaria para romper el grano. Esta es una propiedad intrínseca debido a que afecta las propiedades nutritivas, la densidad del grano, y la densidad volumétrica, la formación de polvos y los requerimientos de la molienda. La susceptibilidad al rompimiento, y el contenido de humedad de los granos tienen una fuerte influencia sobre las mediciones de dureza del grano.

Debido a que la dureza es una propiedad importante para establecer el tiempo en que los granos de maíz deben cocerse, se determinó en 30 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 30 maíces de la misma muestra como se puede apreciar en la figura 2.18 a y 2.18 b.

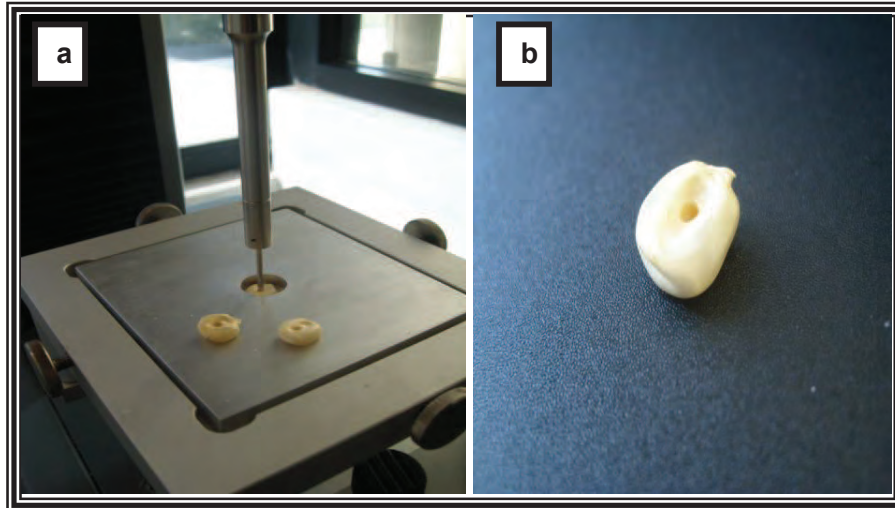


Figura 2.18 a) Analizador de textura TA- XT2 (Stable Microsystems,UK). 2.18 b) Maíz perforado de la prueba de dureza.

La dureza del grano es de suma importancia porque determina en parte la velocidad de penetración del agua durante el cocimiento ya que los granos suaves se hidratan rápidamente requiriendo tiempos cortos de cocimiento pero son muy



susceptibles al sobrecocimiento y con granos con dureza intermedia-alta son adecuados para la nixtamalización porque resisten cierto abuso o falta de control durante el proceso de producción de masa tortillas con calidad aceptable.

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 (Ver anexo).

2.2.8 Peso de los 1000 granos de maíz

El peso de mil granos, es un indicador del tamaño del grano y este, se relaciona con los rendimientos de la molienda y con la superficie total disponible para el intercambio de calor durante el calentamiento. Se tomaron muestras al azar de cada uno de los costales y se pesaron en una balanza granataria tres kilogramos por separado como muestra la figura 2.19. Este mismo procedimiento se realizó para cada una de las variedades criollas e híbridas en estudio.



Figura 2.19 Peso de mil granos de maíz

En condiciones comparables, los granos grandes requieren más calor para cocerse que los granos pequeños debido a que estos últimos tienen menos superficie total.



Tamaños intermedios grandes son deseables para el proceso de nixtamalización ya que resisten cierto grado de sobreprocesamiento y todavía producen masa y tortillas con calidad aceptable.

Las industrias prefieren los granos de tamaño uniformes y mediano, lo cual es difícil ya que en la misma mazorca se encuentran granos de diferente tamaño, en la punta generalmente se desarrollan granos más pequeños que los de la base. La prueba es sencilla, práctica y rápida. Cabe mencionar que el peso promedio de 1000 granos solicitado para el procesamiento a nivel industrial, se prefiere de un rango de 240 a 370 g (Serna-Saldívar *et al.*, 1996).

OBJETIVO PARTICULAR 2

Este objetivo consistió en caracterizar químicamente 20 variedades de granos híbridos y criollos mediante el análisis químico proximal según la norma oficial mexicana NMX-FF-034/1-SCFI-2002. Los parámetros evaluados en los granos fueron: % de humedad, % de grasa, % de cenizas; % de proteínas, % de fibra y % de carbohidratos para evaluar calidad de grano con destino para la producción de harinas o para la industria molinero-tortillera.

2.3 Caracterización química del grano

2.3.1 Humedad de los granos

Humedad: método 925.10 AOAC 2000. La prueba proporciona información sobre la cantidad de materia seca que el comprador está obteniendo, y también dicta la pauta para el manejo del grano durante su almacenamiento. Se acepta hasta 14 % como máximo, ya que contenidos superiores implican un mayor y más costoso manejo ya que el grano, además de ser más propenso a deteriorarse, necesita de aireación o secado. Otro método muy popular es el analizador de infrarrojo cercano, es muy exacto, pero su precisión depende de las curvas de estandarización (Serna-Saldívar, 1996).



La prueba más usual para determinar la humedad es por conductividad eléctrica con los equipos Motomco o Steinlite (método 44-11, AACC). Es una prueba no destructiva y se basa en el principio de que el agua ligada y libre del grano son diferentes conductoras de electricidad. Se encendió el equipo Steinlite el cual se muestra en la figura 2.20 a y se deja calentar durante 15 minutos, al término de los cuales se selecciona el tipo de grano con el que se va a trabajar, que en este caso es maíz y se calibra de acuerdo con el valor indicado en el manual de operación. Este procedimiento es válido para modelo SS250. Se pesaron 250 g de grano limpio, y se vertieron en la cámara del aparato, ver figura 2.20 b, oprimiendo posteriormente el botón para que la muestra baje. Después de unos segundos, aparece la lectura del porcentaje de humedad en la pantalla de equipo. Se toma la lectura y se registra para cada semilla.



Figura 2.20 a) Equipo Marca Steinlite para determinación de humedad; 2.20 b) Determinación de humedad de una muestra

El procedimiento se realizó por triplicado para cada una de las muestras. Posteriormente, se obtuvo el promedio y la desviación estándar.



2.3.2 Determinación de grasas

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 4.5%, para evitar en el producto problemas de rancidez durante el almacenamiento de harinas. La primera reacción de degradación de las grasas es la oxidación, también conocida como rancidez. El fenómeno de auto-oxidación de las grasas contenidas en los alimentos es conocido como uno de los principales factores que afectan la vida útil de algunos alimentos. Este fenómeno es el resultado de la formación de hidrocarburos, quetonas, aldehídos, epóxidos y alcoholes. (Twillman y White, 1988). El método utilizado para la determinación de grasa fue el método 30-25 AACC 2000. Se molieron 10 g de granos de maíz con una humedad del 12 % en un molino de bolas.

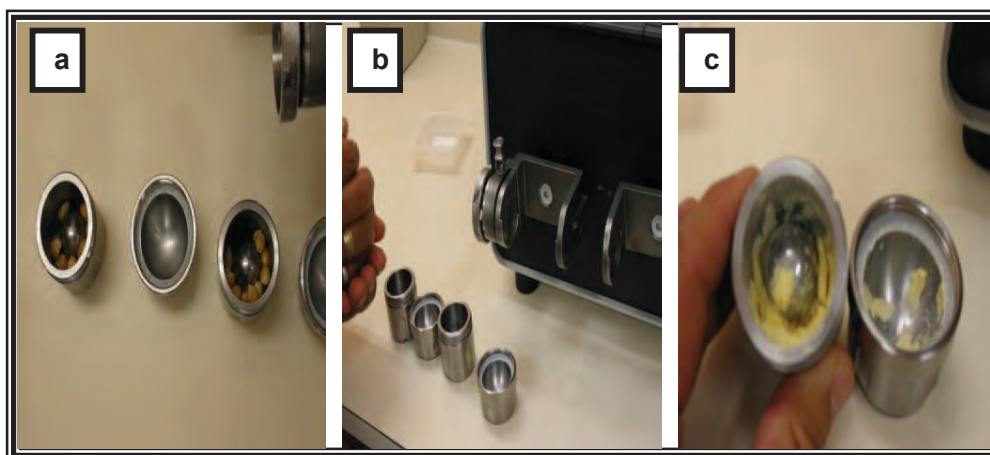


Figura 2.21 a) Molino de bola con granos de maíz; 2.21 b) Ejes para los molinos de bola; 2.21 c) Muestra de harina de maíz para la determinación de grasa.

La figura 2.21 a, b, c muestra la molienda del material para la extracción de grasa, la cual se realizó en un Soxhlet con solvente. Se pesaron 3 g de muestra de harina de maíz dentro del cartucho (figura 2.22 a), el cual se colocó en el equipo de extracción y se agregó éter etílico. Posteriormente, se inició el calentamiento y se abrió la llave de agua, la cual debió de estar fría para que condensara el éter. El



condensador está provisto de una chaqueta de 100 mm de longitud, con espigas para la entrada y salida del agua de enfriamiento. El extractor tiene la capacidad, hasta la parte superior de sifón, de 10 mL; el diámetro interior del extractor es de 20 mm y su longitud de 90 mm. Los matraces bola fueron de 500 mL de capacidad en volumen.

El equipo está conformado por un cilindro de vidrio vertical de aproximadamente un pie de alto y una pulgada y media de diámetro. La columna está dividida en una cámara superior y otra inferior.

La superior o cámara de muestra sostiene un sólido o polvo del cual se extraerán compuestos. La cámara de solvente, exactamente abajo, contiene una reserva de solvente orgánico, éter o alcohol.

Dos tubos vacíos o brazos corren a lo largo a un lado de la columna para conectar las dos cámaras. El brazo de vapor, corre en línea recta desde la parte superior de la cámara del solvente a la parte superior de la cámara del sólido. El otro brazo, para el retorno del solvente, describe dos "U" sobrepuestas, que llevan desde la cámara de la muestra el solvente hasta la cámara del solvente. El soxhlet funciona cíclicamente, para extraer las concentraciones necesarias.

Se encendió el aparato el cual controlaba el calentamiento del aceite que posteriormente calentó los vasos en el extractor. Se colocaron 270 mL de éter etílico anhidro ($C_2H_5)_2$ y se metieron en el extractor, se dejó la extracción aproximadamente 5 horas. Después del tiempo transcurrido se tomó con un pedazo de papel filtro una gota de solvente para que traspasará el cartucho y así verificar si éste se había evaporado al no dejar una mancha de grasa, en caso de que no fuera así, se vuelve a recircular.

Esta técnica se realizó para cada una de las variedades de maíz por triplicado. Al término de la determinación de grasa a los datos obtenidos se les obtuvo la media y la desviación estándar.



Cálculos:

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

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

La figura 2.22 b muestra el equipo de soxhlet utilizado para las determinaciones de grasa.

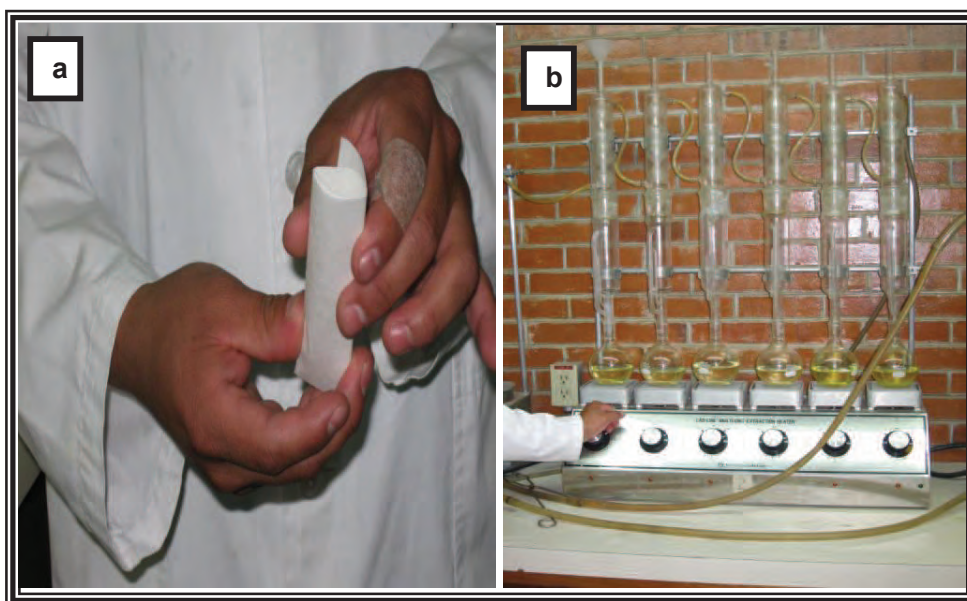


Figura 2.22 a) Cartucho con harina; 2.22 b) Determinación de grasas



2.3.3 Determinación de cenizas

Este método se basa en incineración para destruir toda la materia orgánica cambiando su naturaleza, se determinó además la materia inorgánica total del alimento por medio de una calcinación de la muestra a 550 °C quedando las cenizas o el residuo inorgánico. La determinación se llevó a cabo por el método 08-01 de la AACC 2000.

Este procedimiento cobra importancia, porque por medio de esta técnica se determinó de manera cuantitativa la cantidad de minerales contenidos en todas las variedades de maíz estudiadas.

Se pesaron 5 g de muestra en un crisol puesto previamente a peso constante como se muestra en la figura 2.23 a. Se carbonizaron las muestras lentamente en el mechero, para evitar pérdidas por arrastre de humo y proyecciones de la muestra fuera del crisol.

Cuando el desprendimiento de humo terminó se llevó a la mufla (marca Lindber, modelo 51894) a una temperatura de 550 °C lo cual se muestra en la figura 2.23 b, hasta que las cenizas estuvieron libres de carbón (cenizas grises o blancas).

Se apagó la mufla y se dejó enfriar. Posteriormente, se transfirieron los crisoles a la estufa de secado a una temperatura de 110 °C para terminar de enfriar lentamente durante unos 30 minutos.

Se pasó a un desecador y una vez que se alcanzó temperatura ambiente, se pesaron en una balanza analítica (OHAUS, modelo AS200) con sensibilidad de 0.1 mg. Este procedimiento se realizó por triplicado para cada una de las variedades, tanto híbridas, como criollas.

Se obtuvo el promedio y la desviación estándar. El contenido de minerales tiene que ver generalmente, con las características de cada semilla, pero también con las tierras de cultivo donde se sembraron. La determinación de cenizas es parte



de la metodología completa del AQP, y aunque no es considerado tan importante como parámetro de calidad, entre mas tenga se ubica mejor a los granos.

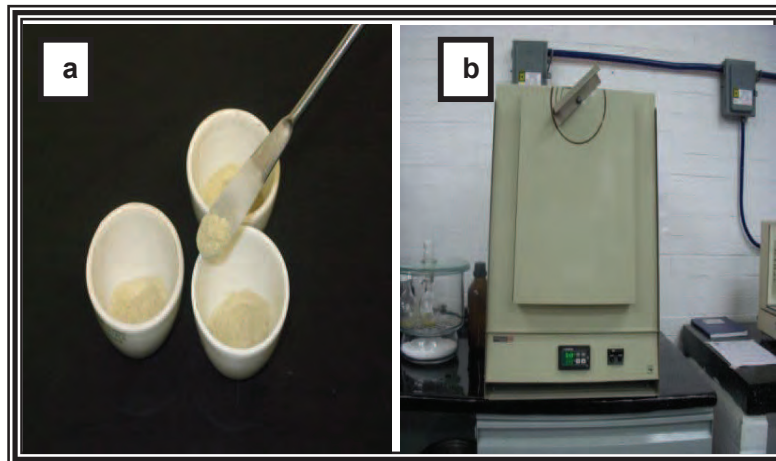


Figura 2.23 a) Crisoles con harina; 2.23 b) Mufla para determinación de cenizas

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 vacío 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.



2.3.4 Determinación de proteína cruda o bruta

Una gran proporción del nitrógeno de los alimentos se encuentra también en forma proteínica. Las proteínas de un alimento pueden calcularse químicamente a partir de su contenido de nitrógeno.

Dentro de los métodos más empleados para la determinación del nitrógeno total y que forma parte del Análisis Químico Proximal (A.Q.P.) se encuentra el descrito por Kjeldahl con las condiciones de Gunning y Arnold. Esta técnica se basa en que las proteínas y demás materia orgánica, son oxidadas por el ácido sulfúrico, añadiéndose sulfato de sodio o potasio para elevar la temperatura de la mezcla y de esta manera acelerar la reacción, fijándose el nitrógeno en forma de sulfato de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Esta sal se hace reaccionar con una base fuerte, generalmente hidróxido de sodio (NaOH) al 33% desprendiéndose amoníaco (NH_3) , que se destila y se recibe en un volumen conocido de ácido bórico (H_3BO_3) ; por titulación del ácido se calcula la cantidad de NH_3 , conociéndose de esta manera la cantidad de nitrógeno contenido en la muestra, el cual multiplicado por el factor de conversión en donde 6.25 es el más comúnmente empleado, nos proporciona la cantidad de proteína cruda o bruta. La determinación de proteína se realizó (NX6.25) por microkjeldahl método 46-13, AACC 2000.

Los reactivos utilizados fueron ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) . Una solución de hidróxido de sodio al 33%. Para su preparación se requirieron 330 g de NaOH y se transfirieron a un recipiente que contenía 500 mL de agua destilada y se disolvieron. Este recipiente se mantuvo en baño frío, para evitar desprendimientos excesivos de calor, se enfrió la solución y se aforó hasta un litro con agua destilada, después se filtró con una gasa para eliminar residuos contaminantes.

La solución de ácido bórico (H_3BO_3) al 3%. Se pesaron 30 g de ácido bórico y se adicionaron 600 mL de agua destilada, se calentó y agitó en una parrilla con agitación hasta disolver y se dejó enfriar y completar a un litro.



La solución de ácido sulfúrico 0.1 N. Se puso en un poco de agua destilada, se adicionó lentamente por las paredes del matraz volumétrico 2.8 mL de H_2SO_4 . Esto se completo a un litro, luego se valoró empleando naranja de metilo.

La solución de rojo de metilo, se preparó disolviendo 0.1 g de rojo de metilo en 60 mL de alcohol etílico (C_2H_6O), después se aforó en 100 mL con agua destilada. Se mezcló 1 parte de una solución alcohólica de rojo de metilo al 0.2% con 5 partes de una solución alcohólica de verde de bromocresol al 0.2%.

Para la mezcla digestora se pesaron 200 g de K_2SO_4 , 20 g de sulfato cúprico pentahidratado ($CuSO_4 \cdot 5 H_2O$), reactivo A.C.S. Se molieron ambos polvos y se mezclaron muy bien.

El procedimiento seguido fue: Se pesaron 0.5 g de muestra de harina y se colocaron en los tubos para digestión de 300 mL (largos), se agregaron 11 g de sulfato de cobre como catalizador y 15 mL de ácido sulfúrico, después se colocan las tapas a los tubos y se dejaron digerir durante 1 hora. En un digestor Marca Unit, Büchi, Modelo B-435, hasta que la muestra se puso de color verde claro. Por último, se dejaron enfriar por treinta minutos.

Ya prendido el equipo se realiza la destilación, se colocó y se aseguró un tubo y un vaso limpio, después se precalienta y se checan las condiciones en el aparato de destilación Unit, Büchi, Modelo B-324. En seguida se colocó el primer tubo con muestra asegurándolo con la palanca y se puso el vaso de precipitado de 300 mL debajo de las mangueritas, se espero durante cinco minutos y el aparato indicó que la destilación estaba terminada. El contenido del vaso es para la titulación.

La titulación se realizó en un equipo Marca Metler Modelo Toledo DL58 tritator versión 2.3. Posteriormente, se lavó el electrodo del aparato con agua destilada y se colocó en su lugar, la bureta también se lavó. Se colocó el vaso con la muestra destilada introduciendo en él un agitador, el electrodo y la manguerita. Una vez dada la opción de titular, la máquina pide el peso de la muestra y ésta se le añadió, la titulación se llevó a cabo en aproximadamente dos minutos. Al terminar la titulación la máquina nos dio los resultados automáticamente: cantidad usada de



ácido sulfúrico, porcentaje de nitrógeno total y porcentaje de proteína total, por lo que usando este aparato no es necesario realizar los cálculos.

2.3.5 Determinación de fibra

La determinación de fibra se realizó por el método 992.16 AOAC 2000

Para realizar esta determinación, primero la muestra debe estar desengrasada por medio de la extracción con solventes, en caso de que contenga más del 5 % de grasa, lo cual no fue el caso de ninguno de los maíces. La determinación consiste en una digestión ácida y una básica.

Se preparó una solución de ácido sulfúrico (H_2SO_4) = 0.255 N (1.25 %). Se colocó un poco de agua en un matraz volumétrico de 1000 mL, al cual se le adicionaron 7.1 mL de H_2SO_4 concentrado.

Una solución de hidróxido de sodio (NaOH) 0.313 N (1.25 %) se disolvieron en 12.5 g de alcohol etílico ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) R.A.

El procedimiento seguido fue: Se pesaron 2 g de muestra seca. Se colocaron 200 mL de la solución de ácido sulfúrico 1.25 % en el vaso de Berzelius hasta que alcanzará el punto de ebullición en el digestor de fibra, en seguida se añadió la muestra y unas perlas de vidrio. Se calentó el vaso en el digestor, cuando la muestra se quedaba pegada a las paredes se bajó con la ayuda de un gendarme, regulando con el control de temperatura para que la ebullición no fuera agresiva.

Se dejó hervir por 30 minutos, se sacó el vaso del digestor para filtrar el contenido en el papel filtro antes empleado y se lavó con 25 mL de la solución de H_2SO_4 1.25%, por último se lavó con 25 mL de alcohol etílico y se dejó secar por 2 horas a 130 °C. Se enfrió en el desecador y se pesó.

Para reportar en base a materia orgánica se colocó el papel filtro con el residuo en un crisol de porcelana y se calcinó a 550 °C por 3 horas después se enfrió y por último se peso.



Cálculos:

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

$$\% \text{ FC}_{\text{MO}} = \frac{(A - C) \times 100}{M}$$

Donde:

FC = Fibra cruda en base a materia seca

FC_{MO} = Fibra cruda en base a materia orgánica

A = Peso del crisol+ muestra seca (g)

B = Peso del crisol + muestra seca después de las digestiones (g)

C = Peso del crisol + muestra calcinada (g)

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

Nota: Es necesario verificar con que humedad se está trabajando para poder reportar en base a materia seca.

% FC (BS)

%FC_{MO}(BS)

2.3.6 Determinación de carbohidratos

La determinación de carbohidratos se realizó por diferencia de todos los demás componentes químicos.

2.3.7 Determinación de calcio endógeno

La determinación de calcio endógeno fue importante para conocer la concentración de calcio en el grano crudo, porque la fijación de este mineral



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 se 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 analizó, 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; Amezcua, 2003).

El procedimiento seguido fue: Se lavó el material de vidrio y del digester con Detergente Hy clin, se enjuagó con agua corriente y se dejó en agua acidulada preparada al 10 % con Ácido clorhídrico grado de pureza (66%) durante 3 horas. Posteriormente, se enjuagó con agua destilada y se dejó secar.

Se tomaron 50 granos de maíz nativo o sin procesar de cada una de las variedades, se molieron en un molino de cuchillas Marca Braun, modelo KSM2. Después se hicieron pasar por un tamiz malla 60 USA. Del material molido recolectado se pesaron 0.25 g en una balanza analítica Modelo AS200 marca OHAUS.



La harina pesada cruda (figura 2.24 a) se colocó dentro de los vasos del digestor Marca CEM, modelo MSD 81 D (Ver figura 2.24 b).

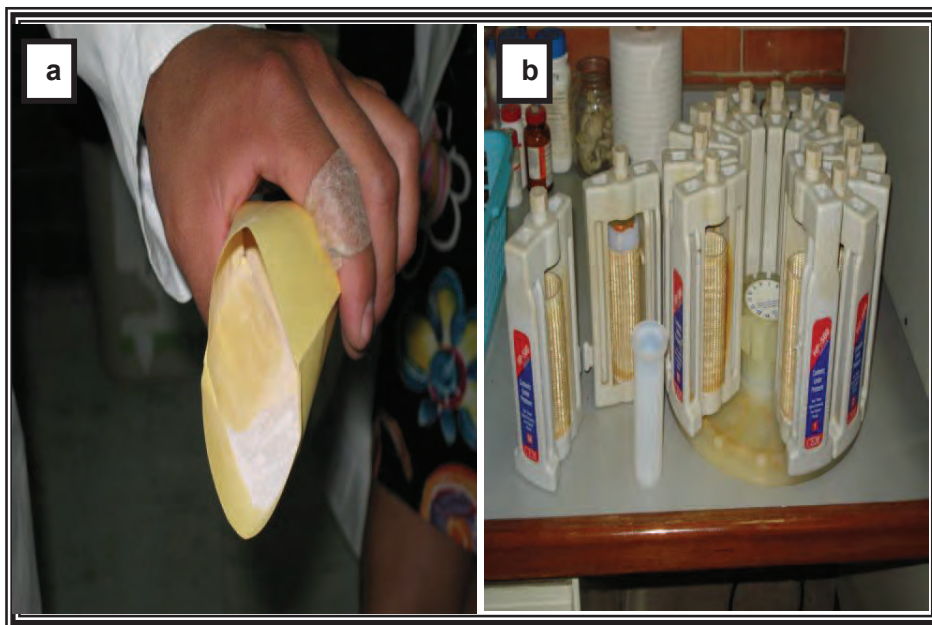


Figura 2.24 a) Muestra de harina; 2.24 b) Vasos y carrusel del digestor

Se le agregaron a cada uno de los vasos 10 mL de ácido nítrico con alto grado de pureza (70 %), se taparon y se sellaron herméticamente. Se colocaron los vasos en el carrusel y se introdujeron en el digestor. El digestor se programó a tres rampas de calentamiento: La primera a temperatura ambiente hasta 130 °C, en 4:30 minutos, la segunda de 130 °C a 150 °C en cuatro 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. Después, se preparó la curva con el estándar de calcio para calibrar el equipo. Se colocó la 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.

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.

OBJETIVO PARTICULAR 3

El objetivo tres consistió en nixtamalizar cada una de las variedades, tanto criollas como híbridas para establecer los tiempos de cocción de los granos de maíz mediante la determinación de humedad al término de la cocción, cumpliendo con las especificaciones de grado de hidratación para la industria harinera (32 %) o para la industria molinero-tortillera (34-36%) y darle destino a producción de harinas o masa, aquí también se cuantificó el rendimiento de nixtamal.

2.4.1 Nixtamalización de las variedades de maíz híbridas y criollas

El proceso de nixtamalización fue de la siguiente manera: 400 g de maíz híbridos limpios, sanos se vertieron en vasos de precipitado largos con 800 mL de agua destilada, se pesaron como muestra la figura 2.25 a y se añadieron 4 g de hidróxido de calcio, se inició la cocción a 22 °C, de acuerdo a lo que evidencia la figura 2.25 b, a una velocidad de calentamiento de 2.5°C por minuto hasta que la temperatura de proceso se ubicó en 92 °C, la cual se alcanzó en 28 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 como lo evidencia la figura 2.26 a, de 5 g a cada 5 minutos, cada una de ellas se molió en un molino de cuchillas Marca Braun, modelo KSM2. El procedimiento fue el mismo para todas las variedades criollas de



maíz. El tratamiento térmico-alkalino se realizó en un equipo con control de temperatura y adquisición de datos de temperatura. Los valores se registraron en una computadora personal. El tiempo dependió de la dureza del grano.

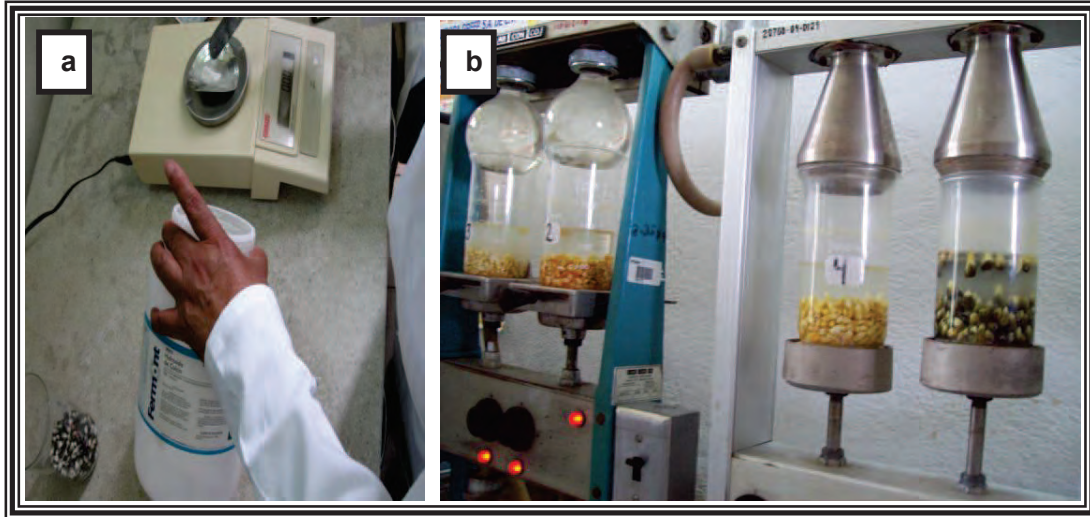


Figura 2.25 a) Hidróxido de calcio; 2.25 b) Cocción de las variedades de maíz

Durante el proceso de nixtamalización se les determinó humedad a los granos en la cocción y en el reposo este procedimiento se describe a continuación.

2.4.2 Determinación del proceso de nixtamalización

- **Humedad en la cocción**

La humedad se determinó en una termobalanza Marca Sartorius, Modelo MA-35. Utilizando el método 925.10 AOAC 2000. Las muestras obtenidas a cada 5 minutos durante la cocción, se molieron y se colocaron en charolas que se introdujeron en la termobalanza, hasta que el equipo registró su humedad como muestra la figura 2.26 b. Se tomaron datos de los tiempos en que alcanzó el nixtamal humedades de 32 % para destino a harinas y de 34-36 % para destino a la industria molinero-tortillera. El procedimiento seguido fue el mismo para cada variedad. La humedad se determinó por triplicado en cada uno de los contenedores,

A los valores obtenidos se les determinó el promedio y la desviación estándar.



Estos datos se correlacionaron con el índice de flotación, peso hectolítrico, dureza, para establecer el tiempo de cocción.

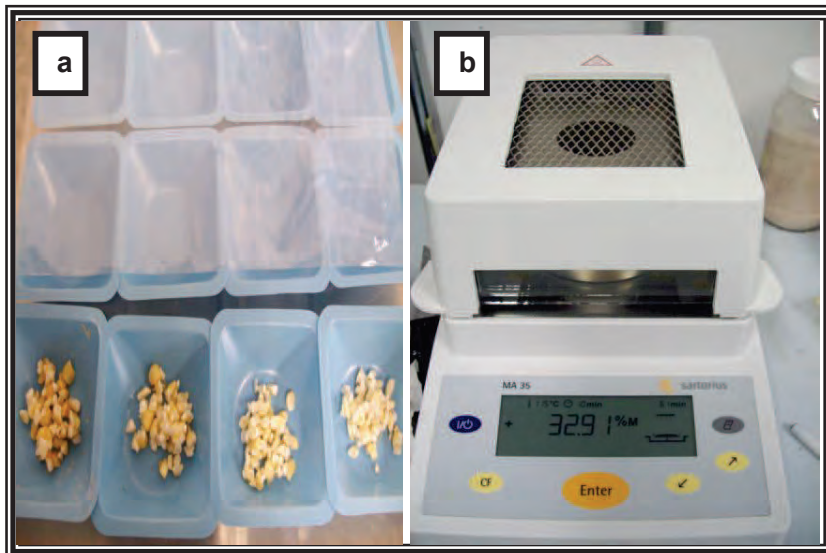


Figura 2.26 a) Granos nixtamalizados molidos; 2.26 b) Humedad en termobalanza

- Humedad de reposo

Posteriormente, el nixtamal restante de la muestra se dejó reposar durante ocho horas. Se drenó el nejayote y las muestras se enjuagaron dos veces utilizando un volumen de 400 mL de agua destilada y mezclando tres veces. El líquido de los lavados se drenó por 15 minutos y se pesó. Los granos se molieron y se determinó su humedad.

- Rendimiento de nixtamal

Finalmente, el nixtamal también se pesó para obtener el rendimiento de nixtamal. Este requerimiento lo solicita la industria molinero- tortillera.

Un buen rendimiento de nixtamal se encuentra que por kilogramo de maíz sea igual o por arriba de 1800 g.



Una vez pesado el nixtamal se molió en un molino de piedras volcánicas o de discos. Uno de los discos gira y el otro se mantiene fijo. El nixtamal se molió como muestra la figura 2.27 a y 2.27 b.

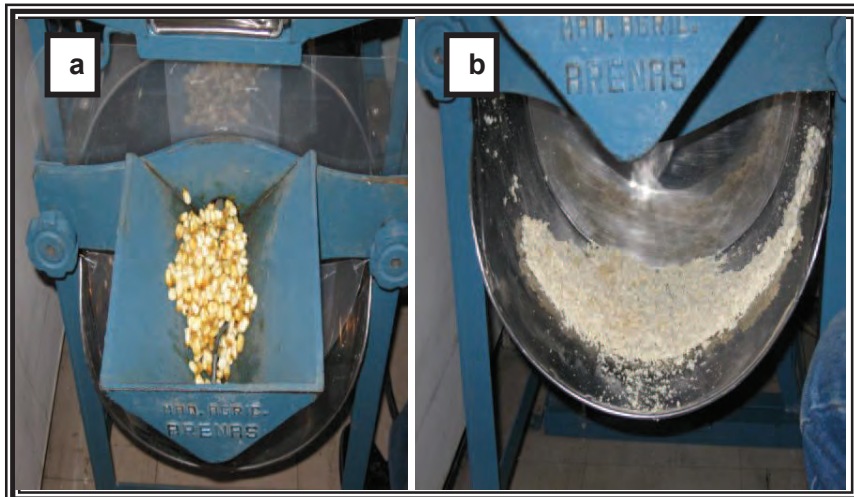


Figura 2.27 a) Molienda de nixtamal; 2.27 b) Granulado de harina

La velocidad de la alimentación la proporciona el tornillo sin fin del dosificador del molino de piedras con una altura de 16 vueltas.

Los granulados se deshidrataron en una estufa de aire forzado a 40 °C hasta que alcanzaron humedades del 12 %. Los granulados se muestran en la fig. 2.28



Figura 2.28 Granulados de maíz deshidratados

Los tiempos de deshidratación fueron diferentes entre cada variedad según la humedad adquirida. El procedimiento para la determinación de humedad al término de la cocción se realizó igualmente por termobalanza y se registró.



OBJETIVO PARTICULAR 4

Determinar el % de harina de maíz que pasa el tamiz 60 USA que solicita la norma oficial mexicana NMX-F-046-S-1980, mediante análisis granulométrico de muestras obtenidas de las 20 variedades; híbridos y criollos para el rendimiento harinero y seleccionar si tienen potencial para la industria de harinas o masa.

2.5 Determinación del rendimiento

Los granulados deshidratados se molieron en un molino Pulvex 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.

A las harinas obtenidas de la molienda de los maíces se les efectuó el siguiente procedimiento para obtener el rendimiento de harina de acuerdo al método registrado en NMX-F-046-S-1980.

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. Cada uno de los tamices se pesó incluyendo el plato y se registró. Los tamices se acomodan en pila en orden descendente del número como muestra la figura 2.30 a. Luego se pesaron 100 g de muestra y se colocaron en la parte superior del primer tamiz ver figura 2.30 b. Posteriormente se colocó la tapa, se acomodó en el rotap como muestra la figura 2.30 c. Se programaron 12 minutos para agitación de las muestras. Al término del evento, los tamices y el plato se pesaron (ver figura 2.30 d) y con los valores obtenidos se construyó un cuadro. 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. Los pesos de harina retenida en los tamices: 70, 80, 100 y plato se sumaron y se calculó el porcentaje que pasó el tamiz 60 USA. Con estos valores se calculó el rendimiento en harina para cada muestra.



Este procedimiento se realizó por triplicado, se obtuvo el promedio y la desviación estándar.

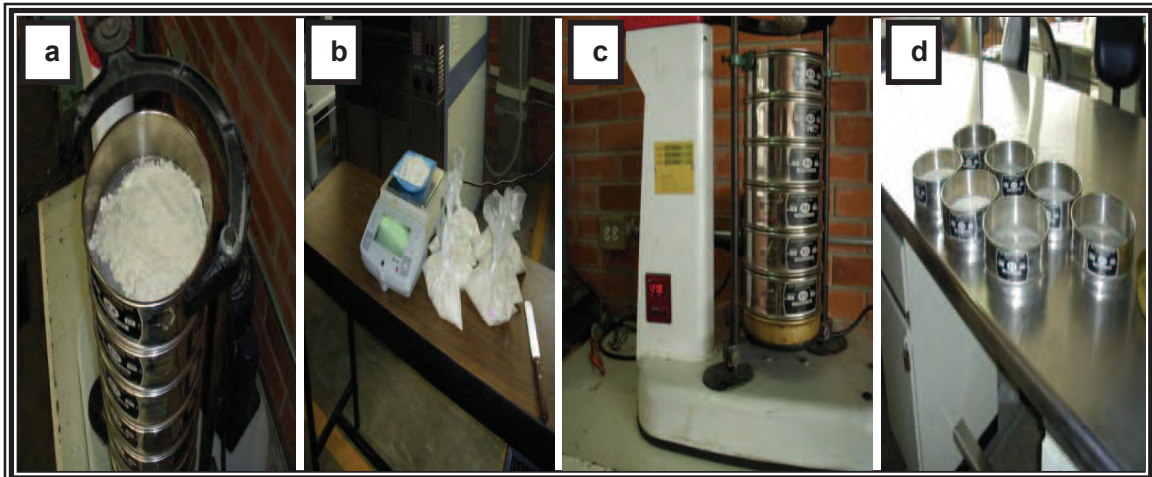


Figura 2.29 a) Pila de tamices; 2.29 b) Pesado de harinas; 2.29 c) Tamices en rotap; 2.29 d) Tamices con harinas.

La figura 2.29 a, b,c,d muestra el procedimiento que se realizó para llevar a cabo el análisis granulométrico de las harinas y obtener el rendimiento.

OBJETIVO PARTICULAR 5

Determinar la concentración de calcio en granos de maíz nixtamalizado obtenidas de las 20 variedades híbridas y criollas al término de la cocción y el reposo, mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica para dar cumplimiento a la concentración de calcio residual que solicita la norma NMX-F-046-S-1980.

2.6 Determinación de la concentración de calcio en muestras procesadas

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 registrado en el punto 2.3.7. El espectrofotómetro donde se determinaron las lecturas de calcio se muestra en la figura 2.30

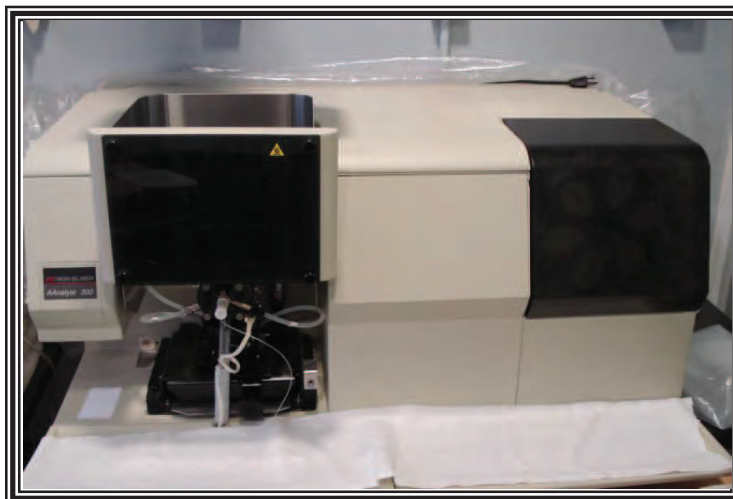


Figura 2.30 Espectrofotómetro de absorción atómica

2.7 Análisis estadístico

Los análisis estadísticos utilizados consistieron en realizar la media aritmética 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.



Capítulo 3

Resultados



3 Descripción de actividades preliminares

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

La calidad del grano de cada una de las variedades, son un conjunto de atributos que se evalúan al grano. Los valores fueron reportados en gramos de cada una de las unidades experimentales, las cuales corresponden a muestras de un kilogramo de material.

3.1 Resultados de la caracterización de la materia prima

3.1.1 Basura y productos extraños (impurezas)

En el cuadro 3.1 se presentan los resultados de la cantidad de basura y productos extraños para las variedades híbridas.

Cuadro 3.1 Contenido de impurezas en las variedades híbridas

VARIEDAD	IMPUREZAS (g/kg)
Martinin	2.43 ± 0.010
Dico	2.18 ± 0.015
Oso	2.41 ± 0.015
Vitaruto	2.10 ± 0.005
Rino	2.18 ± 0.015
Navolata	2.75 ± 0.010
Conic	2.43 ± 0.015
Jaguar	2.31 ± 0.010
Fuerte	2.15 ± 0.010
Jabalí	2.57 ± 0.040

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

De las diez variedades de maíces híbridos, los granos con mayores impurezas fueron: Navolata, Jabalí, Martinin y Conic con valores de 2.75 ± 0.01, 2.57 ± 0.04, 2.43 ± 0.01, 2.43 ± 0.01 g respectivamente. Cabe destacar que esta característica la menciona la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 pero no especifica alguna



sanción a los vendedores. Sin embargo, la asociación de molineros-tortilleros castiga la compra, si la basura y productos extraños son mayores de 2 g/kg se penaliza con el 2% del costo del maíz por kilogramo. Todos los granos híbridos presentaron datos por arriba de 2 g por lo que a todos los vendedores se les castigó la venta de su semilla (Puebla, 2009).

En el cuadro 3.2 se reportan los resultados de impurezas, los cuales incluyen basura y productos extraños.

Cuadro 3.2 Contenido de impurezas en las variedades criollas

VARIEDAD	IMPUREZAS (g/kg)
Roble	3.30 ± 0.100
Combin	3.60 ± 0.173
Caston	4.73 ± 0.115
Blas	3.20 ± 0.100
Barranquilla	3.40 ± 0.000
Fresillo	3.90 ± 0.011
Guasave	4.33 ± 0.055
Camba	5.62 ± 0.015
Tolimán	3.24 ± 0.005
Navatol	3.64 ± 0.015

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

Los granos con mayores cantidades de basura y productos extraños fueron: Camba, Caston, Guasave, con valores de 5.62 ± 0.015, 4.73 ± 0.115, 4.33 ± 0.055 g de impurezas respectivamente. Por lo tanto, todas las variedades superaron la especificación de los compradores. Por esa razón a todos los vendedores de los granos criollos se les penalizó.

Entre las variedades criollas y las variedades híbridas las que presentaron mayor cantidad de impurezas fueron los criollos.

Este parámetro solo representa descuido del vendedor después del desgrane de las mazorcas, por lo que entienden su penalización en el precio ya que dependiendo el destino del maíz, las impurezas representan contaminación para



los alimentos de consumo humano. Adicionalmente, el comprador estaría pagando un precio por gramos de basura que presenta el material y no por materia prima.

3.1.2 Presencia de grano bola

La presencia de granos bola es indeseable, ya que estos modifican un transporte homogéneo de calor durante el procesamiento de la materia prima que se utiliza para la nixtamalización de los maíces, ya sea para la producción de harinas o para la industria tortillera. Esto provoca un sabor a crudo en la masa y en granos enteros durante la molienda húmeda.

En el cuadro 3.3 se muestra la cantidad de granos bola presente en los granos híbridos.

Cuadro 3.3 Contenido de granos bola en las variedades híbridas

VARIEDAD	GRANOS BOLA (g/kg)
Martinin	0.23 ± 0.005
Dico	0.18 ± 0.005
Oso	0.35 ± 0.005
Vitaruto	0.25 ± 0.000
Rino	0.43 ± 0.005
Navolata	0.58 ± 0.010
Conic	0.30 ± 0.011
Jaguar	0.61 ± 0.010
Fuerte	0.35 ± 0.010
Jabalí	0.28 ± 0.005

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

En las variedades de maíces híbridos, las semillas con mayor cantidad de grano bola fueron: Jaguar, Navolata, Rino y sus valores fueron 0.61 ± 0.01, 0.58 ± 0.01, 0.43 ± 0.00 g respectivamente. Los molineros-tortilleros aceptan hasta 5 g de granos bola por kilogramo de maíz. Si el contenido es mayor a éste la sanción es de 2 pesos por kilogramo del costo de maíz. De manera que las variedades de maíz híbridas estuvieron dentro de las especificaciones permitidas por los compradores y no fueron penalizados por este rubro.



Generalmente los granos criollos siempre presentan mayores porcentajes de granos bola, porque son productos de cruza que realizan los cultivadores de la semilla. Ellos seleccionan las mazorcas de mejor tamaño y con granos completos. En cambio, las variedades híbridas son semillas mejoradas que los sembradores adquieren o se les proporcionan por instituciones como el INIFAP o por el Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y del Trigo (CIMMYT).

En cuanto a las variedades criollas, los resultados se reportan en el cuadro 3.4.

Cuadro 3.4 Contenido de granos bola en las variedades criollas

VARIEDAD	GRANOS BOLA (g/kg)
Roble	1.07 ± 0.110
Combin	0.84 ± 0.051
Caston	0.69 ± 0.017
Blas	1.18 ± 0.028
Barranquilla	0.34 ± 0.005
Fresillo	1.24 ± 0.010
Guasave	1.46 ± 0.010
Camba	0.21 ± 0.010
Tolimán	0.87 ± 0.026
Navatol	0.92 ± 0.005

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

Con respecto a los granos criollos, valores superiores a lo permitido le correspondieron a Guasave, Fresillo, Blas, Roble con 1.46 ± 0.01, 1.24 ± 0.01, 1.18 ± 0.028, 1.07 ± 0.11 g respectivamente. En ninguna muestra se encontró más de 5 g de granos bola, por lo que tampoco se penalizó por este rubro a los vendedores de maíces criollos. De cualquier manera los granos criollos analizados presentaron mayores cantidades de granos bola que las variedades híbridas.

3.1.3 Granos híbridos sin cofia o pedicelo

La cofia. Es la parte minoritaria del maíz, representa menos del 1 % del grano. Es una estructura fibrosa que mantiene al grano unido con el olote y por la cual se



transportan los nutrientes que el grano necesita durante la etapa de crecimiento.

En el cuadro 3.5 se presentan los resultados en gramos de granos sin cofia en un kilogramo de semilla.

Cuadro 3.5 Contenido de granos sin cofia en las variedades híbridas

VARIEDAD	SIN COFIA (g/kg)
Martinin	0.31 ± 0.015
Dico	1.15 ± 0.030
Oso	0.71 ± 0.010
Vitaruto	0.84 ± 0.072
Rino	0.45 ± 0.020
Navolata	0.23 ± 0.025
Conic	0.26 ± 0.025
Jaguar	1.19 ± 0.026
Fuerte	0.53 ± 0.030
Jabalí	0.32 ± 0.010

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

Es importante recalcar que dentro de la cofia hay células esponjosas en forma de estrella, conectadas sólo por los finales de las ramas, formando así una estructura abierta que es continua con la capa de células tubulares del pericarpio.

Inmediatamente después de la cofia se expone una capa circular café oscura conocida como capa negra que se encuentra contra la base del germen y del endospermo, esta capa es de separación, con una probable función de sellado de la punta al grano y sirve como barrera que protege al grano contra la invasión de insectos y microorganismos. La aparición de esta capa coincide con la madurez fisiológica del grano para suspender el paso de nutrientes al interior. Pese a que es una parte del grano muy pequeña, tiene una aportación muy importante; cuidar que el grano no se contamine (Klaus y Karel, 1991).

Todas las variedades híbridas presentaron valores menores a 7 g por kilogramo, que es el máximo permitido por la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002, por lo que ninguna de las variedades tuvo castigo en el precio para sus vendedores.



Los valores de granos sin cofia de las variedades criollas se reportan en gramos por kilogramo en el cuadro 3.6

Cuadro 3.6 Contenido de granos sin cofia en las variedades criollas

VARIEDAD	SIN COFIA (g/kg)
Roble	0.85 ± 0.035
Combin	0.25 ± 0.015
Caston	1.36 ± 0.040
Blas	0.36 ± 0.036
Barranquilla	0.61 ± 0.100
Fresillo	0.56 ± 0.115
Guasave	0.56 ± 0.115
Camba	0.21 ± 0.010
Toliman	0.36 ± 0.115
Navatol	1.21 ± 0.020

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

Ninguna de las variedades criollas evaluadas presentaron más de 7 g por muestra, por esta razón estos granos no fueron penalizados con el 2% del costo del maíz.

La cofia representa una protección para que los granos no sean atacados por insectos y por hongos en esta zona. Algunos granos pierden la cofia durante el desgranado del material y esto ocurre porque han madurado en mayor grado en la mazorca y esto ocasiona que la cofia quede incrustada en el olote. Este hecho también representa descuido de parte de recolector por cosechar la semilla fuera de tiempo. La multa ocasionada si sobrepasa el límite establecido no le ocasiona inconveniente porque reconoce la falta de cofia.

3.1.4 Presencia de granos dañados por insectos

La norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 indica que son granos de maíz y sus partes que presentan perforaciones o galerías en forma circular muy homogéneas y



éstas pueden ser ocasionadas por insectos en el campo y/o almacén.

Los valores de granos dañados por insecto para las variedades híbridas se presentan en el cuadro 3.7

Cuadro 3.7 Daños por insecto en granos de maíz híbrido

VARIEDAD	DAÑO POR INSECTO (g/kg)
Martinin	0.95 ± 0.010
Dico	1.06 ± 0.017
Oso	1.12 ± 0.011
Vitaruto	1.26 ± 0.000
Rino	1.31 ± 0.010
Navolata	1.43 ± 0.023
Conic	1.64 ± 0.010
Jaguar	1.21 ± 0.015
Fuerte	1.76 ± 0.015
Jabalí	1.93 ± 0.010

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

La penalización estipulada por la asociación de molineros-tortilleros (Puebla, 2009) de granos dañados por insectos es de 5 g por kilogramo, que representa el 3% del costo del maíz por kilogramo ya que el vendedor es responsable de fumigar sus graneros así como sus almacenes y no permitir la presencia de plagas.

Las perforaciones hechas por los insectos o la palomilla a las semillas, las deja en un estado susceptible y su vida de anaquel se reduce significativamente al no tener la cubierta de pericarpio que lo protege de la humedad del medio y de los hongos. De las variedades híbridas estudiadas todas se encontraron dentro de lo acordado, por lo que ninguna se penalizó.

Los valores de granos de las variedades criollas dañadas por insecto, se reportan en el cuadro 3.8. Hay que reconocer que estas variedades presentan mayor descuido en cuanto a los parámetros de calidad, ya que normalmente no cuentan con asesoría científica en cuanto al cuidado de su semilla. Sin embargo, algunos cultivadores, son cuidadosos con su material.



Cuadro 3.8 Daños por insecto en granos de maíz criollo

VARIEDAD	DAÑO POR INSECTO (g/kg)
Roble	1.42 ± 0.410
Combin	1.33 ± 0.015
Caston	2.50 ± 0.025
Blas	3.65 ± 0.005
Barranquilla	4.18 ± 0.020
Fresillo	3.89 ± 0.030
Guasave	3.25 ± 0.020
Camba	7.20 ± 0.005
Tolimán	3.43 ± 0.032
Navatol	2.72 ± 0.025

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

Los valores de granos dañados por insecto para las variedades criollas, en su mayoría presentaron valores por abajo del límite. Únicamente la variedad Camba con 7.20 ± 0.005 g fue sancionada.

Todas las demás no se penalizaron con el 3% del costo del producto por kg.

3.1.5 Presencia de granos con fisuras y rotos

El exceso de materia extraña y granos quebrados en el maíz, a menudo requiere de limpieza previa al procesamiento, lo que resulta en una disminución en el rendimiento del producto.

El porcentaje de granos fisurados y rotos se debe generalmente a un secado acelerado del producto cuando éste se cosecha con alta humedad o bien durante el desgranado al desprender la semilla de la mazorca. En el desgranado por máquina, esto es más notorio que en el desgranado que se realiza manualmente. En las variedades híbridas no fue tan alto el valor. La penalización de granos rotos y fisurados es del 2% sobre el costo del grano por contener 2 g por kilogramo de muestra de acuerdo con la asociación de molineros-tortilleros



(Puebla, 2009). Las variedades de granos híbridos con fisuras y rotos se muestran en el cuadro 3.9 y 3.10 para granos criollos.

Cuadro 3.9 Granos híbridos con fisuras y rotos

VARIEDAD	FISURADO Y ROTOS (g/kg)
Martinin	1.10 ± 0.100
Dico	1.68 ± 0.076
Oso	1.26 ± 0.032
Vitaruto	0.51 ± 0.011
Rino	1.61 ± 0.015
Navolata	1.81 ± 0.010
Conic	1.71 ± 0.020
Jaguar	1.17 ± 0.015
Fuerte	1.62 ± 0.025
Jabalí	1.52 ± 0.015

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

Cuadro 3.10 Granos criollos con fisuras y rotos

VARIEDAD	FISURADO O ROTO (g/kg)
Roble	0.50 ± 0.011
Combin	0.34 ± 0.010
Caston	0.21 ± 0.010
Blas	0.46 ± 0.010
Barranquilla	0.51 ± 0.015
Fresillo	1.11 ± 0.102
Guasave	2.67 ± 0.064
Camba	1.24 ± 0.032
Toliman	3.80 ± 0.005
Navatol	3.50 ± 0.011

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

Todas las variedades híbridas estudiadas están dentro de lo establecido por lo que ninguna se penalizó.



De las muestras criollas objeto de estudio, únicamente tres muestras están fuera del parámetro establecido las cuales son Guasave, Toliman, Navatol con valores de 2.67 ± 0.064 , 3.80 ± 0.005 , 3.50 ± 0.011 g respectivamente. El resto no fueron penalizadas.

3.1.6 Presencia de granos dañados por calor

La norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 expresa que los granos de maíz dañados por calor y sus partes, presentan una coloración café oscura o negruzca originada por calentamiento. Se considera dentro de este daño, a los que presentan dicha coloración aunque sólo sea alrededor del germen o embrión en la superficie de la semilla. En el cuadro 3.11 se muestran los granos híbridos dañados por calor.

Cuadro 3.11. Granos híbridos dañados por calor

VARIEDAD	DAÑO POR CALOR (g/kg)
Martinin	1.47 ± 0.020
Dico	3.72 ± 0.026
Oso	1.53 ± 0.020
Vitaruto	2.65 ± 0.040
Rino	2.94 ± 0.010
Navolata	1.25 ± 0.079
Conic	2.33 ± 0.017
Jaguar	1.80 ± 0.011
Fuerte	1.72 ± 0.060
Jabalí	2.65 ± 0.030

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

Un grano que se almacena con alta humedad y que consecuentemente tiene una alta respiración, genera calor o focos calientes dentro del granel. Este calor hace que el grano cambie su color/apariencia modificando de paso a los nutrientes o inclusive disminuyendo o anulando totalmente la viabilidad del germen (Serna-Saldívar, 1996).

El poseer maíz con esta característica nos indica que hubo mal manejo en su cosecha y/o transporte, almacenamiento y manipulación.



El límite permitido para este parámetro es de 2 g por kilogramo según lo convenido por la asociación de molineros-tortilleros (Puebla, 2009) por lo tanto los granos que no están dentro de este peso son: Dico, Vitaruto, Rino, Conic, Jabalí.

Las variedades híbridas que están dentro de lo reglamentado y por lo tanto que no fueron sancionadas son: Martinin, Oso, Navolata, Jaguar, Fuerte.

De la misma forma en que se manejaron las variedades híbridas, se estudiaron las variedades criollas. Se consideró la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 en cuanto al concepto que establece sobre el maíz dañado por el calor y en cuanto a la sanción impuesta se tomó en cuenta lo expresado por la asociación de molineros-tortilleros.

En el cuadro 3.12 se presentan los resultados obtenidos de daños por calor para variedades de maíz criollas.

Cuadro 3.12. Granos de maíz criollo dañados por calor

VARIEDAD	DAÑO POR CALOR (g/kg)
Roble	4.22 ± 0.105
Combin	2.33 ± 0.036
Caston	1.93 ± 0.011
Blas	3.34 ± 0.235
Barranquilla	1.77 ± 0.020
Fresillo	2.69 ± 0.043
Guasave	4.43 ± 0.045
Camba	1.19 ± 0.020
Toliman	1.64 ± 0.015
Navatol	3.51 ± 0.015

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

Las variedades criollas que están dentro de este valor son: Caston, Barranquilla, Camba, Toliman con valores de 1.93 ± 0.011, 1.77 ± 0.020, 1.19 ± 0.020, 1.64 ± 0.015 g respectivamente.

Como se puede apreciar en el cuadro 3.12 la mayoría de las variedades criollas no cumplen con el peso deseado y por lo tanto fueron sancionadas.



3.1.7 Presencia de granos con hongos

La norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 manifiesta que los granos dañados por hongos son granos de maíz y sus partes que presenten en la superficie (cutícula o pericarpio), en el germen o embrión y/o en el resto del grano (endospermo) afectación parcial o total por desarrollo de microorganismos de campo y/o almacén. Dicha afectación generalmente se caracteriza por una coloración azulosa, negruzca, verduzca, anaranjada o amarillenta y su apariencia suele ser lamosa o algodonosa.

También hace mención acerca de los granos que se destinan para consumo humano éstos deben cumplir con las tolerancias referentes a aflatoxinas producidas por los hongos *Aspergillus flavus*, *A.parasiticus* y *A.nomius* determinadas por la Secretaria de Salud. En el cuadro 3.13 se presentan los valores de las variedades híbridas contaminadas por hongos.

Cuadro 3.13 Daños por hongos en granos híbrido

VARIEDAD	DAÑO POR HONGOS (g/kg)
Martinin	1.73 ± 0.152
Dico	1.10 ± 0.210
Oso	3.20 ± 0.200
Vitaruto	2.56 ± 0.305
Rino	1.23 ± 0.057
Navolata	1.43 ± 0.152
Conic	1.33 ± 0.152
Jaguar	2.73 ± 0.152
Fuerte	2.06 ± 0.152
Jabalí	1.50 ± 0.264

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

Las variedades híbridas son Oso, Vitaruto, Jaguar, Fuerte, por presentar valores por arriba de 2 g por kilogramo: 3.20 ± 0.200, 2.56 ± 0.305, 2.73 ± 0.152, 2.06 ± 0.152 g respectivamente, no están dentro de lo expresado por la asociación de molineros-tortilleros (Puebla, 2009). El resto de las variedades cumplieron con el peso establecido y por lo tanto no fueron penalizadas.



En cuanto a las variedades criollas se presentan en el cuadro 3.14 donde se muestran los valores de daños por hongos.

Cuadro 3.14 Daños por hongos en granos de maíz criollo

VARIEDAD	DAÑO POR HONGOS (g/kg)
Roble	2.50 ± 0.200
Combin	2.53 ± 0.251
Caston	1.80 ± 0.100
Blas	1.43 ± 0.152
Barranquilla	2.43 ± 0.057
Fresillo	1.70 ± 0.200
Guasave	2.43 ± 0.208
Camba	1.66 ± 0.057
Toliman	2.66 ± 0.115
Navatol	1.83 ± 0.057

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

Los hongos en los granos proliferan por la alta humedad relativa presente en almacenes, ya que por el solo hecho de tener unos cuantos granos contaminados en la muestra, y al no ser detectados y por lo tanto no ser retirados se provoca una mayor contaminación al estar mezclados con las semillas sanas.

Las semillas criollas que están fuera de lo establecido, esto es, por presentar más de 2 g de maíz contaminado por hongos por kilogramo fueron: Roble, Combin, Barranquilla, Guasave, Toliman.



OBJETIVO PARTICULAR 1

3.2 Resultados de la caracterización física del grano

3.2.1. Dimensiones de los granos

Para la industria es de suma importancia manejar granos homogéneos para su mejor manipulación y así obtener un mayor provecho de éstos. Las mazorcas se caracterizan por tener diferentes tamaños de granos. Los granos al final de la cabeza son largos y redondeados, los del centro son por lo general aplanados o allanados por la presión ejercida de los granos que están a su alrededor y los granos localizados en la punta son pequeños y redondeados.

En el cuadro 3.15 se muestran los valores de las dimensiones de las variedades híbridas.

Cuadro 3.15 Dimensiones de granos de maíz variedades híbridas.

VARIEDAD	LARGO(mm)	ANCHO(mm)	ESPESOR(mm)
Martinin	13.49 ± 0.691	8.05 ± 0.517	4.32 ± 0.519
Dico	13.00 ± 0.617	8.91 ± 0.515	4.58 ± 0.319
Oso	12.25 ± 0.565	9.36 ± 0.548	3.97 ± 0.509
Vitaruto	13.33 ± 0.643	9.09 ± 0.653	4.37 ± 0.455
Rino	11.97 ± 0.713	7.98 ± 0.529	4.98 ± 0.642
Navolata	13.47 ± 0.785	9.23 ± 0.472	4.27 ± 0.605
Conic	12.80 ± 0.670	8.41 ± 0.487	4.19 ± 0.277
Jaguar	13.34 ± 0.865	8.79 ± 0.612	4.52 ± 0.295
Fuerte	13.09 ± 0.854	8.83 ± 0.626	4.51 ± 0.445
Jabalí	13.78 ± 0.952	8.75 ± 0.737	4.28 ± 0.267

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

La norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 expresa las dimensiones que deben de tener los granos de maíz para el proceso de nixtamalización. Las dimensiones son: Largo: ≥ 7.20 mm, ≥ Ancho: 7.0 mm, ≥ Espesor 6.5 mm.

Las variedades híbridas están dentro de los parámetros que marca la norma, NMX-FF-034/1-SCFI-2002 en cuanto a largo y ancho. Sin embargo, su espesor está por debajo de lo que se establece. Esto representa un inconveniente durante el tratamiento térmico-alkalino de nixtamalización, porque la semilla es más susceptible al daño por calor y puede gelatinizar totalmente al endospermo. Este



hecho es indeseable, ya que el producto o la masa elaborada es adherente y pegajosa, difícil de manipular por los operadores, requiere de mayores cantidades de aditivos.

Pero como son variedades mejoradas para la resistencia a plagas, tienen espesor de grano normalmente mayores. Como todos los granos presentaron espesores menores que los solicitados por la norma, es posible que las semillas se elijan por sus otros factores que pudieran proteger al endospermo. Además, se cultivan principalmente bajo condiciones de riego, lo que hace que se obtengan características de grano más homogéneas de las que se observan en maíces criollos (Salinas, 2008). Para el análisis físico de los granos criollos también se consideró la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002.

En el cuadro 3.16 se presentan los valores de las dimensiones tomadas a las variedades criollas.

Cuadro 3.16 Dimensiones de granos de maíz variedades criollas

VARIEDAD	LARGO(mm)	ANCHO(mm)	ESPESOR(mm)
Roble	12.10 ± 0.64	9.06 ± 0.52	4.13 ± 0.32
Combin	12.57 ± 0.67	8.40 ± 0.52	3.96 ± 0.22
Caston	12.50 ± 0.73	8.15 ± 0.69	4.13 ± 0.32
Blas	13.60 ± 0.56	9.05 ± 0.42	4.10 ± 0.36
Barranquilla	12.31 ± 0.74	8.35 ± 0.58	4.06 ± 0.35
Fresillo	12.36 ± 0.70	8.36 ± 0.36	4.08 ± 0.35
Guasave	14.08 ± 0.56	9.21 ± 0.47	4.36 ± 0.27
Camba	13.00 ± 0.58	8.91 ± 0.55	4.07 ± 0.22
Toliman	13.66 ± 0.28	9.13 ± 0.61	4.39 ± 0.36
Navatol	13.61 ± 0.67	8.93 ± 0.48	4.17 ± 0.27

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

Las variedades criollas también están dentro de lo que marca la norma en cuanto a su largo y ancho, no obstante, su espesor está por debajo de lo que expresa la norma. Las dimensiones de las variedades estudiadas se caracterizaron por ser amplias, grandes y se definen como granos menos propensos al daño. Sin embargo, estas variedades no tenían anteriormente preferencia por los



nixtamaleros, ni por la industria harinera, pero hoy en día, esperan obtener algunas semillas criollas, su selección dependerá de los resultados de su evaluación de todos los parámetros.

3.2.2 Índice de flotación de los granos

El índice de flotación se estableció de acuerdo a los granos que flotan en una solución de nitrato de sodio. Esto indica de manera indirecta la dureza de las variedades de maíz conforme a la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002. Establece los tiempos de cocción para el proceso de nixtamalización en base a su dureza, a mayor dureza mayor tiempo de cocción. Aunque, no es muy certero este método porque va a depender de factores como la edad del maíz, condiciones previas de almacenamiento y manipulación, variedad, espesor y dureza del pericarpio, % de endospermo córneo y harinoso. A pesar de eso es el método más utilizado asociado a la dureza, quizá porque es el más económico y se realiza en un menor tiempo, no se requiere de equipo especializado, ni de un entrenamiento especial y con una misma solución se pueden analizar diferentes variedades de semillas, solo hay que retirar los granos de la medición anterior. En el cuadro 3.17 se reporta el índice de flotación en granos híbridos estudiados.

3.17 Índices de flotación de los granos híbridos

VARIEDAD HIBRIDOS	ÍNDICE DE FLOTACIÓN (Número de granos flotantes)	DUREZA
Martinin	38.00 ± 1.0	Dureza Intermedia
Dico	24.00 ± 0.9	Duro
Oso	46.00 ± 1.1	Dureza Intermedia
Vitaruto	27.00 ± 1.1	Duro
Rino	21.00 ± 0.8	Duro
Navolata	32.00 ± 1.0	Duro
Conic	44.00 ± 1.0	Dureza Intermedia
Jaguar	7.00 ± 1.30	Muy Duro
Fuerte	6.00 ± 0.70	Muy Duro
Jabalí	25.00 ± 0.9	Duro

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



La variedad Dico, Vitaruto, Rino, Navolata, Jabalí son duros los cuales califican para la industria harinera. Los de dureza intermedia o semiduros fueron: Martinin, Oso, Conic, por esta característica pudieran ser utilizados para la industria molinera–tortillera con buen potencial. Las semillas muy duras su destino puede ser para la alimentación animal o para otros usos.

En el cuadro 3.18 se muestran los índices de flotación de los granos criollos.

Cuadro 3.18 Índices de flotación de los granos criollos

VARIEDAD CRIOLLOS	INDICE DE FLOTACION (Número de granos flotantes)	DUREZA
Roble	12.10 ± 1.10	Duro
Combin	30.00 ± 1.20	Duro
Caston	9.00 ± 1.10	Muy Duro
Blas	43.00 ± 0.90	Dureza intermedia
Barranquilla	25.00 ± 1.10	Duro
Fresillo	27.00 ± 1.20	Duro
Guasave	31.00 ± 1.00	Duro
Camba	24.00 ± 1.30	Duro
Toliman	22.00 ± 1.00	Duro
Navatol	23.00 ± 1.20	Duro

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

Las variedades Roble, Combin, Barranquilla, Fresillo, Guasave, Camba, Toliman, Navatol son duros los cuales tienen potencial para la industria harinera. La única semilla de dureza intermedia fue la variedad Blas, que puede ser utilizado para la industria molinero-tortillera. Esta metodología se utilizó porque los granos trabajados son semillas nuevas que no tienen más de seis meses de haber sido recolectadas ya que las semillas con mayor tiempo de almacenamiento endurecen su pericarpio.

3.2.3 Peso Hectolítrico de los granos

Existe una relación directa entre el peso hectolítrico y la dureza del grano de maíz, si se tienen valores de peso hectolítrico muy altos se tendrá valores muy bajos de dureza, esto se debe a que este peso es la densidad del grano a granel,



propiedad que se ve afectada por características físicas del grano y el espacio intergranular.

La determinación de los pesos hectolítricos para los granos híbridos se muestra en la gráfica de la figura 3.1

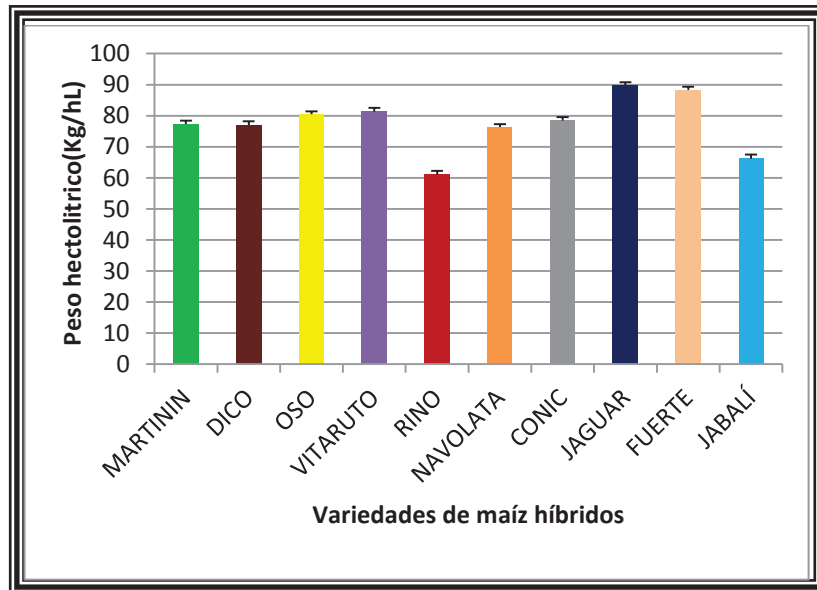


Figura 3.1 Gráfica del peso hectolítrico en granos de maíz híbridos

Para maíz que se utiliza en la elaboración de tortillas y productos de maíz nixtamalizados de calidad comercial la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 específica que este debe tener una densidad mínima de 74 kg/hL.

Las variedades Martinin, Dico, Oso, Vitaruto, Navolata, Conic, Jaguar, Fuerte son las que obtuvieron un peso hectolítrico igual o mayor a 74 kg/hL lo que los hace aptos para la elaboración de tortillas y productos de maíz nixtamalizados de calidad comercial.

Las variedades Rino, Jabalí tuvieron un peso hectolítrico menor a 74 kg/hL lo cuales pudieran ser considerados, siempre y cuando en sus otras evaluaciones como la dureza, espesor de pericarpio, % de endospermo, tiempo de cocción, rendimiento resulten aceptados.



Para la medición de pesos hectolítricos en granos criollos se llevó a cabo el mismo procedimiento. Los resultados se muestran en la gráfica de la figura 3.2

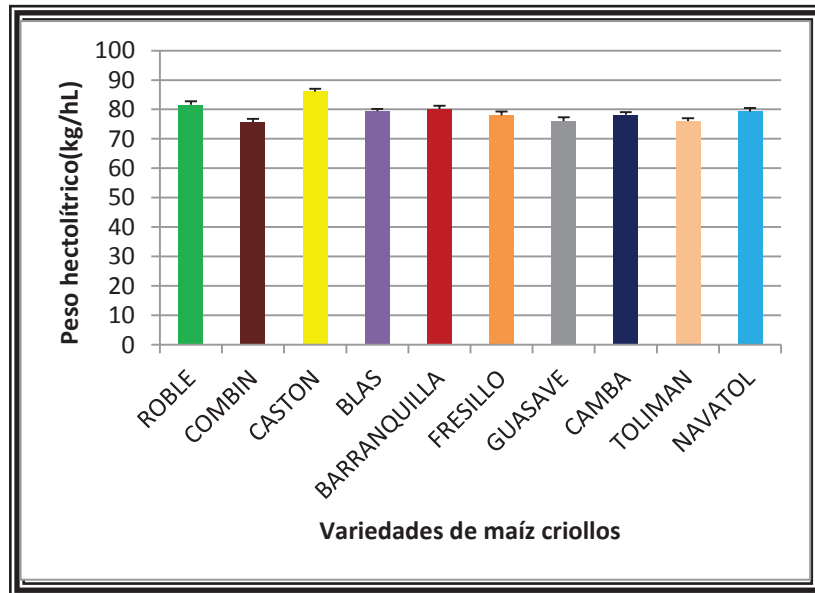


Figura 3.2 Gráfica peso hectolítrico en granos de maíz criollos

Todas las variedades criollas obtuvieron un peso hectolítrico mayor a 74 kg/hL excepto la variedad Caston tuvo un valor promedio de 86.00 ± 1.00 kg/hL por lo que todas califican para las dos industrias menos estos granos que tienen un valor demasiado alto.

3.2.4 Resultados de color de los granos

El color del maíz es una característica que influye a nivel industrial.

La norma NMX-FF-034/ 1-SCFI-2002 establece las características de calidad comercial que debe reunir el maíz blanco de consumo humano. Se dice que el consumidor se alimenta primeramente con la vista por esto las tortillas deben tener un color aceptable estos van de un color blanco a amarillo. Las tonalidades grisáceas o verdosas no son tan deseables en algunos lugares.

Los valores de a y b son coordenadas que fueron utilizadas para evaluar el tono al calcular el ángulo Hue que define el color. El color se determinó con un



Colorímetro Hunter-Lab modelo Miniscan XEPLUS. Para el ángulo de °Hue un valor alto indica una tendencia hacia las tonalidades blancas.

Los valores de color (°Hue) en los granos híbridos se muestran en la gráfica de la figura 3.3

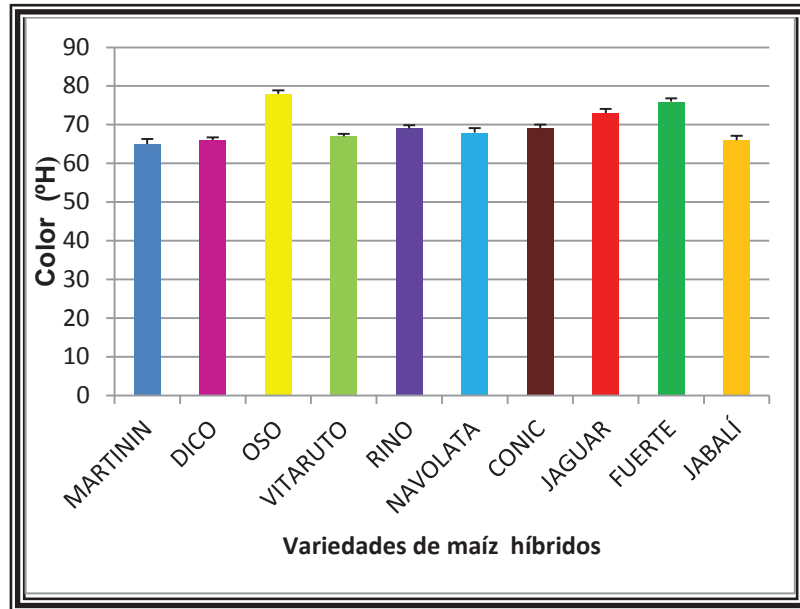


Figura 3.3 Gráfica de color en granos de maíz híbridos

Conforme a la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 que establece que para medir el color del maíz con un mínimo de 70 de ángulo Hue para ser calificado como maíz blanco, apropiado para el proceso, por lo anterior se le midió color a los granos híbridos. La variedad Oso, Jaguar, Fuerte tuvieron valores de Ángulo de tono (°Hue) de 78, 73, 76 lo cual nos indica que tienen una tendencia hacia las tonalidades blancas además los valores muy cercanos a 70 fueron: Martinin, Dico, Vitaruto, Rino, Navolata, Conic, Jabalí con valores de 65, 66, 67, 69, 68, 69, 66 respectivamente, pueden ser considerados para la industria harinera y molinero-tortillera.

Para la evaluación de color en los granos criollos también se llevó a cabo el mismo procedimiento de trabajo que en los granos híbridos.



En la de la gráfica de la figura 3.4 nos muestra los valores de color en los granos criollos.

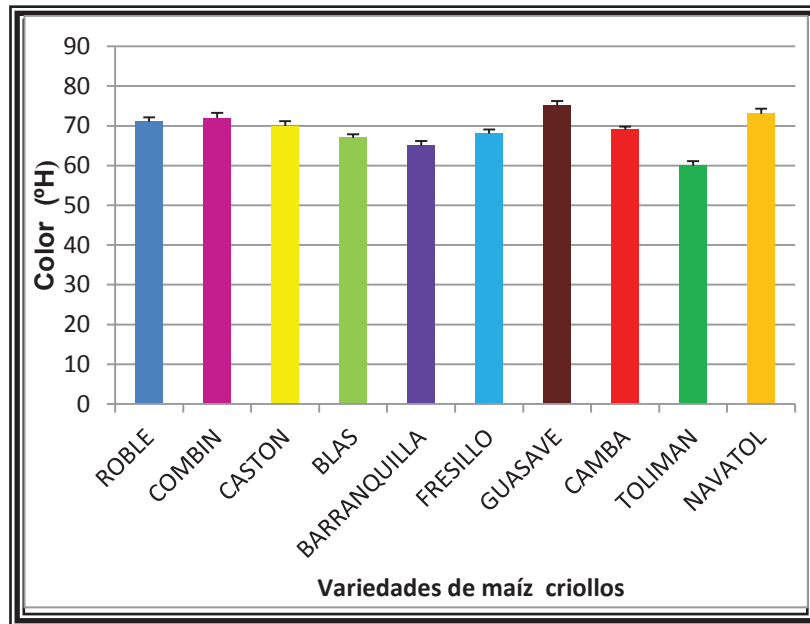


Figura 3.4 Gráfica de color en los granos criollos

Las variedades de maíz que tuvieron valores por arriba e iguales a 70 son Roble, Combin, Caston, Guasave, Navatol con valores de 71.00 ± 1.10 , 72.00 ± 1.30 , 70.00 ± 1.20 , 75.00 ± 1.20 , 73.00 ± 1.30 respectivamente lo cual nos indica que tenemos variedades de maíces con tendencia hacia los tonos blancos. Estas semillas son aceptadas para ambos procesos.

La variedad Blas, Barranquilla, Fresillo, Camba, Toliman están por debajo de lo que especifica la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 lo que nos indica que estos granos el color se inclinó hacia los colores más oscuros.

3.2.5 Porcentaje de estructuras

Es primordial conocer el porcentaje de estructuras en los granos porque para cada variedad es diferente la cantidad de éstas estructuras, además de que cada una de estas tiene una función de suma importancia para cada una de las variedades, aunado a que a partir del porcentaje de éstas se le asigna un destino y así obtener el mejor aprovechamiento posible.



En el cuadro 3.19 se presentan el porcentaje de estructuras para granos híbridos.

Cuadro 3.19 Porcentaje de estructuras en granos de maíz híbrido

PORCENTAJE DE ESTRUCTURAS EN GRANOS HIBRIDOS (%)				
VARIEDAD	COFIA	PERICARPIO	GERMEN	ENDOSPERMO
Martinin	1.40 ± 0.91	5.00 ± 0.69	11.72 ± 1.4	81.88 ± 0.90
Dico	1.30 ± 1.20	3.80 ± 0.92	11.32 ± 1.13	83.58 ± 1.20
Oso	2.40 ± 1.40	5.30 ± 0.86	12.19 ± 1.20	80.11 ± 0.93
Vitaruto	3.10 ± 1.30	3.60 ± 1.30	11.65 ± 1.02	81.65 ± 1.00
Rino	2.00 ± 1.70	3.20 ± 1.46	11.83 ± 0.75	82.97 ± 0.85
Navolata	3.00 ± 0.83	4.30 ± 0.67	10.13 ± 1.10	82.57 ± 0.92
Conic	1.42 ± 1.32	1.80 ± 1.40	12.10 ± 0.90	84.68 ± 0.96
Jaguar	1.63 ± 1.90	5.20 ± 1.10	12.00 ± 1.18	81.17 ± 0.91
Fuerte	2.60 ± 1.10	4.60 ± 0.93	12.03 ± 1.10	80.77 ± 0.82
Jabalí	2.80 ± 1.84	2.70 ± 1.32	11.57 ± 0.86	82.93 ± 0.93

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

Se obtuvieron los pesos promedio de cada una de las partes anatómicas del grano de maíz. La norma NMX-FF-034/ 1-SCFI-2002 reporta valores para la cofia < 2 %, para el pericarpio < 5%, para el germen < 12 % y el endospermo ≥ 78 %

Las variedades híbridas que tuvieron un porcentaje de cofia menor o igual al 2% son Martinin, Dico, Rino, Conic, Jaguar con valores promedio de 1.40 ± 0.91, 1.30 ± 1.20, 2.00 ± 1.70, 1.42 ± 1.32, 1.63 ± 1.90 % respectivamente.

Las variedades que cumplieron un valor de pericarpio menor o igual al 5% son: Martinin, Dico, Vitaruto, Rino, Navolata, Conic, Fuerte, Jabalí con valores promedio de 5.00 ± 0.69, 3.80 ± 0.92, 3.60 ± 1.30, 3.20 ± 1.46, 4.30 ± 0.67, 1.80 ± 1.40, 4.60 ± 0.93, 2.70 ± 1.32 %, los cuales fueron aceptados.

Las variedades con un porcentaje menor o iguales a 12% para el germen fueron: Martinin, Dico, Vitaruto, Rino, Navolata, Jaguar, Jabalí con valores promedio de 11.72 ± 1.4, 11.32 ± 1.13, 11.65 ± 1.02, 11.83 ± 0.75, 10.13 ± 1.10, 12.00 ± 1.18, 11.57 ± 0.86 %, estas semillas fueron seleccionadas positivamente.



Todas las variedades híbridas están dentro de lo que marca la norma NMX-FF-034/ 1-SCFI-2002 con un valor de $\geq 78\%$ de endospermo.

El análisis para los granos híbridos se realizó de la misma forma para los granos criollos basándonos en la norma NMX-FF-034/ 1-SCFI-2002.

Cuadro 3.20 Porcentaje de estructuras en granos de maíz criollo

PORCENTAJE DE ESTRUCTURAS EN GRANOS DE MAIZ CRIOLLO (%)				
VARIEDAD	COFIA	PERICARPIO	GERMEN	ENDOSPERMO
Roble	2.00 ± 0.90	4.00 ± 1.20	12.31 ± 1.21	81.69 ± 0.92
Combin	2.10 ± 1.20	2.60 ± 1.27	10.42 ± 0.75	84.88 ± 0.81
Caston	1.30 ± 0.80	1.80 ± 1.41	11.71 ± 1.16	85.19 ± 0.80
Blas	2.40 ± 1.10	4.70 ± 1.71	12.00 ± 0.93	80.90 ± 0.87
Barranquilla	1.26 ± 1.20	2.90 ± 0.86	11.45 ± 1.20	84.39 ± 0.89
Fresillo	1.37 ± 1.10	4.70 ± 1.32	11.72 ± 1.65	82.21 ± 1.16
Guasave	1.76 ± 1.30	5.00 ± 0.46	11.61 ± 0.86	81.63 ± 1.11
Camba	1.60 ± 1.30	2.30 ± 1.42	11.82 ± 0.86	84.28 ± 0.82
Toliman	1.50 ± 1.70	2.40 ± 0.93	10.86 ± 1.08	85.24 ± 0.83
Navatol	1.42 ± 1.40	5.30 ± 0.75	12.31 ± 0.94	80.97 ± 1.23

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

En el cuadro 3.20 se presentan el porcentaje de estructuras para granos criollos, las variedades criollas que presentaron un porcentaje de cofia menor o igual a 2% son: Roble, Caston, Barranquilla, Fresillo, Guasave, Camba, Toliman, Navatol con valores promedio de 2.00 ± 0.90, 1.30 ± 0.80, 1.26 ± 1.20, 1.37 ± 1.10, 1.76 ± 1.30, 1.60 ± 1.30, 1.50 ± 1.70, 1.42 ± 1.40 % respectivamente.

Las variedades que tuvieron un valor de pericarpio menor al 5% son: Roble, Combin, Caston, Blas, Barranquilla, Fresillo, Guasave, Camba, Toliman con valores promedio de 4.00 ± 1.20, 2.60 ± 1.27, 1.80 ± 1.41, 4.70 ± 1.71, 2.90 ± 0.86, 4.70 ± 1.32, 5.00 ± 0.46, 2.30 ± 1.42, 2.40 ± 0.93 % respectivamente. Puede apreciarse que nueve de las semillas criollas están dentro de los intervalos aceptados.



Las variedades con un porcentaje menor o igual al 12% para el germen fueron: Combin, Blas, Caston, Barranquilla, Fresillo, Guasave, Camba, Toliman con valores promedio de 10.42 ± 0.75 , 12.00 ± 0.93 , 11.71 ± 1.16 , 11.45 ± 1.20 , 11.72 ± 1.65 , 11.61 ± 0.86 , 11.82 ± 0.86 , 10.86 ± 1.08 % respectivamente.

Todas las variedades criollas están dentro de lo que marca la norma NMX-FF-034/ 1-SCFI-2002 con un valor de ≥ 78 % de endospermo.

3.2.6 Espesor del Pericarpio

La industria harinera ha solicitado espesores de pericarpio por debajo de $100 \mu\text{m}$ ya que al tener un espesor de pericarpio muy grueso es más difícil degradarlo durante la cocción, además de que el gasto de energía en la molienda es alto.

Los espesores de pericarpios de maíces híbridos se muestran en la gráfica de la figura 3.5

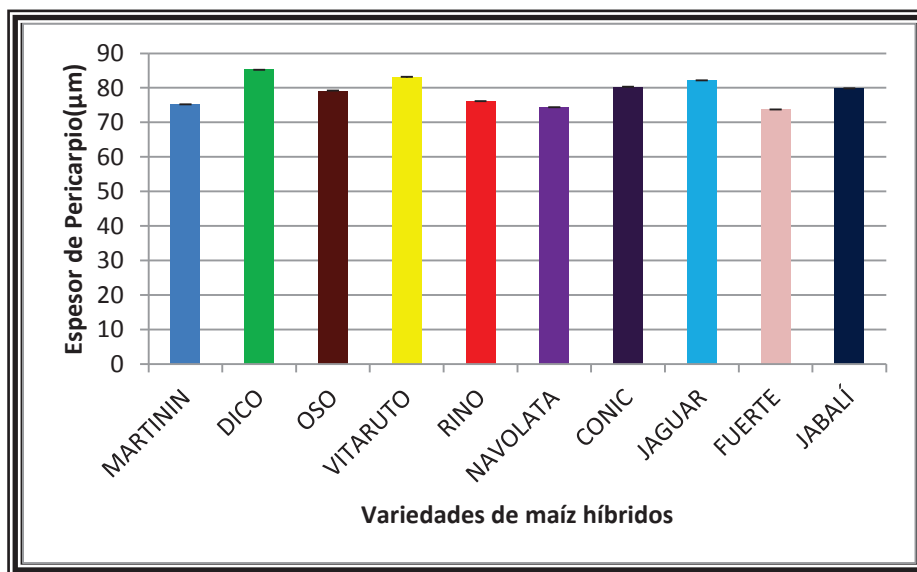


Figura 3.5 Gráfica de espesores del pericarpio en granos de maíz híbridos

Todas las variedades híbridas estudiadas tuvieron un espesor menor a $100 \mu\text{m}$, por lo tanto en este rubro cumplen con las especificaciones para la industria harinera y por tanto también para la nixtamalera.

Un punto a cubrir de igual importancia es que la industria harinera expresa que pericarpios con espesores superiores a $100 \mu\text{m}$ son granos muy difíciles de



hidratar. Esto trae también como consecuencia que su remoción durante la etapa de cocción demore más tiempo. La industria harinera solicita que los granos retengan poco pericarpio, ya que este le confiere una tonalidad amarillenta a las harinas y un menor gasto de energía en la molienda.

En la gráfica de la figura 3.6 se presentan los espesores de pericarpio para maíces criollos.

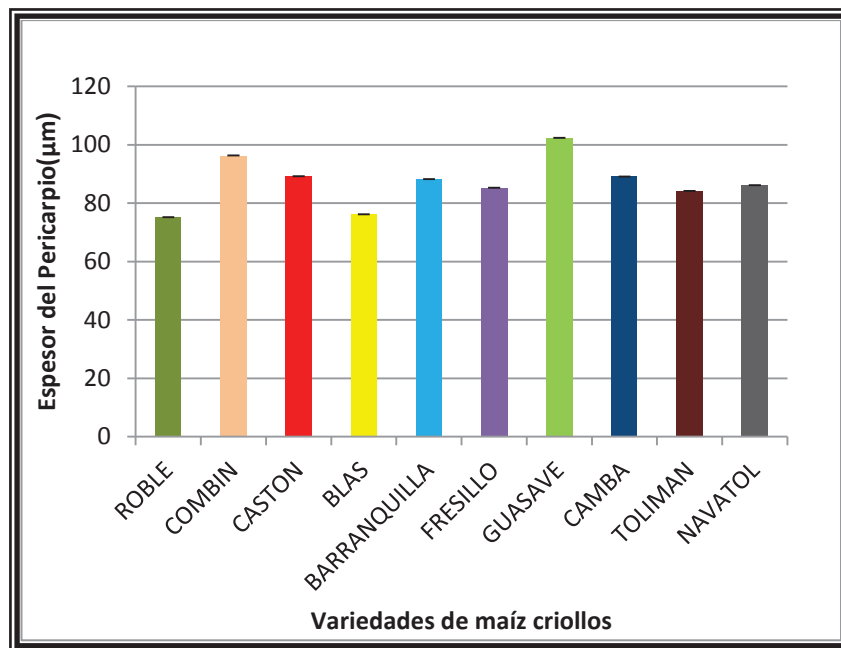


Figura 3.6 Gráfica de espesores de pericarpio de maíz criollos

En su mayoría los espesores de las variedades criollas estuvieron por debajo de 100 µm lo cual indica su aceptación. La única variedad que presentó mayor espesor fue Guasave con un valor promedio de $102.37 \pm 0.07 \mu\text{m}$ por lo tanto es descartado por las dos industrias.

3.2.7 Dureza de los granos de maíz

Conforme a la norma NMX-FF-034/ 1-SCFI-2002 la dureza se define como la fuerza necesaria para el rompimiento de los granos de maíz. El intervalo establecido para la dureza del grano es de 13-15 Kg_f para la industria molinero-tortillera y para la industria harinera. Esta propiedad se debe a varios factores



como la relación entre el endospermo córneo y harinoso, la compactación de los componentes celulares, el grosor de la matriz proteica en los gránulos de almidón y al espesor del pericarpio (Gaytán *et al.*, 2006).

Las variedades híbridas que están dentro de los valores que solicita la norma son: Martinin, Dico, Rino, Navolata con 13.24 ± 0.03 , 13.12 ± 0.02 , 13.64 ± 0.36 , 13.67 ± 0.06 Kg_f respectivamente. Estas variedades podrían ser consideradas para la industria nixtamalera o harinera.

Las variedades híbridas que están fuera de este intervalo son: Oso, Vitaruto, Conic, Jaguar, Fuerte, Jabalí.

Los valores de dureza para granos híbridos se muestran en la gráfica 3.7

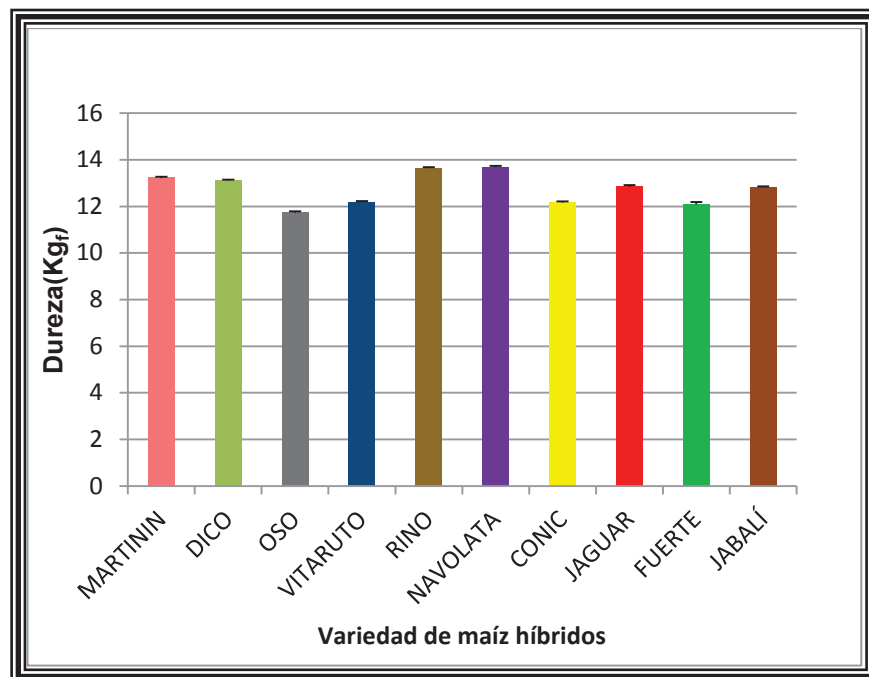


Figura 3.7 Gráfica de dureza en granos de maíz híbridos

Estos datos también fueron correlacionados con el índice de flotación y el peso hectolítrico. La industria harinera prefiere granos duros o muy duros que retengan muy poco pericarpio durante el proceso. La industria molinero-tortillera por su parte, requiere de maíces de menor dureza y que retengan mayor cantidad de



pericarpio durante el proceso de nixtamalización ya que la combinación de maíces menos duros con altos porcentajes de pericarpio retenido conduce a tener mejores rendimientos de masa y tortilla.

La norma de calidad para maíz nixtamalizado actual es adecuada para la Industria de harinas nixtamalizadas ya que es la más exigente porque el producto final así lo requiere no así la Industria de la masa y la tortilla (Salinas y Vázquez, 2003).

Los valores de dureza de granos criollos se muestran en la gráfica de la figura 3.8

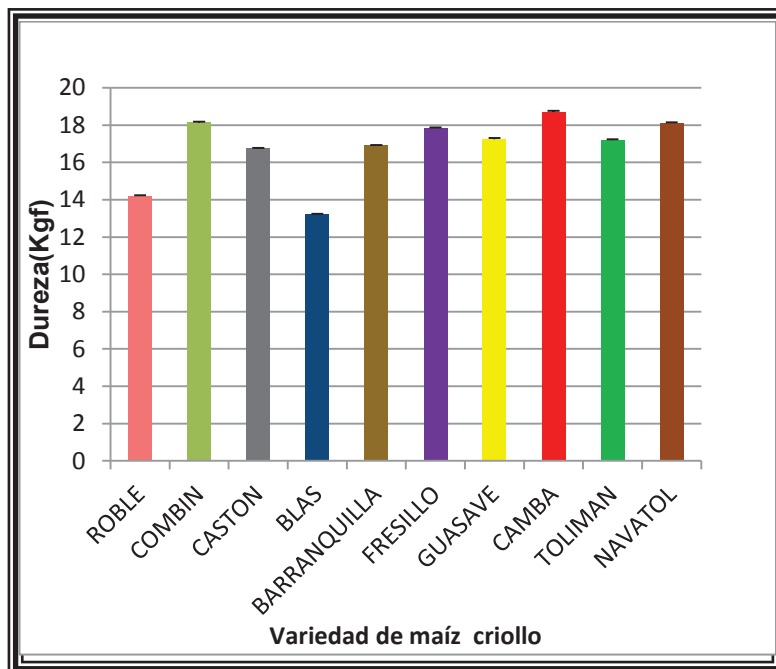


Figura 3.8 Gráfica de dureza en granos de maíz criollos

Las variedades criollas que se encuentran dentro de la norma son: Roble, Blas con valores de 14.20 ± 0.02 , 13.20 ± 0.04 Kg_f respectivamente, las cuales pueden ser seleccionadas. El resto de las variedades pueden servir para destino en la elaboración de piensos.



3.2.8 Peso de los 1000 granos de maíz

Este procedimiento se realizó con el propósito de conocer la cantidad de granos presentes en la muestra, ya que un peso de 1000 granos bajo está relacionado con una muestra con gran cantidad de granos pequeños y por el contrario un peso alto, se obtienen cuando los granos son grandes.

El peso de los 1000 granos también está ligado 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 de los gránulos de almidón y estructura (Rojas-Molina *et al.*, 2007).

En el cuadro 3.21 se muestran los valores de peso de los 1000 granos para las variedades híbridas.

Cuadro 3.21 Peso de los 1000 granos en variedades de maíz híbridos

VARIEDAD HIBRIDOS	PESO DE LOS 1000 GRANOS (g/1000 granos)
Martinin	360.21 ± 0.03
Dico	362.24 ± 0.14
Oso	383.50 ± 1.56
Vitaruto	367.14 ± 0.01
Rino	383.16 ± 0.01
Navolata	360.21 ± 0.03
Conic	371.89 ± 0.62
Jaguar	371.21 ± 0.04
Fuerte	392.45 ± 2.30
Jabalí	374.18 ± 0.04

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

Una menor densidad a granel está relacionada con granos grandes y mayor espacio intergranular o acomodo entre granos por lo que podemos observar en el cuadro 3.21 que los resultados del análisis físico concuerda con lo reportado en la bibliografía, ya que los granos que presentan las densidades más bajas son aquellos clasificados como granos grandes.



Los valores que deben de tener los granos para ser considerados para los procesos en la industria harinera y tortillera son: 240-370 g de acuerdo a lo reportado por Serna-Saldívar *et al.* (1993).

Las únicas variedades híbridas que estuvieron dentro del intervalo anteriormente mencionado son: Martinin, Dico, Vitaruto, Navolata con valores de 360.21 ± 0.03 , 362.24 ± 0.14 , 367.14 ± 0.01 , 360.21 ± 0.03 g respectivamente. El resto de las variedades no cumplen con esta característica por lo tanto son descartados por la industria harinera y tortillera.

Para las variedades criollas se utilizó el mismo método de análisis.

En el cuadro 3.22 se observan los valores de los pesos de los 1000 granos en variedades criollas.

Cuadro 3.22 Peso de los 1000 granos en granos de maíz criollos

VARIEDAD CRIOLLOS	PESO DE LOS 1000 GRANOS (g/1000 granos)
Roble	383.10 ± 0.01
Combin	422.14 ± 1.70
Caston	410.22 ± 0.06
Blas	371.18 ± 0.04
Barranquilla	381.20 ± 0.10
Fresillo	376.24 ± 0.11
Guasave	378.64 ± 0.55
Camba	418.17 ± 0.06
Toliman	376.20 ± 0.09
Navatol	365.48 ± 1.15

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

La variedad criolla Navatol con un valor de 365.48 ± 1.15 g es la única variedad que se encuentra dentro del peso recomendado. Todas las demás variedades están fuera de lo requerido. De las veinte semillas analizadas tanto híbridas como criollas sólo cinco se cumplieron con el peso promedio, el resto no califican en este rubro. Sin embargo, es necesario realizar todas las pruebas planteadas para



darle destino a las semillas. La evaluación de todos los parámetros permitirá decidir aquellas que cumplan con la mayoría de las pruebas, tanto físicas, como químicas.

OBJETIVO PARTICULAR 2

3.3 Resultados de la caracterización química del grano

La caracterización química del grano se realizó con las determinaciones del análisis químico proximal (A.Q.P). Los resultados de humedad, grasa, cenizas, proteínas, fibra, carbohidratos se registran en la tabla 3.23 para las variedades híbridas y en la tabla 3.24 para las variedades criollas.

Cuadro 3.23 Análisis químico proximal en maíz híbrido

VARIEDAD HÍBRIDOS	HUMEDAD (%)	GRASA (%)	CENIZAS (%)	PROTEINAS (%)	FIBRA (%)	CHOS* (%)
Martinin	12.41 ± 0.11	3.80 ± 0.12	1.33 ± 0.03	6.71 ± 0.42	2.83 ± 0.04	72.90
Dico	13.47 ± 0.32	4.17 ± 0.05	1.53 ± 0.07	7.42 ± 0.10	2.92 ± 0.03	70.47
Oso	11.42 ± 0.17	3.34 ± 0.07	1.45 ± 0.08	7.56 ± 0.18	3.18 ± 0.02	73.03
Vitaruto	12.37 ± 0.17	4.16 ± 0.04	1.28 ± 0.01	4.70 ± 0.22	3.24 ± 0.07	74.23
Rino	11.82 ± 0.10	3.83 ± 0.08	1.18 ± 0.02	4.76 ± 0.14	2.52 ± 0.05	75.87
Navolata	12.17 ± 0.22	3.77 ± 0.13	1.27 ± 0.01	5.47 ± 0.21	2.71 ± 0.07	74.59
Conic	13.28 ± 0.12	2.87 ± 0.09	1.80 ± 0.08	5.70 ± 0.04	2.64 ± 0.04	73.69
Jaguar	11.82 ± 0.03	3.76 ± 0.15	1.43 ± 0.02	6.20 ± 0.02	2.81 ± 0.01	73.97
Fuerte	12.51 ± 0.06	4.25 ± 0.06	1.53 ± 0.02	7.19 ± 0.07	3.14 ± 0.01	71.36
Jabalí	12.61 ± 0.09	3.64 ± 0.11	1.45 ± 0.02	7.70 ± 0.06	2.92 ± 0.02	71.68

*Carbohidratos

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

Cuadro 3.24 Análisis químico proximal en maíz criollo

VARIEDAD CRIOLLOS	HUMEDAD (%)	GRASA (%)	CENIZAS (%)	PROTEINAS (%)	FIBRA (%)	CHOS* (%)
Roble	12.83 ± 0.09	5.49 ± 0.16	1.35 ± 0.06	4.42 ± 0.35	3.15 ± 0.05	72.73
Combin	12.50 ± 0.17	5.40 ± 0.30	1.20 ± 0.05	4.40 ± 0.18	3.17 ± 0.01	73.31
Caston	12.55 ± 0.16	6.13 ± 0.03	2.18 ± 0.03	3.30 ± 0.13	3.46 ± 0.02	72.36
Blas	12.45 ± 0.03	5.78 ± 0.12	1.86 ± 0.12	3.42 ± 0.03	3.23 ± 0.04	73.23
Barranquilla	13.31 ± 0.06	6.35 ± 0.10	2.25 ± 0.02	3.73 ± 0.07	3.31 ± 0.01	71.03
Fresillo	13.16 ± 0.05	5.38 ± 0.21	2.16 ± 0.02	3.65 ± 0.04	3.51 ± 0.03	72.12
Guasave	12.61 ± 0.10	6.19 ± 0.05	1.72 ± 0.09	3.71 ± 0.06	3.28 ± 0.01	72.47
Camba	12.27 ± 0.28	7.43 ± 0.12	1.90 ± 0.03	4.20 ± 0.06	3.72 ± 0.03	70.45
Toliman	12.60 ± 0.08	5.78 ± 0.14	2.34 ± 0.03	4.17 ± 0.01	3.78 ± 0.02	71.31
Navatol	12.53 ± 0.28	7.23 ± 0.05	3.14 ± 0.03	4.33 ± 0.04	3.21 ± 0.01	69.54

*Carbohidratos

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



3.3.1 Resultados de humedad

Para el análisis químico la primera prueba que siempre tiene que realizarse es la determinación de humedad, ya que aporta información de las condiciones en que se almacenó el grano, además de estar correlacionado con el peso hectolítrico, Índice de flotación y la dureza. Esta también es considerada parámetro de calidad del maíz. Cabe mencionar que la humedad inicial, más la humedad ganada durante el cocimiento, también fue utilizada para establecer tiempos de cocción de las semillas, el rendimiento del nixtamal y humedad al término del reposo.

En la primera columna del cuadro 3.23 se presentaron los resultados de humedad para los granos híbridos. Todas las variedades evaluadas se encontraron dentro del intervalo establecido que marca la norma NMX-FF-034/ 1-SCFI-2002 que es del 12-15% por lo tanto esto demuestra que sus condiciones de almacenamiento y manipulación fueron adecuadas.

Para los granos criollos los resultados se presentan en el cuadro 3.24, también todas las variedades entraron dentro del intervalo que marca la norma. Por lo que este punto lo cumplen las veinte variedades estudiadas.

3.3.2 Grasa de los granos

La norma NMX-FF-034/1-SCFI-2003 expresa el intervalo de grasa que deben contener los granos de maíz con destino a producción de harinas es de 3.5-4.5% para evitar problemas de rancidez durante el almacenamiento. Sin embargo, este parámetro no es importante para la industria molinero-tortillera, en la que altos contenidos de aceite favorecen la calidad de la tortilla, por la participación de los monoglicéridos en la textura de la tortilla (Twillman y White, 1988).

La mayoría de las variedades híbridas estuvieron dentro de lo establecido por la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 exceptuando las variedades Conic, Oso con valores promedios bajos éstos fueron de 2.87 ± 0.09 , 3.34 ± 0.07 %.

En cuanto a las semillas criollas procesadas todas presentaron un valor muy alto de grasa, con respecto al intervalo que solicita la norma NMX-FF-034/1-SCFI-



2002 para destino a la industria harinera por lo tanto no fueron considerados por su alto contenido en grasa. Estas variedades pudieran ser consideradas para la industria molinera-tortillera por la cohesividad y la textura que le confieren a sus productos finales.

3.3.3 Cenizas de los granos

Las variedades híbridas que cubren con el requisito de tener como máximo un valor de 1.5% de cenizas en grano total como lo expresa la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 son: Martinin, Oso, Vitaruto, Rino, Navolata, Jaguar, Jabalí con valores de 1.33 ± 0.03 , 1.45 ± 0.08 , 1.28 ± 0.01 , 1.18 ± 0.02 , 1.27 ± 0.01 , 1.43 ± 0.02 , $1.45 \pm 0.02\%$ exceptuando a Dico, Conic, Fuerte con valores de 1.53 ± 0.07 , 1.80 ± 0.08 , $1.53 \pm 0.02\%$ respectivamente. Los valores de cenizas en estas variedades híbridas pueden entrar aunque estén un poco fuera los que marca la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 es debido a que en el Bajío Mexicano tiene las condiciones necesarias para la actividad agrícola con muy buenos resultados.

Las variedades criollas con valores menores a lo que estipula la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 son: Roble, Combin con valores de 1.35 ± 0.06 , $1.20 \pm 0.05\%$ respectivamente.

3.3.4 Proteína cruda o bruta de los granos

La técnica de proteína no la solicita la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 pero se realizó porque forma parte del análisis químico proximal (A.Q.P). Se presenta en la columna cinco de los cuadros 3.23 y 3.24. Los granos híbridos presentaron valores entre 4.70 y 7.70 %, mayores que las variedades criollas, con resultados de 3.30 a 4.42 %.

3.3.5 Fibra de los granos

La cantidad de fibra se determinó porque es parte del análisis químico proximal (A.Q.P) aunque ésta no es requerida tampoco por la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002. Los valores encontrados que se reportan son desde 2.52- 3.24%. Todas las semillas criollas presentaron valores mayores del 3%, mientras que las semillas híbridas presentan cantidades menores, en su mayoría debido probablemente a que tienen menores espesores de pericarpio, el cual está formado por fibras de hemicelulosa y celulosa.



3.3.6 Carbohidratos de los granos

El almidón es el carbohidrato mayoritario en el grano de maíz.

Este valor se obtuvo por diferencia de todos los demás componentes químicos.

Se hizo el cálculo aritmético correspondiente y para fines comparativos se tomó como referencia el dato reportado en su composición química que indica que el grano de maíz entero debe tener un 72% de almidón.

Las variedades híbridas que estuvieron por debajo de este parámetro son Dico, Fuerte, Jabalí con valores de 70.47%, 71.36%, 71.68% respectivamente.

La variedad híbrida que cumple con lo que indica su composición química es Martinin con un valor de 72.90%.

El resto de las variedades estuvieron por arriba de lo estipulado.

Los datos de carbohidratos obtenidos por el A.Q.P no distan significativamente del valor reportado bibliográficamente.

Las variedades criollas que obtuvieron un porcentaje mayor al reglamentado fueron: Combin, Blas, con valores 73.31%, 73.23% respectivamente.

Las variedades criollas que cumplen con este requisito fueron: Roble, Caston, Fresillo, Guasave con valores de 72.73%, 72.36%, 72.12%, 72.47% respectivamente.

Las variedades criollas que están por debajo de este parámetro fueron: Barranquilla, Camba, Toliman, Navatol con valores 71.03 %, 70.4533%, 71.3166%, 69.5466%.

3.3.7 Calcio endógeno de los granos

Todas las culturas tienen como base de su alimentación un cereal y en el caso de México es el grano de maíz, además este cereal tiene un porcentaje considerable de calcio biodisponible.



La técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica referida por Fernández *et al.* (2004) fue de gran importancia porque por medio de esta se determinó de manera cuantitativa la concentración de calcio en el grano crudo y este valor se tomó en cuenta cuando se cuantificó el calcio total del grano procesado o nixtamalizado. En los cuadros 3.25 y 3.26 se presentan la concentración de calcio endógeno en maíces híbridos y criollos.

Cuadro 3.25 Porcentaje de Ca endógeno en maíz híbrido

VARIEDAD HIBRIDOS	Ca endógeno (%)
Martinin	0.0583 ± 0.0011
Dico	0.0616 ± 0.0005
Oso	0.0583 ± 0.0005
Vitaruto	0.0526 ± 0.0015
Rino	0.0570 ± 0.0000
Navolata	0.0556 ± 0.0015
Conic	0.0513 ± 0.0005
Jaguar	0.0616 ± 0.0005
Fuerte	0.0620 ± 0.0017
Jabalí	0.0486 ± 0.0005

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

Cuadro 3.26 Porcentaje de Ca endógeno en maíz criollo

VARIEDAD CRIOLLOS	Ca endógeno (%)
Roble	0.0733 ± 0.0005
Combin	0.0713 ± 0.0005
Caston	0.0623 ± 0.0005
Blas	0.0683 ± 0.0005
Barranquilla	0.0580 ± 0.0010
Fresillo	0.0643 ± 0.0005
Guasave	0.0673 ± 0.0005
Camba	0.0726 ± 0.0011
Tolimán	0.0703 ± 0.0005
Navatol	0.0733 ± 0.0005

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

Nótese que los valores de calcio más altos los presentaron los granos criollos, aunque este parámetro no lo solicita la norma, es deseable tener la mayor



cantidad de calcio presente. Sin embargo, para la industria grandes concentraciones de calcio adicionadas les provoca cambios no deseables a sus harinas, como un color amarillento.

OBJETIVO PARTICULAR 3

3.4.1 Nixtamalización de las variedades de maíz híbridas y criollos

Las variedades de maíz híbridas y criollas se nixtamalizaron con el fin de establecer los tiempos de cocción mediante las determinaciones de humedad al término de la cocción tomando en cuenta las condiciones de grado de hidratación que solicita la industria harinera (32%) y la molinero-tortillera (36%).

3.4.2 Resultados de humedad en la cocción

El comportamiento de la humedad de la cocción, es un indicativo del tipo de grano que se tiene, si es grano duro requiere grandes periodos de hidratación, así como de las características del endospermo, espesor y estadio del pericarpio.

En la gráfica de la figura 3.9 se presentan la tendencia de los granos híbridos.

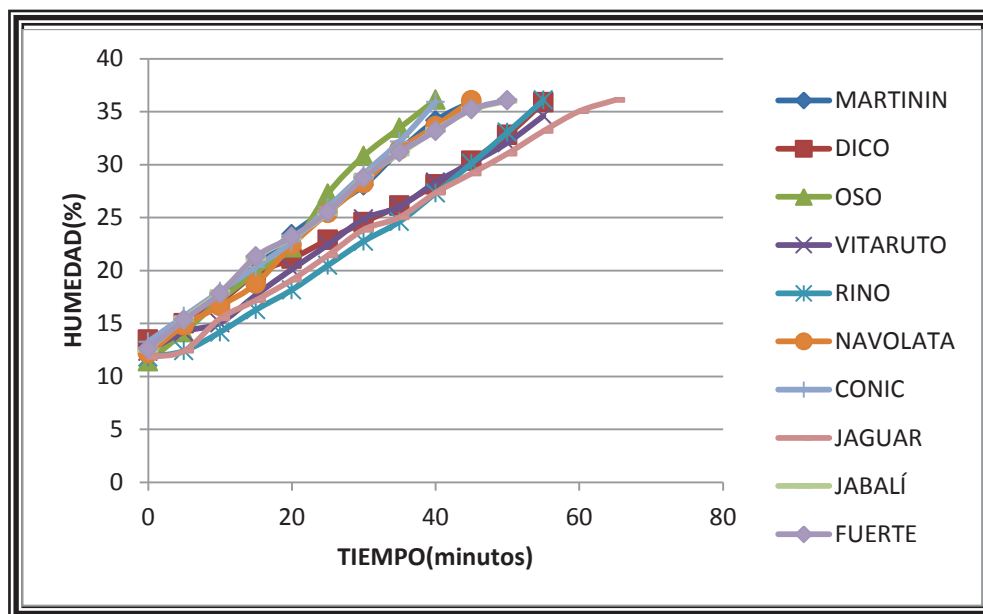


Figura 3.9 Gráfica de humedad de variedades híbridas durante la cocción

Los valores en la gráfica inician con las humedades contenidas antes del proceso de nixtamalización. Los valores de humedad se tomaron cada 5 minutos.



Los granos que presentaron más rápidamente valores de 32 % fueron: Martinin, Oso, Conic por tanto pueden ser seleccionados para la elaboración de harinas y también fueron los primeros en alcanzar humedades del 36 %. Por esta razón pudieran tener destino igualmente para la Industria molinera–tortillera. Las variedades Navolata, Jabalí, Fuerte califican únicamente para la industria molinero-tortillera porque tienen un período de hidratación mayor que las anteriores. Las semillas Dico, Vitaruto, Rino, Jaguar no sirven para ninguna de las dos industrias evaluando solamente este parámetro.

Los resultados de humedad en la cocción para granos criollos se puede observar en la gráfica de la figura 3.10

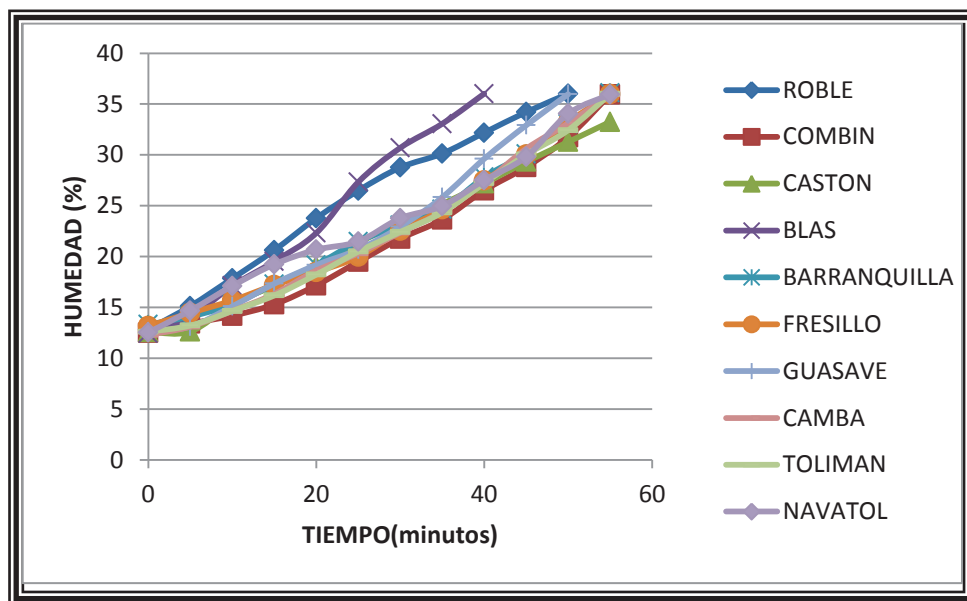


Figura 3.10 Gráfica de humedad de variedades criollas durante la cocción

Esta técnica se correlaciona con la de Índice de flotación indicada por la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002, porque el índice de flotación estima tiempos de cocción en función de su dureza. Sin embargo, para muchos granos los tiempos de cocción no coinciden con los resultados obtenidos con esta técnica. Los valores cercanos al 32% fueron Roble, Blas y Guasave los cuales son destinados para la industria harinera. La variedad Guasave alcanza rápidamente la humedad del 36 % por esa



razón también se seleccionó para la industria molinero-tortillera. El resto de las variedades como Combin, Caston, Barranquilla, Fresillo, Camba, Toliman, Navatol llegaron al mismo punto de hidratación de manera tardía por este motivo éstos granos no son aptos para ninguna de las dos industrias. Esto se debe a que tienen dimensiones muy grandes, tienen un endospermo muy duro y como consecuencia tiempos de hidratación largos.

El índice de flotación solo propone un estimado para el tiempo de cocción con los granos flotantes, la norma establece cuanto debe durar la etapa de cocción, pero este tiempo puede ser afectado por la dureza del pericarpio cuando permanece mucho tiempo en almacenamiento. Sin embargo, la determinación de humedad durante la cocción es más real porque determina la hidratación “*in situ*” del grano en intervalos de tiempo.

- **Humedad en el reposo**

La humedad en el reposo solicitada para harinas de maíz nixtamalizada al término de la cocción y el reposo es de 42 % y de la industria molinero tortillera es de 56 %.

Es importante recordar que la industria de la harina solo reposa los granos de maíz cocidos durante tres horas. Por otro lado la industria tortillera requiere períodos de reposo por arriba de 8 horas para sus granos. En el cuadro 3.27 se reportan los resultados de humedades y rendimiento de nixtamal al término de reposo para granos híbridos.

Cuadro 3.27 Humedad en el reposo y Rendimiento de nixtamal en granos híbridos

VARIEDAD HÍBRIDOS	Humedad en el Reposo (%)	Rendimiento de nixtamal (g)
Martinin	41.33 ± 0.23	1786.24
Dico	49.25 ± 0.31	1732.10
Oso	42.32 ± 0.11	1813.17
Vitaruto	49.13 ± 0.13	1706.67
Rino	48.73 ± 0.16	1640.18
Navolata	55.12 ± 0.14	1795.12
Conic	56.26 ± 0.21	1804.63
Jaguar	46.74 ± 0.26	1529.19
Fuerte	48.16 ± 0.31	1638.27
Jabalí	48.32 ± 0.10	1643.34

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



Las variedades híbridas seleccionadas para la Industria harinera por este parámetro, debido a que se hidratan rápidamente y que presentó valores cercanos al 42 % de humedad en el reposo fue Martinin, Oso. Para la industria masa-nixtamal, Navolata y Conic por alcanzar valores cercanos. El resto de los granos no califican para ninguna industria.

- **Rendimiento del nixtamal**

Para que una variedad se considere que tiene un buen rendimiento éste debe ser de 1800 g de peso después del proceso de nixtamalización para la industria molinero- tortillera (Puebla, 2009).

Las variedades híbridas que tuvieron un buen rendimiento son: Martinin, Dico, Oso, Navolata y Conic por lo que resultarían seleccionados para la industria molinero- tortillera. El resto de las variedades no cumplen con lo establecido.

Dentro de las variedades criollas las humedades al término del reposo y el rendimiento de nixtamal se registran en el cuadro 3.28.

Cuadro 3.28 Humedad en el reposo y Rendimiento de nixtamal en granos criollos

VARIEDAD CRIOLLOS	Humedad en el Reposo (%)	Rendimiento de nixtamal (g)
Roble	56.20 ± 0.12	1804.53
Combin	50.78 ± 0.16	1732.16
Caston	43.18 ± 0.11	1323.46
Blas	42.62 ± 0.13	1807.16
Barranquilla	56.66 ± 0.18	1788.26
Fresillo	50.53 ± 0.13	1769.63
Guasave	51.73 ± 0.10	1796.83
Camba	50.69 ± 0.14	1775.36
Tolimán	49.92 ± 0.12	1718.13
Navatol	49.86 ± 0.02	1724.05

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



Estas semillas son granos que resultan de cruza naturales de los agricultores y no son precisamente elegidos para la industria harinera.

Las semillas seleccionadas para la industria harinera fueron Caston y Blas, por sus valores cercanos a 42 % al término del reposo y para la molinero tortillera Roble y Barranquilla, el resto de las variedades no calificó para ninguna industria.

Con respecto al rendimiento de nixtamal. Las variedades Roble, Blas y Barranquilla por tener un valor cercano a 1800 g de nixtamal por kilogramo de grano utilizado, califican para la industria molinero-tortillera (Puebla, 2009).

OBJETIVO PARTICULAR 4

3.5 Determinación del rendimiento de la harina de maíz

Para determinar el rendimiento de harina en las variedades de maíz se hizo mediante el análisis granulométrico y parámetros que marca la norma NMX-046-S-1980 la cual estipula que la harina de maíz debe tener una finura tal que el 75% como mínimo pase a través de un tamiz de 0.250 mm de abertura de malla, tamiz 60 USA. La cantidad de harina retenida en los tamices 70, 80, 100 y plato fueron sumados y de esta forma se calculó el rendimiento que pasó por la malla 60 USA. Las variedades que se estudiaron están dentro de lo establecido por la norma NMX-046-S-1980 y se muestran en la gráfica de la figura 3.11.

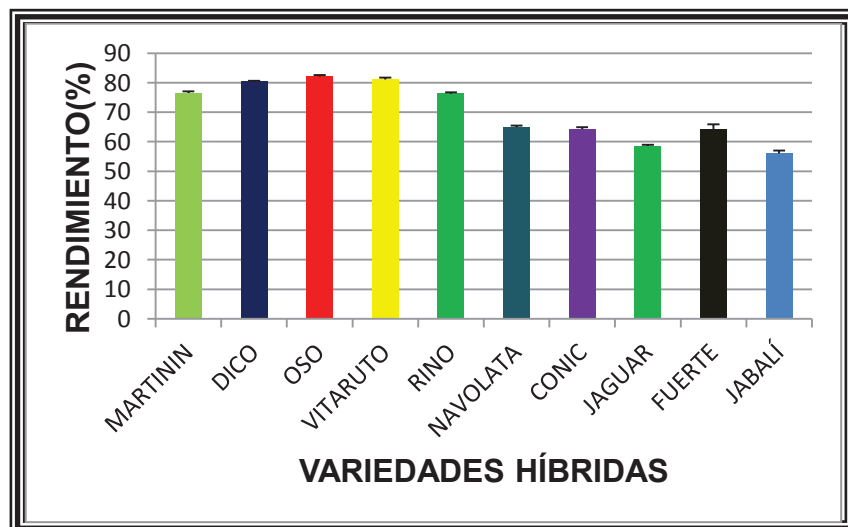


Figura 3.11 Gráfica de rendimiento en harina para maíces híbridos



Las variedades híbridas seleccionadas fueron: Martinin, Dico, Oso, Vitaruto, Rino con valores de 76.5400 ± 0.4794 , 80.3600 ± 0.3019 , 82.0533 ± 0.4772 , 81.0633 ± 0.6205 , 76.3166 ± 0.4309 % respectivamente.

El resto de las semillas híbridas no cumplen con lo estipulado por la norma, la cual establece que por lo menos el 75% de la harina pase el tamiz 60, por esa razón se considera, decide que no tienen potencial para ser utilizados para la industria harinera.

También las variedades criollas fueron evaluadas para obtener el rendimiento para elaborar harinas de maíz nixtamalizado siguiendo los criterios de acuerdo a lo que solicita la norma NMX-046-S-1980.

Es importante destacar que la industria harinera considera que los maíces criollos no tienen ningún potencial, por la forma de haber sido seleccionados y cultivados en México. En la gráfica de la figura 3.12 se exponen los resultados del rendimiento para maíces criollos.

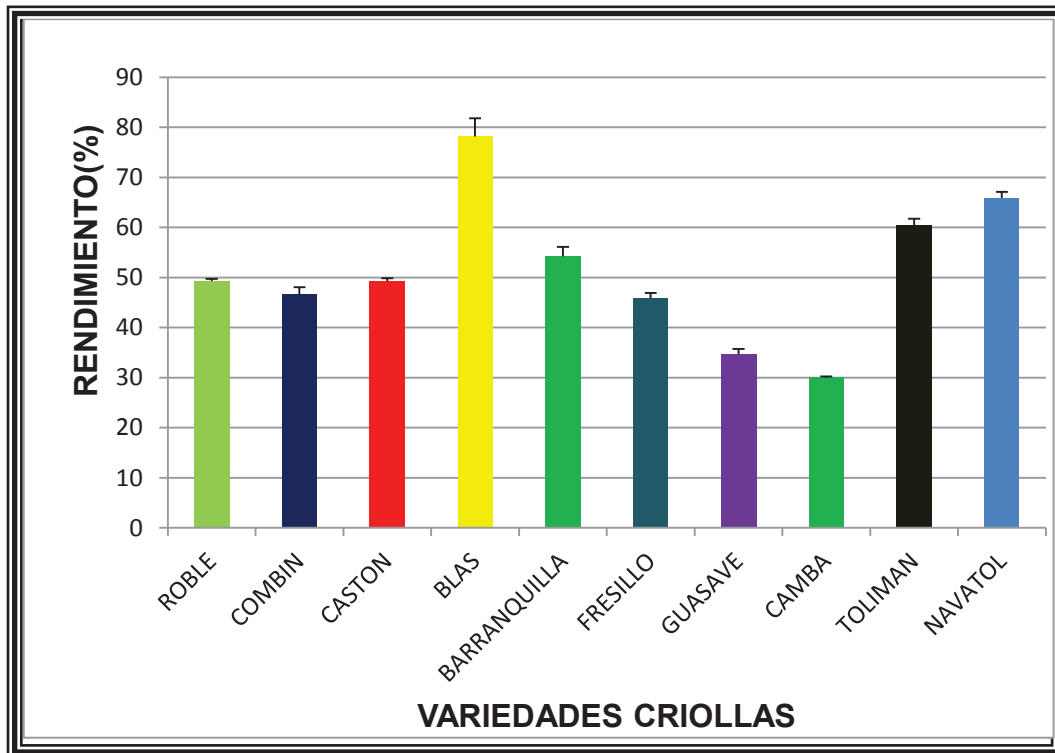


Figura 3.12 Gráfica de rendimiento en harinas para maíces criollos



Las variedades que cumplieron con lo establecido por la norma NMX-046-S-1980 fue: Blas con un valor de $78.1833 \pm 3.6315 \%$ y pudiera calificar Navatol con $65.8833 \pm 1.2169\%$. El resto de las semillas no cumplen este rubro.

OBJETIVO PARTICULAR 5

3.6 Determinación de la concentración de calcio en muestras procesadas

La concentración de calcio fijado durante la nixtamalización, no es un parámetro que solicite la norma NMX-046-S-1980, para producción de harinas y tampoco la norma NMX-FF-034/ 1-SCFI-2002 para la industria molinero tortillera; sin embargo, este valor reporta la cantidad de calcio presente al final del tratamiento térmico-alcalino (final de la cocción y reposo) y de los dos lavados.

La concentración de calcio es importante ya que en zonas marginadas probablemente sea la única fuente de calcio que tengan en la dieta diaria, ya que el consumo per cápita de tortillas es de 225 g diarios, según lo reportado por Rojas-Molina *et al.* (2009).

En la gráfica de la figura 3.13 se presentan los valores obtenidos de concentración de calcio residual en granos de maíces híbridos reportado en mg de calcio por kilogramo utilizado para el proceso de nixtamalización.

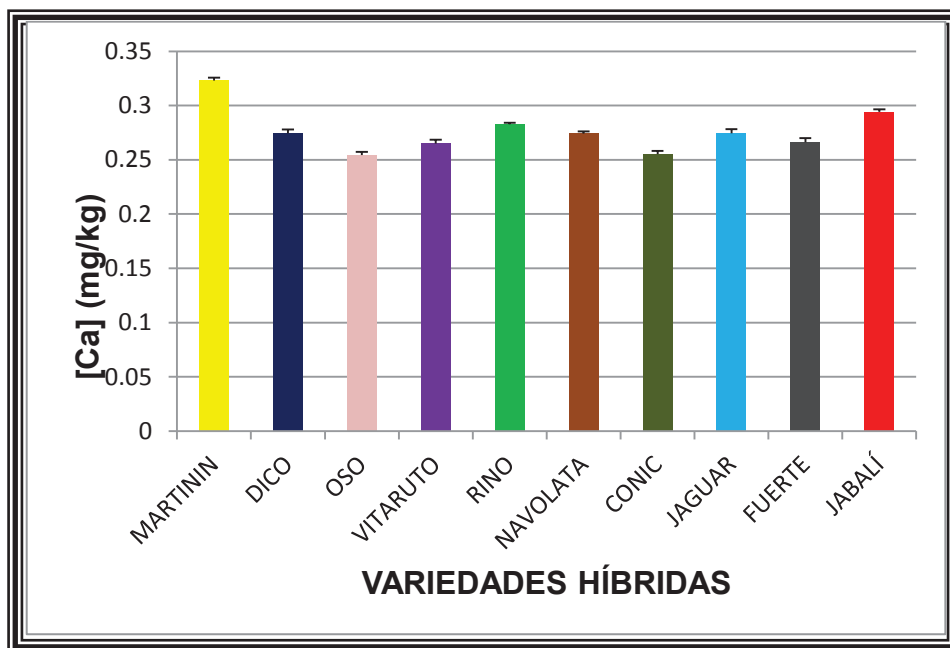


Figura 3.13 Gráfica de concentración de Ca en granos de maíz híbridos



Las variedades híbridas que presentaron mayor concentración de calcio fue Martinin con un valor de 0.323 ± 0.002707 mg/Kg, Dico con un valor de 0.2745 ± 0.003372 mg/Kg, seguida de Rino 0.2825 ± 0.00155 mg/Kg y Navolata con concentraciones de 0.2741 ± 0.001966 mg/Kg. Las variedades Jaguar y Jabalí tuvieron altas concentraciones de calcio, pero en otros parámetros fueron los de menor calificación. Las variedades seleccionadas, también presentaron las mayores humedades y es un hecho que tiene potencial para las dos industrias.

Estos valores también se correlacionaron con la dureza de los granos y la relación endospermo corneo-harinoso, espesor de pericarpio, índice de flotación y peso hectolítrico.

En la gráfica de la figura 3.14 se presentan las concentraciones de calcio residual de las semillas criollas, es decir después de su proceso de nixtamalización para seleccionar su potencial nixtamalero.

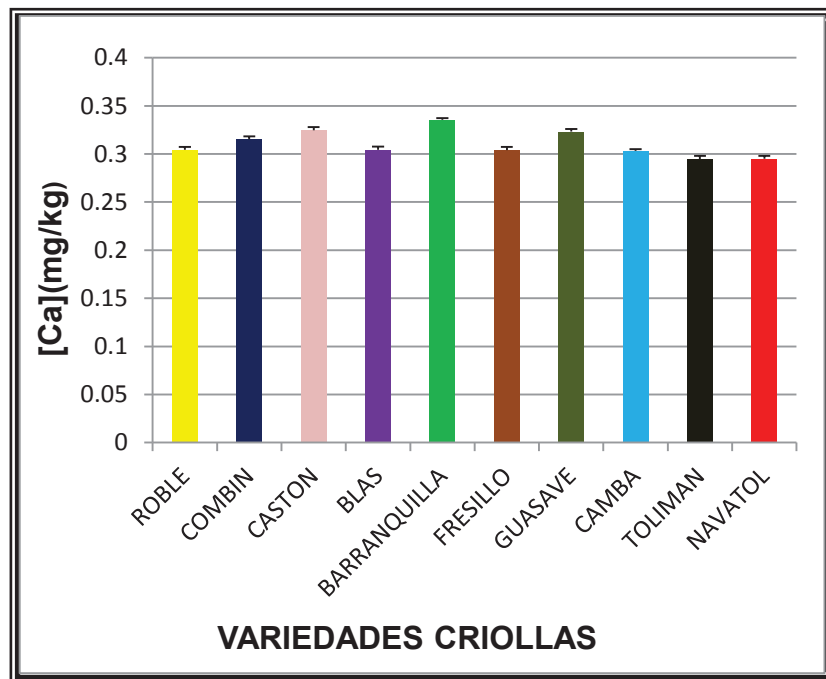


Figura 3.14 Gráfica de la concentración de Ca en maíces criollos

De acuerdo a la gráfica de la figura 3.14 las concentraciones de calcio residual de los granos criollos estuvieron en un intervalo de 0.2945 ± 0.00325 mg/kg con la variedad Toliman, que fue la más baja y la variedad Barranquilla que fue la más alta 0.3354 ± 0.001701 mg/kg. Es decir las variedades criollas presentaron mayores



concentraciones de calcio fijado que las híbridas, pero en otros parámetros no calificaron con buen potencial para ninguna de las dos industrias.

3.7 Análisis Estadístico

El análisis estadístico consistió en efectuar la media aritmética y la desviación estándar de cada determinación hecha. Diez de las cuales eran granos híbridos y diez criollos, las determinaciones son independientes por lo tanto no hubo necesidad de hacer un análisis comparativo.



CONCLUSIONES

De las veinte variedades analizadas de los granos de maíz híbridos y diez criollos, se concluye de manera individual por semilla. Primero se analizó la calidad del grano puesto que son un conjunto de atributos que se evalúan a las semillas (basura, presencia de granos bola, granos sin cofia, granos dañados por insecto, granos fisurados y rotos, granos dañados por calor, granos dañados con hongos) algunos aparecen en la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002, otros son parte de las metodologías que utilizan algunos grupos de investigación. La asociación de molineros-tortilleros y la industria harinera hacen uso de ellos para la compra de nuevas variedades y han establecido penalizaciones cuando no cumplen con lo acordado sus semillas. Primero se concluye para las diez variedades híbridas y luego para las criollas.

- Martinin es un grano híbrido que solamente se le penalizó por tener más de 2 g por kilogramo de impurezas, el resto de los atributos de calidad los cumplió, por lo que calificó para ser comprado.

En cuanto a la caracterización física, las dimensiones si cumplieron en cuanto largo y ancho, pero no para espesor, de acuerdo al índice de flotación es una semilla de dureza intermedia que requiere 35 minutos de cocción, esto se correlaciona con el peso hectolítrico que estuvo por arriba de 74 kg/hL lo que comprueba la dureza media, es un grano blanco, cumple con los % de las estructuras requeridos a excepción del pericarpio por la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002. Su espesor de pericarpio es de 75.20 μm , esto significa que habrá una rápida difusión de la solución alcalina al interior del grano. Su dureza esta dentro del intervalo solicitado por la norma. Este grano presentó los valores más altos, por lo que califica para la industria harinera, aunque el peso de mil granos y la humedad presentada en la etapa de cocción. La concentración de grasa es baja y está dentro del intervalo solicitado. El rendimiento en nixtamal sugiere potencial para ambas industrias. Su rendimiento en harina estuvo por arriba del 75 % y su concentración de calcio final fue la más alta de todos



los híbridos por lo que se decidió que tenía **mayor potencial para la producción de harinas**. Por su rápida hidratación y su dureza intermedia.

- El grano de maíz Dico fue penalizado en varios parámetros de calidad, basura y productos extraños, granos sin cofia y granos dañados por calor, lo que indicó descuido de su productor. Igualmente cumple con las dimensiones de largo y ancho, pero no con el espesor.

El índice de flotación indicó que es un grano duro por lo que especifica 40 minutos de cocción, el peso hectolítrico comprobó la alta dureza del grano, es un grano blanco. En cuanto al porcentaje de estructuras cumple con lo requerido por la norma. Sin embargo, su espesor del pericarpio es de 85.2 μm dentro del intervalo requerido menor al 100 μm hizo que su hidratación fuera prolongada y la humedad en la cocción requirió períodos de más de 50 minutos. Este hecho no coincidió con lo especificado con el Índice de flotación ni por el peso hectolítrico, su rendimiento en nixtamal fue regular, tuvo un buen rendimiento en harina dentro de lo solicitado por la norma NMX-046-S-1980. A esta semilla no se le seleccionó para ninguna industria, aunque cumplió la mayor parte de los parámetros. El tiempo de cocción fue muy largo y esto repercute económicamente para la industria. Lamentablemente este es un parámetro muy importante que descalifica a los granos, aunado a su baja concentración de calcio residual después del proceso de nixtamalización.

- La variedad híbrida Oso fue penalizado en los parámetros de calidad, en productos extraños y en daño por hongos, el resto de los valores se encontró dentro de los intervalos. En cuanto a los parámetros físicos, en dimensiones no aprobó el parámetro de espesor, pero sí el de largo y ancho. El índice de flotación fue de 46, lo que muestra ser de dureza intermedia lo que sugiere un tiempo de cocción de 35 minutos, su peso hectolítrico fue de 80 (kg/hL), mayor a lo solicitado 74 kg/hL, mostró el mejor color en tonalidad blanca, no cumple con el porcentaje de estructuras, cofia, germen y pericarpio, únicamente en endospermo, tiene



un espesor de pericarpio dentro del intervalo solicitado, su dureza está por debajo de los valores solicitados por la norma NMX-FF-034/ 1-SCFI-2002, su peso de mil granos es muy alto fuera de lo establecido para las industrias tanto de harina, como para la nixtamalización. Para los análisis químicos la más importante es humedad esta dentro del intervalo solicitado por la norma, pero en porcentaje de grasa es bajo. Para el tiempo de humedad en la cocción fue la variedad que más rápido se hidrató y mostró 32% de humedad en 40 minutos dichos datos no coinciden en el índice de flotación. Por lo que esto es un hecho que para un mismo parámetro con diferentes técnicas, los resultados son diferentes su humedad en el reposo fue baja, fue el grano con mayor rendimiento de nixtamal. El rendimiento en harinas fue del 80 %, lo que hace que su destino sea producir harinas, ya que su espesor de pericarpio no es muy alto y es un grano con bajo porcentaje de endospermo vítreo, rápidamente se hidrata y alcanza los valores de humedad solicitados para harinas, su contenido de calcio al finalizar el proceso es bueno, pero su alto rendimiento en nixtamal y harina lo califican con muy buen potencial para elaborar harinas, aunado a su alto valor en color blanco. Debido **a eso la semilla califica para producción de harina.**

- Vitaruto es otra semilla híbrida que fue penalizada en productos extraños, impurezas o basura, en granos dañados por calor, daño por hongos. En las propiedades físicas, no cumplió con las dimensiones en espesor. De acuerdo al índice de flotación se reporta como grano duro con tiempo de cocción de 40 minutos, con alto peso hectolítrico 81.3 kg/hL, también es un grano blanco. No cumple en porcentaje de estructuras para la cofía, su espesor de pericarpio es de 83.13 μm , su dureza se reportó con valores de 12kgf, su peso de 1000 granos esta dentro del intervalo 240-370 g. El análisis químico de humedad y grasa mostró que sus valores están dentro del intervalo. Con respecto a la humedad en la cocción Vitaruto requiere tiempos largos para hidratarse de 53 minutos, diferente a lo establecido por índice de flotación, aquí las técnicas difieren, la humedad en el reposo fue



de 49.13% para ocho horas, es un grano que tarda en hidratarse y su rendimiento en nixtamal fue regular 1706 g. Su rendimiento en harina esta por arriba del 75 %. Es un grano con buen rendimiento en harina y en nixtamal, pero sus tiempos de hidratación son muy largos, ese es un parámetro prioritario para la industria harinera, por lo que califica sólo para la industria nixtamalera, su porcentaje de calcio residual es bueno.

- El grano de maíz híbrido variedad Rino en cuanto a calidad de grano no cumplió con productos extraños o impurezas y con granos dañados por calor. En cuanto a la caracterización física, en dimensiones, no cumplió con el espesor. Su índice de flotación reporta un grano duro, y propone tiempos de cocción de 40 minutos, su peso hectolítrico es menor a 74 kg/hL, lo que indica que no cumple con lo solicitado por la norma, se encuentra entre color con tonalidad blanca. Es una semilla que cumple con el porcentaje de estructuras, su espesor de pericarpio es delgado de aproximadamente 77 μm , su dureza es de 13.64 kgf. Sin embargo su peso de 1000 granos es muy alto y no cumple con lo solicitado por la norma. En cuanto a la caracterización química, su humedad (11.82%) y el contenido de grasa están dentro del intervalo. Sin embargo el contenido de humedad en la cocción fue muy alto con tiempos de 58 minutos, no recomendable para ninguna industria, ya que tiene un contenido muy alto de endospermo vítreo, su humedad en el reposo fue baja y su rendimiento en nixtamal fue bajo de 1640.18 g, y aunque su rendimiento en harina es alto mayor al 75 %, no se selecciono, ni para la industria harinera, ni para la industria molinero-tortillera por sus largos periodos de hidratación en la etapa de cocción y reposo.
- Para la semilla Navolata, en la calidad del grano; reportó valores altos de impurezas o basura, de manera que no cumplió y se le penalizó únicamente en ese rubro. En cuanto a las características físicas, cumplió con largo, ancho, pero no con espesor. El índice de flotación solicita tiempos de cocción de 40 minutos por ser un grano duro, el peso



hectolítrico cumplió apenas con lo establecido, se encuentra en granos con color blanco. El % de estructuras no cumplió para la el % de cofia requerida. El espesor de pericarpio fue bajo de $74.21\mu\text{m}$, con dureza de 13.67 kg_f . Su peso de 1000 granos se encuentra dentro de lo establecido. En cuanto a los parámetros químicos de humedad y grasa cumplen con lo solicitado por la norma. En cuanto a la humedad en la cocción su valor fue de 42 minutos, muy similar a lo recomendado por el índice de flotación y el peso hectolítrico, muy probablemente por el bajo espesor del pericarpio, se hidrata rápidamente, en el reposo tiene una humedad recomendada para la industria nixtamalera y su rendimiento es de 1795.12 g , es cercano a lo solicitado para la industria de nixtamal que es de 1800 g . No cumple con el rendimiento en harinas pues su valor fue del 66%. Tiene un buen valor de calcio residual al término del proceso. Esta variedad fue calificada para la industria molinero-tortillera, por sus tiempos de hidratación y su rendimiento nixtamal.

- La variedad Conic, es una semilla hibrida que presento impurezas y productos extraños, también presentó una cantidad mayor a 2g/kg de granos dañados por calor por lo que en cuanto a calidad de grano se le penalizó en estos dos rubros. En la caracterización física cumplió con dimensiones de largo y ancho, pero no con espesor. Su índice de flotación fue de 44, que corresponde a un grano de dureza intermedia y solicita tiempos de cocción de 35 minutos, el peso hectolitrico cumplió con lo solicitado por arriba de 74 kg/hL , lo que lo hace con potencial para la industria nixtamalera, su color es blanco, cumple con el % de estructuras anatómicas, cofia, pericarpio, germen y endospermo, su espesor de pericarpio fue de $80\mu\text{m}$, su dureza tuvo un valor menor al intervalo solicitado de $13\text{-}15\text{ kg}_f$ por la norma NMX-FF-034/ 1-SCFI-2002. El peso de los mil granos estuvo en el límite solicitado. En la caracterización química, la humedad y el % de grasa estuvieron dentro del intervalo solicitado por la norma. El tiempo de cocción fue corto, es decir se hidrata rápidamente, Su humedad en el reposo y su rendimiento en nixtamal excelente fue ideal



para estos parámetros en la industria molinero-tortillera. El rendimiento en harina fue menor del 75 %, y un alto valor en calcio residual después del proceso. Por esa razón se le seleccionó para la industria molinero-tortillera.

- Jaguar es una semilla híbrida que en la calidad del grano, presentó problemas con impurezas y en daño por hongos, por lo que se le penalizó en su compra. En cuanto a sus características físicas, cumplió con las dimensiones físicas en largo y ancho, pero no con espesor. El índice de flotación fue muy bajo de 7 granos flotantes, por lo que se trata de un grano muy duro, que requiere tiempos de cocción de 45 minutos de acuerdo a la norma NMX-FF-034/ 1-SCFI-2002. Su peso hectolítrico fue muy alto de 90 kg/hL. Sin embargo, entra dentro de lo solicitado por la misma norma. Su color registra ser de los granos más blancos. En el % de estructuras, no cumplió con el de pericarpio, pero sí con germen, cofía y endospermo. Su espesor de pericarpio está dentro del intervalo solicitado y su dureza también. Su peso de 1000 g esta ligeramente por encima en el límite de lo establecido. En cuanto a sus características químicas, humedad y grasa también están dentro de lo solicitado por la norma. La hidratación en la cocción durante la nixtamalización para este grano fue el que requirió el mayor tiempo de todos los híbridos, en el reposo la humedad mostró el mismo comportamiento y esto repercute en su rendimiento en nixtamal que es muy bajo, su rendimiento para producción de harina no cumplió lo solicitado por la norma NMX-046-S-1980. Por esas razones es un grano no seleccionado para ninguna de las dos industrias.
- Para la variedad de grano Fuerte en calidad del grano no cumplió con lo solicitado en impurezas y daño por hongo por lo que pago por incumplimiento de esos parámetros. Sus características químicas en cuanto a dimensión las cumplió en largo y ancho, pero no en espesor. Su índice de flotación fue el más bajo de todas las semillas y corresponde a un grano muy duro con alto peso hectolitrico. Cumplió con lo solicitado en el porcentaje de estructuras y su espesor de pericarpio estuvo en lo



solicitado. En cuanto a la dureza obtenida por la máquina instrumental reportó valores bajos, esto no coincide con el índice de flotación. Este grano debe tener un % de endospermo vítreo muy alto, por lo que presentó un peso de 1000 granos muy alto. En su caracterización química cumplió con el % requerido de humedad y de grasa, es un grano de hidratación regular en la etapa de cocción durante la nixtamalización y muy mala su hidratación en durante el reposo, por eso su rendimiento en nixtamal es muy bajo. Su rendimiento en elaboración de harina es bajo, aunque presenta una alta concentración de calcio residual. Su alta dureza, hace que requiera tiempos de hidratación largos. De manera que es un grano que no se seleccionó para ninguna industria.

- La variedad Jabalí, en los parámetros de calidad de grano no cumplió con impurezas, daño por insecto y daño por calor, por lo que pagó su multa. En la caracterización física cumplió con largo, ancho y, pero no con espesor. Su índice de flotación mostró que era un grano duro y establece tiempos de cocción de 40 minutos. Su peso hectolítrico no cumplió con lo solicitado por la norma NMX-FF-034/ 1-SCFI-2002. Su color es blanco. Es una semilla que no cumplió con él % de estructuras. De hecho tiene un bajo porcentaje de pericarpio y es mayor el de la cofia. Tiene un espesor de pericarpio alto, su dureza obtenida por máquina universal se encuentra en el intervalo y esto no coincide con el índice de flotación, su peso de los 1000 granos esta fuera del intervalo solicitado por la norma. En la caracterización química; humedad y grasa están dentro de lo solicitado. La humedad alcanzada en la cocción fue baja de acuerdo al tiempo de cocción, que no coincidió con el índice de flotación, el rendimiento en nixtamal es bajo y el rendimiento en la elaboración de harinas también. Aunque es un grano con alta fijación de calcio, no fue seleccionado para ninguna de las dos industrias, debido a su baja hidratación en la cocción y el reposo, ya que esto repercute en el rendimiento en nixtamal, y provocaría largos tiempos de cocción del grano.



Ninguna de las variedades cumplió con el espesor en cuanto a dimensiones. Sin embargo, fueron aceptadas las semillas que cumplieran con otros parámetros físicos obviando este. Hay controversia en cuanto a los tiempos de cocción establecidos por la norma mediante el índice de flotación y los reales por el establecimiento de humedad en la etapa de cocción en la nixtamalización, lo que demuestra que aunque el índice de flotación es el más sencillo y el solicitado, no es el mejor método, lo mismo que para el establecimiento de la dureza, el índice de flotación en muchas variedades no coincide con lo reportado por la máquina INSTRON. Las variedades que no se seleccionaron para ninguna industria se les pueden dar destino para la elaboración de piensos para animales.

Para las variedades criollas se concluye por grano.

- La semilla Roble corresponde a un grano de variedad criolla no paso el parámetro de calidad de pureza, tampoco el de grano dañado por calor y el de daño ocasionado por hongos. En las características físicas es un grano que cumplió con las dimensiones de largo y ancho, pero no con espesor. Su índice de flotación fue bajo por lo que lo califica como grano duro, con tiempo de cocción de 40 minutos, su peso hectolítrico esta dentro del intervalo solicitado por la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002, su color es blanco, esta semilla cumplió con el % de estructuras en el grano solicitadas por la misma norma, su espesor de pericarpio es bajo de 75.2 μm , lo que beneficia la difusión de agua y calcio, su valor de dureza por máquina instrumental INSTRON se encuentra dentro del intervalo, su peso de 1000 granos esta por arriba de lo solicitado. En la caracterización química cumple para la industria harinera con el contenido de humedad pero no con el de grasa. No coincide con el tiempo de cocción con del índice de flotación, por que al calcular la humedad por tiempo de hidratación, su tiempo fue de 55 minutos, aunque su humedad en el tiempo de reposo es muy bueno, por tanto su rendimiento de nixtamal es excelente, por arriba de lo solicitado. Su rendimiento en harina no cumple con lo solicitado. A este grano se le seleccionó para la industria de la masa y la tortilla, porque



cumple con la mayoría de los parámetros, y porque tiene un alto rendimiento en nixtamal y fija una importante cantidad de calcio residual.

- Combin es una semilla criolla, que en calidad de grano no cumplió con los parámetros de impurezas, granos dañados por calor, ni por granos dañados por hongo, esto le ocasiono una penalización. En su caracterización física, sus dimensiones de largo y ancho estuvieron dentro del intervalo, pero no su espesor, es un grano duro de acuerdo a los valores del índice de flotación y su tabla indica tiempos de cocción de 40 minutos, su peso hectolítrico cumple con lo solicitado, es un grano blanco, cumple con el % de estructuras del grano, su espesor de pericarpio esta dentro del intervalo solicitado, teniendo un valor de 90 μm . Su dureza es muy alta y no coincide con el índice de flotación, su peso de mil granos sobrepasa en mucho lo solicitado. En cuanto a la composición química cumple con la humedad, pero no con el % de grasa para la industria harinera, es la semilla que tardo más en hidratarse en la cocción de las veinte variedades, su humedad en el reposo es regular y su rendimiento de nixtamal también es regular, su rendimiento en harina es bajo, aunque la cantidad de calcio fijado es buena. Este grano no se seleccionó para ninguna de las dos industrias, por que tarda mucho en cocer e hidratarse y con mediano rendimiento.
- La variedad Caston es una semilla criolla. En la calidad de grano no cumplió con algunos parámetros que se evalúan por tener alta cantidad de impurezas y daño por insecto. En las características físicas, cumplió con largo y ancho, pero no con espesor. Su índice de flotación lo caracteriza como un grano muy duro y le establece tiempo de cocción de 45 minutos, su peso hectolítrico cumple con lo solicitado por la norma antes mencionada, su color esta dentro de los blancos. También cumple con el % de estructuras. Tiene un espesor de pericarpio medio. Su dureza determinada por máquina INSTRON esta fuera de lo permitido, su peso de 1000 granos es muy alto, fuera del intervalo permitido. En cuanto a sus



características químicas esta dentro de lo solicitado para humedad, pero para grasa es mucho muy alto para la industria harinera, es el grano que junto con Combin más tardo en hidratarse, su humedad en el reposo es muy mala y el rendimiento en nixtamal también, ya que es el más bajo de todas las variedades, su rendimiento en harina es muy malo, tiene una buena fijación de calcio en el proceso de nixtamalización. Esta variedad no fue elegida para la industria harinera y tampoco para la industria de la masa y la tortilla.

- Blas es un grano criollo. En la calidad del grano presentó impurezas por arriba de lo establecido en la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002, daño por insecto y grano dañado por calor, por lo que se multó a su vendedor en la compra de la semilla. En la caracterización física, cumplió con las dimensiones, de largo y ancho, pero no con espesor. Su índice de flotación indica que es un grano de dureza intermedia y propone un tiempo de cocción de 35 minutos. Su peso hectolítrico se encuentra con lo establecido, también es un grano de color blanco, esta correcto en el porcentaje de estructuras; cofia pericarpio, germen y endospermo de acuerdo a lo solicitado por la norma, presentó uno de los espesores de pericarpio menores, su dureza determinada por la Maquina Universal y sus valores están dentro de los permitidos, su porcentaje de 1000 granos estuvo ligeramente por arriba de lo permitido. En la caracterización química cumplió con la humedad solicitada, pero su contenido de grasa es alto para la industria harinera, pero permisible para la industria molinero-tortillera. Fue el grano que se hidrató más rápidamente de lo criollos, aunque su tiempo de hidratación en la cocción fue mayor que el determinado por el índice de flotación. Su humedad en el reposo fue buena y su rendimiento de nixtamal fue excelente, no así el rendimiento para harina, su fijación de calcio durante el proceso de nixtamalización es buena. Este grano fue seleccionado para la industria de la masa y la tortilla, basado en su dureza y su hidratación rápida, lo que repercute en su rendimiento en nixtamal.



- La variedad Barranquilla, en sus parámetros de calidad de grano, no cumplió con impurezas o basura y productos extraños, en granos dañados por insecto y en granos dañados por hongo. En sus características físicas no cumplió con el espesor en dimensiones. Su índice de flotación indica que es un grano duro y recomienda 40 minutos de cocción, su peso hectolítrico esta dentro de lo permitido, su color esta dentro del blanco, cumple por el porcentaje de estructuras solicitado por la norma, su espesor de pericarpio es bajo, su dureza obtenida por la máquina INSTRON se encuentra por arriba de lo permitido, su peso de 1000 granos se encuentra por encima de lo establecido. En la caracterización química cumple con el % de humedad, pero no de el de grasa para la industria harinera, pero si para la de la masa y la tortilla. Su tiempo de cocción obtenido por hidratación fue mayor que el establecido por el índice de flotación. Su humedad adquirida durante el reposo es extremadamente buena, aunque su rendimiento en nixtamal está por debajo del solicitado. Su rendimiento en harina esta por debajo de lo solicitado y su fijación de calcio en el proceso de nixtamalización es la más alta de todas las semillas criollas estudiadas. Este grano fue seleccionado para la industria de la masa y la tortilla. Aunque también reúne características buenas para harina, pero se eliminó de esa industria por su alto contenido de grasa.
- Variedad de semilla Fresillo en cuanto a la calidad del grano no cumplió con basura y productos extraños o impurezas, daños a granos por insectos, granos dañados por calor. En la caracterización física no cumplió con las dimensiones en cuanto al espesor, pero sí con las demás. En índice de flotación lo califica como grano duro con un tiempo de cocción de 40 minutos. Su peso hectolítrico se encuentra con lo especificado por la norma, su color esta dentro de los blancos. Su porcentaje de estructuras cumple con lo solicitado por la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002, tiene un espesor de pericarpio dentro del intervalo, su dureza reportada por la maquina INSTRON esta fuera del intervalo solicitado, su peso de 1000 granos esta por encima de lo solicitado. En cuanto a las características



químicas, esta semilla no cumple en porcentaje de grasa para la industria harinera, pero si para la nixtamalera. El tiempo de cocción establecido de acuerdo a la hidratación fue muy grande y no coincidió con el solicitado por el índice de flotación, su humedad en el reposo fue buena y tuvo un rendimiento de nixtamal por debajo de lo recomendado, pero es bueno, su rendimiento en harina no es bueno y tiene una buena fijación de calcio durante el proceso de nixtamalización. A pesar de que su tiempo de cocción no es muy bueno, esta variedad fue seleccionada para la industria de la masa y la tortilla, por su rendimiento de nixtamal, ocasionado por una buena hidratación en el reposo y porque cumple con la mayoría de los parámetros solicitados.

- La variedad Guasave, en calidad de grano presentó muchas impurezas, no cumplió con el parámetro de granos dañados por insecto, tampoco cumplió con la cantidad de granos rotos, rebaso lo establecido, presento un alto % de granos dañados por calor y por daño por hongos. En cuanto a dimensiones tampoco cumplió con el espesor. El índice de flotación indicó que es un grano duro, con un tiempo de cocción de 40 minutos, su peso hectolítrico se encontró dentro de lo permitido, se encuentra dentro del color blanco, cumplió con el % de estructuras en el grano, el espesor del pericarpio fue el más alto de todos las semillas criollas. La dureza obtenida por la máquina INSTRON, estuvo por arriba de lo establecido, fue una semilla con valores superiores a lo solicitado por la norma en el peso de 1000 granos. En la caracterización química presentó muy alto contenido de grasa y humedad dentro de lo establecido. La hidratación requirió largo tiempo durante la cocción de 50 minutos y no coincidió con el solicitado por el índice de flotación, la humedad en el reposo fue buena y presentó un muy buen rendimiento en nixtamal, aunque muy mal rendimiento en harina. Este grano se seleccionó para la industria molinero tortillera, por su alto rendimiento en nixtamal, aunque algunos de los parámetros de la norma estuvieron ligeramente por arriba de lo solicitado.



- La variedad Camba, fue el grano que presentó la mayor cantidad de impurezas de todos los criollos y el mayor daño por insecto, por lo cual se le penalizó en los parámetros de calidad. En las características físicas en cuanto a las dimensiones no cumplió con el espesor, es un grano duro de acuerdo al índice de flotación, que se solicita se establezca su tiempo de cocción en 40 minutos. Su peso hectolítrico está dentro de lo solicitado, su color es blanco, cumplió con el % de estructuras solicitado por la norma, su espesor de pericarpio esta dentro del intervalo, su dureza obtenida por la maquina INSTRON presentó el valor más alto de todos los criollos, su peso de 1000 granos es extremadamente alto. En cuanto a sus características químicas, cumplió con el % de humedad, pero presento alto contenido de grasa, es un grano que durante la cocción presentó un tiempo muy largo para hidratarse, su humedad en el reposo fue buena, pero su rendimiento de nixtamal, fue regular, su rendimiento en harina fue el más malo de todas las semillas criollas, su fijación de calcio durante el proceso de nixtamalización fue regular. Este grano no se seleccionó para ninguna industria debido a que no cumplió con varios parámetros de la norma, pero adicionalmente su tiempo de cocción fue muy largo, esto debido a su espesor de pericarpio que es muy grande, esto también repercutió en la dureza, ya que su rendimiento en harina es muy bajo, porque el pericarpio es fibroso y requiere de tiempos más largos de molienda además de su rendimiento en nixtamal es bajo.
- La variedad Toliman, en la calidad de grano presentó altas impurezas, granos dañados por insecto, por encima de lo mínimo aceptado de grano fisurado y roto y de daño por hongos. En cuanto a las características físicas es un grano con buenas dimensiones excepto para el espesor. Su índice de flotación correspondió a un grano duro con tiempo de cocción recomendado de 40 minutos, su peso hectolítrico estuvo dentro del intervalo solicitado por la norma y su color corresponde a tonalidad blanca. Su porcentaje de estructuras, esta dentro de lo solicitado por la norma, su espesor esta dentro del intervalo con valores medios y la dureza obtenida



por el INSTRON es alta y no corresponde con la de la proporcionada con el índice de flotación. Su peso de 1000 granos esta ligeramente por encima de lo establecido por la norma. En cuanto a la caracterización química el grano cumplió con su porcentaje de humedad, no así para el de grasa que solicita la industria harinera. La hidratación para el establecimiento del tiempo de cocción, con el desprendimiento del pericarpio requirió un tiempo largo. Su humedad en el reposo fue buena cercana a la solicitada y su rendimiento de nixtamal fue regular, su rendimiento en harina fue regular. Su concentración de calcio fijada es buena. Este grano se seleccionó para la industria molinero-tortillera por su rendimiento obtenido en nixtamal, a pesar que no cumplió con algunos parámetros seleccionados por la norma estuvo cercano a ellos.

- La semilla Navatol fue penalizada porque su contenido de impurezas ya que en este rubro fue mayor a lo permitido por la industria molinera-tortillera, en la cantidad de granos dañados por insecto, rotos o fisurados, dañados por calor no cumplieron con lo establecido por la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002, cumple también con las dimensiones en cuanto ancho y largo sin embargo su espesor es pequeño, es un grano duro con un tiempo de cocción de 40 minutos, teniendo un peso hectolítrico dentro de lo recomendado por la norma, es de color blanco, su porcentaje de estructuras es mayor en su contenido de pericarpio y germen, el espesor del pericarpio están dentro del valor permitido, su dureza fue mayor de la recomendada para algún destino alimenticio humano. En cuanto al peso de los 1000 granos ésta variedad es la única que se encuentra dentro de lo recomendado. En su caracterización química cumplió con lo establecido por la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002. Estuvo dentro de lo determinado el % de humedad, su cantidad de grasa fue excesiva si su destino son harinas. Llego a su humedad en la cocción de manera lenta, su humedad en el reposo fue buena, su rendimiento de la harina fue bueno, próximo al recomendado por la industria molinero-tortillera, su concentración de calcio fue muy buena. Este grano fue seleccionado para la industria molinero- tortillera por tener un buen rendimiento.



La industria molinero tortillera es menos exigente, es decir más flexible en los parámetros y permite y acepta semillas que se acerquen a lo establecido. Además son granos poco homogéneos en cuanto a los comportamientos físicos, por ejemplo aunque la variedad criolla Guasave es alto en espesor de pericarpio, presentó muy mala calidad de grano.

El objetivo 5, que reportó la concentración de calcio es importante ya que en zonas marginadas probablemente las tortillas sean la única fuente de calcio que tengan en la dieta diaria, ya que el consumo per cápita de tortillas de 225 g diarios. Aunque este parámetro no lo califican las dos industrias, si es un atributo por el que adicionalmente prefieren a las variedades.

- Las semillas de altas concentraciones de calcio en variedades híbridas para las dos Industrias son: Martinin, Oso, Rino, Navolata, Jaguar y Jabalí.
- Todos los granos criollos son recomendables para las dos Industrias, por sus altas concentraciones de calcio.

RECOMENDACIONES

Se recomienda elaborar tortillas con estas variedades y efectuar las pruebas físico químicas a estas.

Realizar una evaluación sensorial para las tortillas y así determinar la preferencia del consumidor.

Hacer pruebas a todas las variedades cosechadas en otros lugares, no solo en el bajío mexicano, que también producen granos híbridos y criollos como el estado de hidalgo y puebla o en la parte sur del país.



- AACC.(2000). American Association of Cereal Chemists. Approved Methods of AACC, 10 th Ed. The Association: St. Paul, M. N. USA. Método 55- 10, AACC,Método 44-11, AACC,Método 30-25 AACC 2000, Método 08-01 de la AACC 2000,Método 46-13, AACC 2000.
- AOAC International. (2000). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 17th Ed. The Association: Gaithersburg, MD.USA Método992.16 AOAC 2000, Método 925.10 AOAC 2000.
- Almeida-Domínguez, H. D., Cepeda, M., Rooney, L. (1996). Properties of commercial nixtamalized corn flours. *Cereal Foods World*, **41**:624-630.
- Amezquita, E. La fertilidad física del suelo. En: Sociedad colombiana de la ciencia del suelo. Manejo integral de la fertilidad del suelo, Bogotá. (2003). Pp. 164 –176.
- Arenas, A. J. A. (1999). Microscopía electrónica de barrido. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ). Ed. UNAM. México, D. F. Pp.13-35.
- Astiasarán A. I., Martínez H. A. (2003) Alimentos, Composición y propiedades Mc Graw-Hill. México D.F. Pp. 135.
- Badui, S., Química de los Alimentos. Cap.II: Hidratos de Carbono Edit. Alhambra.3ª Edición, México, D. F. (1996). Pp 94-96.
- Barros, C. y Buenrostro, M. (1997) “El maíz, nuestro sustento”. En: Arqueología Mexicana, **Vol. 5**, No. 25, mayo-junio. Pp 6-15.
- Bedolla, S. y Rooney, L.W. (1982).Cooking maize for masa production. *Cereal Foods World* **27**:219-221.
- Bedolla, S. y Rooney, L.W. (1984). Characteristics of U.S and Mexican instant maize flours for tortilla and snacks preparation. *Cereal Foods World*, **29** (11):732-735.
- Billeb, A, y Bressani, R. (2001).Características de cocción por nixtamalización de once variedades de maíz. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, **51**: 86-94
- Biosca A. Atlas de Geografía de México. Edit. Oceano. Edición 1ª (2009), España, Pp. 428.
- Bressani, R. (1972). La importancia del maíz en la nutrición humana en América Latina y otros países. En: *Mejoramiento nutricional del maíz*. Béhar, eds. Publicación INCAP L3.Guatemala. Pp. 5-28.
- Cambremos, M. (2005). Las consecuencias de la modernización y el desarrollo sustentable. CIAD- Pual. UNAM. México. Pp. 22-47.



- Castañeda, P. R. (1990) El cultivo del maíz. Ed AGT. México, D.F. Pp. 32-39.
- Colin, M. O. (2000) The effects of hybridation in plants on secondary chemistry implications of the ecology and evolution of plant Herbivore intraction. Department of Biology. *American Journal of Botany*, **87**(12):1749-1756.
- Cortez, A. y Wild-Altamirano, C (1972). Contribución a la tecnología de la harina de maíz. En R. Bressani, J.E. Braham y M. Béhar, eds. Mejoramiento nutricional del maíz. Pub. INCAP L-3, Pp. 90-106. Guatemala, INCAP.
- Cuevas S., J. A., Miranda, S. C., y Sahagun, J. C.(1998).Cotejo experimental de variables utilizadas por agricultores tradicionales en la selección de semillas de maíz.*In: Memorias del XVII Congreso de fitogenética.*5-9 Octubre 1997. Sociedad Mexicana de Fitogenética. Pp 267.
- FAO. (2008). La producción mundial de cereales alcanzará un nivel record, pero sometida a la presión de una fuerte demanda. La industria de bio combustibles mantiene una alta demanda y precios. Sala de Prensa FAO. 16 de mayo. México, D. F.
- FAO 2009. El maíz en la nutrición humana. Departamento de agricultura. Pp 168. <http://www.fao.org/docrep/t0395s/T0395S03.htm>
- Fernández-Muñoz, J. L., Rojas-Molina, I., González-Dávalos, M. L., Leal, M., Valtierra, M. E., Martín-Martínez, E., Rodríguez, M. E. 2004. Study of calcium ion diffusion in components of maize kernels during traditional nixtamalization process. *Cereal Chemistry*, **81**: 65-69.
- Flores-Farias, R., Martínez-Bustos, F., Salinas-Moreno, Y., Rios, E. (2002). Caracterización of comercial nixtamalized maize flours. *Agrociencia* **36**: 557-567.
- Fonseca L., R. Aditivos e hidrocoloides en masa de nixtamal. Memorias. Primer congreso de Nixtamalización. Del maíz a la tortilla. (2004) .Pp 67.
- Gil M. A., A. Muñoz O., Carballo, A. C., Trinidad, A. S. (1995). El patrón varietal de maíz en la región sureste de la sierra purépecha.I. Variables importantes empleadas en su definición. *Rev. Fitoec. Mex.* 18: 163-173.
- Gómez, M. H., Rooney, L. W., Waniska, R. D., Plugfelder, R. L. (1987). Dry corn masa flour for tortilla and snack food production. *Cereal Foods World*, **32**:372.
- Gutiérrez, E., Rojas-Molina, I., Pons-Hernández, J., Guzmán, H. ,Aguas-Ángel, B., Arenas, J., Fernández, P., Palacios, A., Herrera, G., Rodríguez, M. E. 2007.Study of Calcium Ion diffusion in Nixtamalized Quality Protein Maize as a Function of the Cooking Temperature. *Cereal Chemistry*. **84**(2):186-194.



- Gutiérrez, E., Rojas-Molina, I., Rojas, A., Arjona, J. L., Cornejo-Villegas, M. A., Zepeda-Benítez, Y., Velázquez-Hernández, R., Ibarra-Alvarado, C., Rodríguez García, M. E. 2010. Microstructural changes in the maize kernel pericarp during cooking stage in nixtamalization process. *Journal of Cereal Science*: **51**, 81-88.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). (2008). Estados Unidos Mexicanos. V Censo Ejidal.
- Jackson, D. S., Rooney, L. W., Kunze, O. P. , Waniska, R. D. (1988). Alkaline processing properties of stress-cracked and broken corn (*Zea mays* L). *Cereal Chemistry* **65**:133-137.
- Klaus, J. L. y Karel, K. (1991). Handbook of Cereal Science and Technology. **23**(2): 321-325.
- La Jornada Diário. García, M. S. Agosto 12 (2009). México D. F.
- Lange, R. H. M y Hill, G.D. (1987). Plantas de interés Agrícola. Botánica, Ed. Acribia. Zaragoza España. Pp 120-143.
- Lutz, B. y Herrera, F. (2007). Organizaciones productoras de maíz en el Estado de México: Papeles de las instituciones e importancia de las coyunturas políticas. Ciencia Ergo-Sum. marzo-junio/ Vol. 14. Número 0001. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México. Unión de Asociados y Tratados. Pp: 15-26.
- Gaytán, M. Martínez, Figueroa-Cárdenas, J. D., Reyes, M. L., Vega, F., Rincón S, E., Morales, S. (2006). Microestructure of starch related to kernel hardness in corn. Revista Fototecnia Mexicana, Septiembre, año/2009, número especial 2. Sociedad Mexicana de fitotecnia , A. C. chapingo, México Pp. 135-139.
- Martínez-Bustos, F., Morales, S. E., Chang, Y. 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-Flores, H. E., Martínez, B. F., Figueroa, J. D. C., González-Hernández, J. (2002). Studies and biological assays in corn tortillas made from fresh masa prepared by extrusion and nixtamalization processes. *Journal Food Science*. **67**(3):1196-1199.
- Martínez-Herrera, M. L., y Lachance, P.A. (1979). Corn.(*Zea mays*)kernel hardness as an index of the alkaline cooking time for tortilla preparation. *Journal of food Science*, **44**:377
- Mohamed, A. A., Ashman, R. B., Kirleis, A. W. (1993). Pericarp thickness and other Kernel physical characteristics related to microwave popping quality of popcorn. *Journal of Food Science* **58**(2):340-342.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



- Moreno, M. E. (1984). Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Ed. UNAM. Instituto de Biología. México. Pp. 250-261.
- NMX-F-046-S-1980. Harina de maíz nixtamalizado. Norma Mexicana. Secretaria de fomento Industrial. Dirección de Normas.
- NMX-FF-034/1-SCFI-2002 Productos Alimenticios no industrializados para consumo humano- cereales- Parte 1 maíz para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado- Especificaciones y métodos de prueba.
- Muñoz O., A., y Cuevas J. A. S. (2000). Diversidad genética, su evolución y su sostenibilidad: maíz y cultivos contemporáneos. *In:Memorias del IV Simposio Internacional y V Reunión Nacional sobre Agricultura Sostenible*. 24 a 27 de octubre de 1999. Colegio de Postgraduados, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y Fundación Produce Michoacán. Pp: 341-348.
- Pandey, S., Vasal, S. K., de León, C., Ortega, A., Granados, G., Villegas, E. (1984). Development and improvement of maize populations. *Genetika*, 16: 23-42.
- Paredes-López, O., Serna-Saldívar, S. O., Guzmán Maldonado, H. S. (2000). Los alimentos mágicos de las culturas indígenas de México- El caso de la tortilla. 1ra.Edition. Colegio de Sinaloa. Culiacán, Sinaloa. 7-21 p.
- Paredes-López., O., Saharopulos-Paredes, M. E. (1983).Maize-A review of tortilla production technology. *Bakers Digest*.13:65-25
- Parsons M. D. B. (1983) Maíz. Ed.Trillas. Mexico D. F Pp 9-40.
- Puebla, (2009).Comunicación personal. Responsable del Comité de Tortilleros molineros del Distrito Federal y Estado de México.
- Reyes, C. P. (1990). El maíz y su cultivo.AGT(Ed).S.A.,1ª Edición. México,D.F. Paredes-López,O. y Saharópulos-Paredes,M.E1983.A review of totilla production technology. *Bakers Digest*,13:16:25.
- Rodriguez, M. E., (2008). Nixtamalización del maíz a la tortilla. Aspectos nutrimentales y toxicológicos.1ª Edición. México, D. F. Pp. 313.
- Rojas-Molina, J. I., Gutiérrez-Cortez, E., Palacios- Fonseca, A., Baños, L., Pons-Hernández, J. L, Pineda, G. P., Rodríguez, G. M. E. (2007) Study of Structural and thermal changes in endosperm of Quality Protein Maize during Traditional Nixtamalization Process. *Cereal Chemistry* **84**(4):304-312.



- Rojas-Molina, I., Gutiérrez, E., Cortés-Acevedo, M. E., Falcón, A., Bressani, R., Rojas, A., Ibarra, C., Pons-Hernández, J. L., Guzmán-Maldonado, S. H., Cornejo-Villegas, A., Rodríguez, M. E. (2008). Analysis of quality protein changes in nixtamalized QPM flours as a function of the steeping time. *Cereal Chemistry*, **85** (3):409-416
- Rojas-Molina, I., Gutiérrez, E., Rojas, A., Cortés-Álvarez, M., Campos-Solís, L.; Hernández-Urbiola, M.; Arjona, J. L., Cornejo, A., Rodríguez M. E. (2009). Effect of temperature and steeping time on calcium and phosphorus content in nixtamalized corn flours obtained by traditional nixtamalization process. *Cereal Chemistry*. **86** (5) : 516-521.
- Rooney, L. W. y Almeida-Domínguez, H. D. (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.
- Romero P. J., y Muñoz, A. O. (1996). Patrón varietal y selección de variedades de maíz para los sistemas agrícolas en la región de Tierra Caliente. *Agrociencia* **30**: 63-73.
- SAGARPA. (2008). El maíz. PIB agropecuario del país. No 269/02.México D.F
- Salinas, M. Y., y Arellano, J. L. (1989).Calidad nixtamalera y tortillera de híbridos de maíz con diferente tipo de endospermo. *Revista Fitomejoramiento Mexicano*. **12**:129-135.
- Salinas, M. Y., y Arellano J. L. Martínez, F. (1982). Propiedades físicas y químicas y correlaciones de maíces híbridos precoces para Valles Altos. *Archivos Latino americanos de nutrición*, **42**:161-167.
- Salinas, Y., Martínez, F., Gomez, J. (1992).Comparación de métodos para medir la dureza del maíz (*Zea mays L.*). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* **42**:59-63
- Sanchez-Armas, A. C. (1996). La tecnología en la Industria de la masa y la tortilla.In: La Industria de la masa y la tortilla: desarrollo y tecnología.Universidad Autónoma de México, Programa Universitario de Alimentos.Pp:163-172.
- Salinas, M. y Vázquez, C. (2003). Calidad de maíz para las Industrias molinero-tortillera y harinas nixtamalizadas. Memoria Técnica No.6, 61-65.
- Salinas, M. y Vázquez, C. (2006). Metodologías de análisis de la calidad nixtamalera-tortillera en maíz. Folleto técnico Núm. 23. INIFAP. Campo Experimental Valle de México. Chapingo, Edo. De México. México. 91 Pp.



-Salinas, M. Y., (2004) Calidad de maíz para la Industrias molinero-tortillera y de harinas nixtamalizadas. Memorias. Primer congreso de Nixtamalización. Del maíz a la tortilla. Pp 5.

-Salinas, M. Y., Vázquez, C. M. G., Ramírez, D. J. L.; Vidal, M. V. A (2008) Caracterización de maíces subtropicales del INIFAP para la producción de harinas nixtamalizadas y tortillas. Folleto técnico No. 2. Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro Campo Experimental Centro- Altos Jalisco.

-Serna-Saldívar, S. O., Tellez-Girón, A. Rooney, L. W. (1988). Production de tortilla chips from sorghum and maize. *Journal of Cereal Science*, **8**:275-284

-Serna-Saldívar, S. O., Almeida-Dominguez, H. D., Gómez, M. H., Bockholt, A. J., Rooney, L. W. (1991). Method to evaluate ease of pericarp removal of lime-cooked corn kernel. *Crop Science*, **31**:842-844.

-Serna-Saldívar, S. O., Gómez, M. H., Almeida-Dominguez, H. D., Islas-Rubio, A., Rooney, L. W. (1993). A method to evaluate the lime-cooking properties of corn. *Cereal Chemistry*, **66**:342-347.

-Serna-Saldívar, S. O. (1996). Química, Almacenamiento e Industrialización de los Cereales. AGT Editor, S.A. México, D.F. 524 p. ISBN 968-463-084-0.

-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. 27

-Skoog, D. A, West, D. M., F. J. Holler, Química Analítica, Ed. McGraw Hill, Interamericana, México, Sexta Edición, (1995), Pp.575.

-Trejo, G. A., Feria, M. A., Altamirano, W. C. (1982). The role of lime in the alkaline treatment of corn for tortilla preparation. In modification of proteins: foods, nutritional and pharmacological aspects. Feeney R.E, Whitaker, J. R. (Eds). Adv. Chem. ser. No. 198. American Chemical Society, Washington D.C. 245-262.

-Tortosa, M. E. Cap 1.E. Primo Yutera. Química Agrícola III: Alimentos. Edit. Alhambra 1ª Edición. México, D. F. (1982). Pp 28-46, 91-102.

-Twillman, T. J., White, P. J. (1988). Influence of monoglycerides on the textural shelf life and dough rheology of corn tortillas. *Cereal Chemistry* **65**(3): 253-257.

-Watson, S. A. (1987). Measurement and maintenance of quality. Cap.2, En: Corn: Chemistry and Technology. Watson, S.A. and Ramstad, P.E. Eds. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, MN, USA. 125-183.

-Watson, S. A. y Ramstad, P. E. (1987). Corn Chemistry and Technology. Cereal Chemistry. Inc. St Paul, Minnesota, U.S.A. 21-123.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



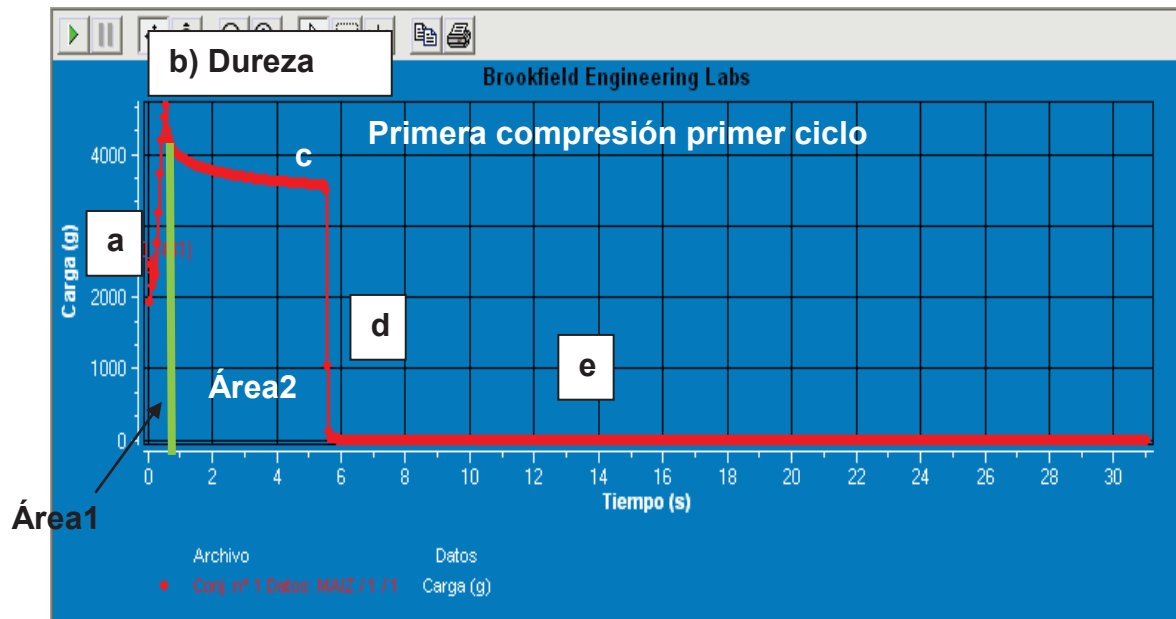
-White, P. J. y Johnson, L. A. (2003). Description, development, structure and composition of the corn kernel . Chapter 3. En : Corn Chemistry and Technology. 2 Ed. American Association of Cereal Chem. Inc. Minnesota, USA. Pp. 69-78.

-Yau, J. C., Bockholt, A. J., Smith, J. D., Rooney, L. W., Waniska, R. D.(1999). Maize Endosperm protein that contribute to endosperm lysine content. *Cereal Chemistry*, 76(5):668-672



Anexo

En la gráfica de carga vs tiempo se presentan resultados de la prueba de dureza para un grano de maíz de la variedad Roble.



PROCEDIMIENTO.

- Encender el equipo y la computadora.
- Conectar por el puerto de comunicación USB.
- Abrir el software del programa.
- Poner las especificaciones de la prueba en el programa: velocidad, precarga, tiempo de retardo y de la sonda así como los datos que calculará el software de la prueba.
- Poner la sonda (Punta cilíndrica).
- Calibrar el equipo para encontrar la distancia máxima de bajada de la sonda.
- Poner cada muestra sobre la base del equipo que en este caso es un grano de maíz (30 granos de maíz por variedad).
- Correr la prueba en modo de punción hasta fracturar y penetrar el grano.
- Obtener los datos de dureza(fuerza máxima aplicada)

Prueba para granos de maíz No. de muestras: 30

Área 1

CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LA MATERIA PRIMA

Grano: Roble

Variedad: criolla

Dimensiones:

Longitud: 13.49 mm

Ancho: 8.05 mm

Altura: 4.32 mm

CONDICIONES DE CARGA

Celda de carga: 10 Kg

Velocidad: 2mm/s

Tiempos: 5 segundos

Tipo de Test: Punción

Sonda: TA2/100 (Cilíndrica)

Elemento: TA-RT-K1 (mesa)

Dureza promedio: 0.1372 N

PARTES DE LA GRÁFICA.

- a) Modulo: Fuerza aplicada
- b) Representa la fuerza máxima (Pico máximo en la gráfica).
- c) La fuerza de descendencia (Momento después de la punción).
- d) Al retiro de la fuerza o la caída total (Retirada de la sonda).