



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

CUAUTITLAN CAMPO 1

**ESTABLECIMIENTO DEL TIEMPO DE COCCIÓN DE GRANOS
DE MAÍZ MEDIANTE VARIABLES CUANTITATIVAS DURANTE
EL PROCESO DE NIXTAMALIZACIÓN.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA EN ALIMENTOS

PRESENTA:

ALMA ISABEL HERNÁNDEZ SÁMANO

ASESORA: DRA. ELSA GUTIERREZ CORTEZ

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

2009.



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.

Este trabajo fue realizado en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan, campo 1, en el Laboratorio Experimental Multidisciplinario de Alimentos Nave 2000; en el laboratorio de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (FATA) de la Universidad Nacional Autónoma de México, campus Juriquílla Querétaro y en el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México, campus C.U.



AGRADECIMIENTOS

A la UNAM por darme la oportunidad de realizar mi formación académica y darme el orgullo de ser universitaria, siempre llevare en mi corazón a esta máxima casa de estudios.

A la FES Cuautitlan campo 1 por darme la estancia en sus instalaciones y las facilidades a lo largo de mi formación profesional.

A los profesores por todo su apoyo, por que son ellos quienes nos transmiten los conocimientos e impulsan a los estudiantes para llegar a ser un profesional, con valores y ética que no sólo nos sirven en el ámbito profesional, sino también en el personal, para ser personas productivas para la sociedad.

A mi asesora Dra. Elsa Gutiérrez Cortez, por todo su apoyo para realizar mi trabajo de tesis, gracias por sus enseñanzas, sus consejos, su valioso tiempo y su amistad. Es usted una gran persona, la admiro y la estimo ya que es un ejemplo a seguir.

A los integrantes del instituto del laboratorio de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (FATA) de la Universidad Nacional Autónoma de México, campus Juriquilla Querétaro; en el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México por su colaboración para realizar el trabajo experimental.

A la Maestra en Ciencias Pilar Lomelí del Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México por su apoyo.

A mi familia por todo su apoyo y por darme ánimo para concluir mis estudios.

A mis amigos y compañeros por el tiempo, las horas de estudio, las horas de ocio y de diversión que compartieron conmigo y por su apoyo incondicional.



DEDICATORIA

A mi hijo Arturo por existir y darle sentido a mi vida, por tu apoyo y tu paciencia, por las horas que no te dedique para hacer esto posible, por darme la fuerza para vivir y salir adelante, por ser la persona más importante de mi vida. Por creer en mí. Esto es por ti hijo. Te Amo.

A mi mamá Carmen por darme la vida y el ejemplo de ser alguien en la vida. Por impulsarme siempre a seguir mis estudios y mis sueños. Por tu apoyo incondicional. Por estar presente siempre que te necesito. Esto es algo que te debía, tú sabes por qué, al fin lo logre mamá. Te Amo.

A ti Abel por llegar a mi vida y darle otro sentido, por impulsarme a concluir mi carrera, mis metas, mis sueños. Por escucharme y estar ahí cuando te necesito. Por compartir conmigo momentos buenos y malos. Por tu apoyo incondicional y tus consejos. Por ser parte de mi mundo. Por tu amistad y por tu amor. Te Amo.

A mi hermana Yectivani por tu apoyo incondicional, por estar ahí siempre que te necesito. Espero ser un ejemplo para ti y que aunque la vida nos lleve por situaciones difíciles recuerdes que con amor, empeño y dedicación se puede conseguir todo lo que anhelamos en la vida. Te quiero.

A mi hermano Aehecatl por existir, por el tiempo que me has dedicado para apoyarme. Por los ratos que compartimos que aunque son pocos los aprecio mucho. Espero logres tus metas y seas un hombre de bien y no olvides que cuentas conmigo. Te quiero.

A toda mi familia: mi abuelita Esther, mis tías Micaela, Teresa, Mayte y mi prima Esther, por darme ánimo para seguir adelante y por su apoyo siempre que los necesité.

A mis amigos: Alicia, Melissa, Fátima, Fernando, Kary, Araceli, Isabel, Claudia y Carlos; por todos sus consejos, su apoyo moral y académico, por su amistad incondicional y sus palabras de aliento para siempre seguir adelante. Gracias amigos.



INDICE

	Página
Resumen	i
Índice	1
Introducción	6
Capítulo 1	
Antecedentes	
1. Antecedentes.....	8
1.1 Origen del maíz.....	8
1.2 Características del maíz.....	10
1.2.1 Clasificación del maíz.....	11
1.2.1.1 Clasificación botánica.....	12
1.2.1.2 Clasificación comercial.....	12
1.2.1.3 Clasificación estructural.....	15
1.2.1.4 Clasificación especial.....	16
1.2.1.5 Clasificación por su calidad.....	18
1.3 Estructura del grano de maíz.....	19
1.4 Composición química y valor nutritivo del maíz.....	21
1.5 Diferentes formas de consumo de maíz en el mundo.....	24
1.6 Maíces mejorados obtenidos por el Instituto de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).....	26
1.6.1 Maíz híbrido QPM-H368.....	26
1.6.2 Maíz PIONNER.....	28
1.7 Proceso de nixtamalización.....	28
1.8 Importancia de parámetros cuantitativos en el establecimiento del tiempo de cocimiento de los granos de maíz.....	32
1.9 Factores críticos en el procesamiento.....	34
1.10 Problemática de las mediciones en el tratamiento térmico- alcalino.....	35



Capítulo 2

Metodología		Página
1.	Objetivos.....	37
2.	Desarrollo experimental.....	38
2.1	Actividades preliminares.....	40
2.1.1	Caracterización del equipo piloto de nixtamalización tradicional.....	40
2.2	Caracterización de la materia prima.....	40
2.2.1	Análisis físico.....	40
2.2.1.1	Clasificación por tamaño.....	40
2.2.1.2	Dimensiones de los granos.....	40
2.2.1.3	Espesor del pericarpio del maíz.....	41
2.2.2	Análisis químico del grano nativo.....	41
2.2.2.1	Determinación de humedad.....	42
2.2.2.2	Determinación de proteínas.....	43
2.2.2.3	Determinación de cenizas.....	44
2.2.2.4	Determinación de calcio endógeno.....	46
2.3	Experimento piloto.....	49
2.4	Selección de variables independientes y niveles de variación....	50
2.5	Establecimiento de condiciones de trabajo (variables y niveles)..	51
2.6	Preparación y evaluación de las muestras.....	51
2.7	Análisis estadístico.....	58

Capítulo 3

Resultados y discusión		Página
3.	Análisis de resultados.....	59
3.1	Actividades preliminares.....	60
3.1.1	Caracterización del equipo prototipo de nixtamalización tradicional.....	60
3.2	Caracterización de la materia prima.....	62



3.2.1	Análisis Físico.....	62
3.2.1.1	Clasificación por tamaño.....	62
3.2.1.2	Dimensiones de los granos.....	62
3.2.1.3	Espesor del pericarpio de maíz.....	64
3.2.2	Análisis químico del grano nativo.....	64
3.2.2.1	% de humedad del grano nativo.....	64
3.2.2.2	Contenido de proteínas del grano nativo.....	65
3.2.2.3	Contenido de cenizas del grano nativo.....	66
3.2.2.4	Concentración de calcio endógeno.....	67
3.3	Experimento piloto.....	67
3.4	Selección de variables independientes y niveles de variación.....	67
3.5	Establecimiento de condiciones de trabajo (variables y niveles).....	68
3.6	Preparación y evaluación de las muestras.....	68
3.7	Resultados por objetivo durante el tratamiento térmico-alkalino.....	70
3.8	Análisis de resultados de los objetivos particulares.....	70
3.8.1	Análisis de resultados del objetivo particular 1.....	70
3.8.2	Análisis de resultados del objetivo particular 2.....	73
3.8.3	Análisis de resultados del objetivo particular 3.....	76
3.9	Análisis estadístico.....	78
	CONCLUSIONES.....	79
	RECOMENDACIONES.....	81
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82
	ACRÓNIMOS.....	88
	ANEXOS.....	89



LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
1	Clasificación botánica del maíz.....	12
2	Distribución ponderal de las principales partes del grano.....	21
3	Composición química de las partes anatómicas de maíz.....	21
4	Contenido de aminoácidos esenciales de las proteínas del germen y del endospermo del maíz.....	23
5	Dimensiones del grano de maíz QPM-H368C y PIONNER.....	63
6	Espesor del pericarpio de granos QPM-H368C y PIONNER.....	64
7	% de Humedad en granos de maíz nativo QPM-H368C y PIONNER.....	65
8	% de Proteína en granos de maíz nativo QPM-H368C y PIONNER.....	65
9	% de Cenizas en granos de maíz nativo QPM-H368C y PIONNER.....	66
10	% de calcio endógeno en granos de maíz QPM-H368C y PIONNER.....	67
11	Condiciones de preparación de las muestras.....	68



LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Mazorcas de maíz híbrido QPM-H368C.....	10
2	Granos de maíz amarillo.....	11
3	Corte longitudinal y transversal del grano de maíz.....	20
4	Diagrama de proceso de nixtamalización de productos nixtamalizados..	29
5	Desprendimiento de pericarpio entre los dedos del operario.....	33
6	Cuadro metodológico del desarrollo experimental.....	39
7	Espectrofotómetro de absorción atómica en el que se determinó el calcio.....	46
8-a	Llenado de vasos del digestor.....	48
8-b	Carrusel de microondas.....	48
9	Tanques de cocción y dedo térmico.....	49
10	Historia térmica obtenida en el equipo piloto de nixtamalización.....	50
11-a	Granos de maíz QPM-H368C precocidos.....	52
11-b	Granos de maíz PIONNER precocidos.....	52
12	Termobalanza modelo AD-4713.....	53
13	Potenciómetro modelo 6061.....	55
14	Pericarpios desprendidos de granos nixtamalizados.....	56
15	Estufa de vacío.....	57
16-a	Horno de microondas.....	58
16-b	Espectrofotómetro de absorción atómica.....	58
17	Desprendimiento de pericarpio de maíz QPM-H368C.....	59
18	Equipo piloto de nixtamalización tradicional.....	61
19-a	Clasificación de tamaño de granos de maíz QPM-H368C.....	62
19-b	Clasificación de tamaño de granos de maíz PIONNER.....	62
20	Historia térmica para las temperaturas de 72, 82 y 92 °C.....	69
21	Gráfica de Humedad de granos de maíz QPM-H368C.....	71
22	Gráfica de Humedad de granos de maíz PIONNER.....	72
23	Gráfica de pH de granos de maíz QPM-H368C.....	74
24	Gráfica de pH de granos de maíz PIONNER.....	75
25	Gráfica de concentración de calcio de granos de maíz QPM-H368C.....	76
26	Gráfica de concentración de calcio de granos de maíz PIONNER.....	77



RESUMEN

En México el tratamiento térmico-alkalino o etapa de cocción del proceso de nixtamalización ha permitido un amplio intervalo de temperaturas desde 70-92 °C, las cuales se utilizan de acuerdo a la zona geográfica de la República Mexicana y a las costumbres familiares. El tiempo de cocción se establece cuando el pericarpio se desprende de los granos de maíz al frotarlo el operario entre sus dedos. Esto hace que la evaluación sea muy subjetiva de ahí la necesidad de contar con parámetros cuantitativos para definir la etapa. La presente tesis profesional consistió en el desarrollo y aplicación de una nueva metodología para establecer el tiempo de cocción. Se utilizaron dos variedades de maíz de dureza intermedia, PIONNER y QPM-H368C. Los granos de maíz fueron sometidos a tratamiento térmico-alkalino a tres temperaturas de manera independiente 72, 82 y 92 °C. Las unidades experimentales se obtuvieron cada cinco minutos para evaluarse con parámetros fisicoquímicos como: el pH de la muestra de maíz con un potenciómetro, la humedad del grano por termobalanza y la concentración de calcio fijado en pericarpio por espectroscopia de absorción atómica. El parámetro que resultó más adecuado fue la humedad del grano debido a que se puede obtener de manera inmediata. La concentración de calcio fijado fue la más precisa, pero requiere de mayor tiempo y trabajo experimental. Sin embargo, la determinación de pH no reportó cambios significativos importantes; probablemente porque los tiempos de cocción para el maíz QPM-H368C se establecieron de 50, 60 y 90 minutos y para el maíz PIONNER fueron 80, 110 y 140 minutos para las temperaturas de 72, 82, y 92 °C correspondientemente. Los valores de humedad que se obtuvieron de la experimentación se encontraron dentro del intervalos de 34.9-36.2 %, los de pH de 7.55-7.75 y los de concentración de calcio en el pericarpio de 2.24-2.36 %. Estos valores también fueron correlacionados con el desprendimiento del pericarpio. La metodología establecida para la primera etapa del proceso de nixtamalización puede ser aplicada para cualquier variedad de granos de maíz y para cualquier temperatura, ya que las determinaciones se obtienen directamente de los granos y los parámetros de medición son cuantificables.



INTRODUCCIÓN

El tratamiento térmico-alkalino corresponde a la primera etapa del proceso de nixtamalización. Esta etapa en la mayor parte de los casos es un paso obligado al que se someten los granos de maíz para después utilizarse como materia prima en la elaboración de una gran variedad de alimentos como harinas, tortillas, tamales, tostadas, totopos, botanas, cereales para desayuno, entre otros. La cocción de los granos de maíz, es una de las etapas críticas del proceso de nixtamalización (Serna-Saldívar, 1996).

En la República Mexicana las condiciones del proceso de nixtamalización tradicional varían de acuerdo a la zona geográfica, las costumbres del lugar y la tradición de las familias, por mencionar algunas de ellas. Estas situaciones son comunes cuando no existe una estandarización del proceso, lo que no ha permitido poder extrapolar datos a nivel industrial. Se requiere entonces tener primero los parámetros controlados y las historias térmicas que aseguren el tratamiento al grano, en otras palabras estandarizar el proceso y posteriormente analizar los cambios al maíz mientras se procesa a diferentes condiciones, para tener un marco referencial en el cual se pueda operar y aplicar a la Industria. (Trejo-González et al., 1982; Serna-Saldívar et al., 1988).

La Norma Oficial Mexicana NMX-FF-034/1-SCFI-2002 establece que existen algunas determinaciones indirectas para poder establecer los tiempos de cocción para cada variedad como son; el índice de flotación, el peso hectolítrico y la dureza. Los resultados de estas determinaciones dependen de algunas características de las diferentes variedades, que al ser combinadas pueden dar resultados similares y con eso definir tiempos incorrectos de cocción. Algunos atributos del grano que se consideran son: el espesor del pericarpio, la densidad volumétrica, la textura, la densidad relativa, la relación endospermo vítreo: harinoso y la dureza del grano.

Martinez-Guiragossian. (1989) menciona que la dureza del grano es una propiedad intrínseca que a su vez depende de las propiedades fisicoquímicas del grano y que ésta puede, de manera indirecta, establecer algunas de las condiciones de transporte, almacenamiento y hasta el tiempo de cocimiento. Salinas et al. (1982) en estudios que realizó sobre la dureza de los granos concluyó que es arriesgado atribuir que la dureza pueda por si sola definir condiciones de proceso, fundamentando esto en las determinaciones de dureza que realizó por varios métodos: el índice de perlado, el índice de flotación, el peso hectolítrico, la densidad, la textura del endospermo, la reflectancia en



infrarrojo y por el microdurómetro de granos de maíz. El análisis comparativo entre los métodos le permitió concluir que hay una alta variabilidad entre las técnicas utilizadas, por lo que no es muy confiable utilizar solo ésta determinación.

Por otro lado el parámetro utilizado para establecer el tiempo de cocción a nivel artesanal y en establecimientos semi-industriales en México es el frotamiento de los granos de maíz entre los dedos del operario durante la etapa de cocción, cuando el pericarpio se desprende, en ese momento concluye la etapa de cocimiento (Trejo et al., 1982). Este método cualitativo ha sido aplicado por muchas generaciones, dándoles resultado. Sin embargo, es muy subjetivo porque depende del criterio del operario que realice la determinación y no es cuantificable (Gutiérrez et al., 2007).

La falta de criterios cuantitativos, y la no existencia de parámetros aplicados directamente a la primera etapa del proceso de nixtamalización, motivaron a realizar estudios para establecer el tiempo de cocción. La propuesta es utilizar dos variedades de granos de maíz híbridos (QPM-H368C y PIONNER) con características similares basadas en la dureza y posteriormente realizar un análisis comparativo entre ellos. El propósito de estos estudios es establecer una nueva metodología evaluando tres parámetros fisicoquímicos: la humedad del grano, el pH de la muestra de maíz y la concentración de calcio fijada en el pericarpio durante el cocimiento. Esta metodología puede ser una aportación tecnológica importante para la industria de procesamiento de maíz.

Actualmente México presenta una problemática para abastecer la demanda de maíz a nivel nacional, por lo que el uso de híbridos representa una pieza clave para elevar la producción (Lutz y Herrera, 2007). El 59.7 % de la producción nacional de maíz es destinada al consumo humano (SAGARPA, 2007).

Hoy en día se requieren metodologías rápidas y eficientes para caracterizar híbridos y una cantidad muy grande de maíces criollos que se cultivan en México para saber si pudieran tener potencial para el proceso de nixtamalización o bien, seleccionarlos para otros destinos como son: el proceso industrial para producir harinas, atoles, almidones y productos diversos, o para aplicarlos en el desarrollo de mejores derivados en los cultivos. Además esto favorece el consumo de insumos nacionales con costos menores y mejora la calidad de los productos nixtamalizados.



I. ANTECEDENTES

1.1 Origen del maíz

El cultivo del maíz tuvo su origen, con toda probabilidad, en América Central, especialmente en México, de donde se difundió hacia el norte hasta el Canadá y hacia el sur hasta la Argentina. La evidencia más antigua de la existencia del maíz, es de aproximadamente unos 7000 años de antigüedad, ha sido encontrada por arqueólogos en el Valle de Tehuacán (México) pero es posible que hubiese otros centros secundarios de origen en América. Este cereal fue un artículo esencial en las civilizaciones maya y azteca y jugó un importante papel en sus creencias religiosas, festividades y nutrición; ambos pueblos incluso afirmaban que la carne y la sangre estaban formadas por maíz. La supervivencia del maíz más antiguo y su difusión se debió a los seres humanos, quienes recogieron las semillas para posteriormente plantarlas. 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. Mangelsdorf y Reves. (1939) han hecho notar que el maíz se cultiva en todas las regiones del mundo aptas para actividades agrícolas y que se recoge en algún lugar del planeta todos los meses del año. Crece desde los 58° de latitud norte en Canadá y en Rusia hasta los 40° de latitud sur en el hemisferio meridional. Se cultiva en regiones por debajo del nivel del mar en la llanura del Caspio y a más de 4 000 metros de altura en los Andes peruanos.

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. Por otro lado, los indicios recogidos mediante estudios de botánica, genética y citología apuntan a un antecesor común de todos los tipos existentes de maíz. La mayoría de los investigadores creen que este cereal se desarrolló a partir del teosinte, *Euchlaena mexicana Schrod*, cultivo anual que posiblemente sea el más cercano al maíz (Castañeda, 1990). Otros creen, en cambio, que se originó a partir de un maíz silvestre, hoy en día desaparecido. La tesis de la proximidad



entre el teosinte y el maíz se basa en que ambos tienen 10 cromosomas y son homólogos o parcialmente homólogos.

Ha habido introgresión (retrocruzamiento reiterado) entre el teosinte y el maíz y sigue habiéndola hoy en día en algunas zonas de México y Guatemala donde el teosinte puede crecer en los cultivos de maíz. Galinat. (1977) señala que siguen siendo viables esencialmente dos de las diversas hipótesis sobre el origen del maíz: la primera es que el teosinte actual es el antecesor silvestre del maíz; la segunda es que una forma desaparecida de maíz tunicado fue el antecesor del maíz, y el teosinte fue, en cambio, una forma mutante de dicho grano tunicado.

En cualquier caso, la mayoría de las variedades modernas del maíz proceden de material obtenido en el sur de los Estados Unidos, México, América Central y América del Sur (Reyes, 1980).

El maíz, junto con el trigo y el arroz es uno de los cereales más importantes del mundo, aporta elementos nutritivos a los seres humanos y a los animales y es una materia prima básica de la industria de la transformación de cereales, con los cuales se pueden producir almidón, aceite y proteínas, bebidas alcohólicas, edulcorantes alimenticios y desde hace poco, combustible. La planta tierna, empleada como forraje, se ha utilizado con gran éxito en las industrias lácteas y cárnicas. Tras la recolección del grano, las hojas secas y la parte superior, incluidas las flores, aún se utilizan hoy en día como forraje de calidad relativamente buenas para alimentar a los rumiantes de muchos pequeños agricultores de los países en desarrollo. Los tallos erectos, que en algunas variedades son resistentes, se utilizan para construir cercas y muros duraderos (Código FAO: 86 AGRIS: S01, 1998).

Las variedades cultivadas fundamentalmente para alimentación comprenden el maíz dulce y el reventador, aunque también se usan en buena medida el maíz dentado, el amiláceo o harinoso y el cristalino; este último también se utiliza para pienso. Y en la actualidad existen muchas variedades de maíces híbridos y mejorados con algunos fines de rendimiento por hectárea con alta resistencia a plagas y a climas diferentes; como es el caso de las variedades de maíz QPM's (Híbridos de Alta Calidad Proteica) en la figura 1 se muestra la variedad de maíz QPM-H368C.



El maíz normal inmaduro en la panoja es objeto de gran consumo, hervido o tostado. El maíz harinoso es un grano con endospermo blando que se emplea mucho como alimento en México, Guatemala y los países andinos. El maíz de tipo dentado tiene un endospermo calloso y vítreo a los lados y en la parte posterior del grano, en tanto que el núcleo central es blando. El maíz de tipo cristalino posee un endospermo grueso, duro y vítreo, que encierra un centro pequeño, granuloso y amiláceo (Código FAO: 86 AGRIS: S01, 1998).



Figura 1. Mazorcas de maíz híbrido QPM-H368C

1.2 Características del maíz

Botánicamente, el maíz (*Zea mays*), pertenece a la familia de las gramíneas y es una planta anual 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. Las panojas a menudo, una por tallo, son las estructuras donde se desarrolla el grano, en un número variable de



hileras (12 a 16), produciendo de 300 a 1000 granos, que pesan entre 190 y 300 g. El peso depende de las distintas prácticas genéticas, ambientales y de cultivo. El grano constituye aproximadamente el 42 % del peso en seco de la planta. El maíz es a menudo de color blanco o amarillo, aunque también hay variedades de color negro, rojo y jaspeado. En la figura 2 se muestran granos de maíz amarillo. Hay varios tipos de grano, que se distinguen por las diferencias de los compuestos químicos depositados o almacenados en él (Watson y Ramstad, 1987).



Figura 2. Granos de maíz amarillo

1.2.1 Clasificación del maíz

La clasificación del maíz puede ser botánica o taxonómica, comercial, estructural, especial y en función de su calidad.



1.2.1.1 Clasificación botánica

En la tabla 1 se presentan las características botánicas del maíz.

Tabla 1. Clasificación botánica del maíz

Nombre común	Maíz
Nombre científico	<i>Zea mays</i>
Familia	<i>Gramíneae</i>
Género	<i>Zea</i> : maíz
Especie	<i>Mays</i> : maíz cultivado o domesticado
Reino	Vegetal
División	<i>Tracheophyta</i> : plantas con tejidos vasculares
Subdivisión	<i>Pteropsidae</i> : con hojas grandes
Clase	<i>Angiospermae</i> : plantas con flor; semillas dentro de frutos
Subclase	<i>Monocotiledoneae</i> : con un solo cotiledón
Grupo	Glumiflora
Orden	Graminales: generalmente hierbas

Fuente: (White y Johnson, 2003)

1.2.1.2 Clasificación comercial

Desde el punto de vista de compra-venta, este cereal se clasifica de la siguiente manera:

- **Maíz blanco**

La norma oficial mexicana NMX-FF-034/2-SCFI-2003 define al maíz blanco como aquel maíz que presenta un valor menor o igual a 5% de maíces amarillos y que contenga como



máximo 5% de maíces oscuros (rojo, azul y morado). Un ligero tinte cremoso, pajizo o rosado, no influye para designarlo.

El departamento de Agricultura de Estados Unidos indica que es aquel maíz formado por granos blancos, que pueden contener hasta 2% como máximo de otros colores. Los granos blancos ligeramente teñidos de color paja o rosa, se consideran como blancos con la condición de que el color rosa cubra menos del 50% de la superficie del grano; si la cobertura del color rosa es igual o mayor a 50%, serán considerados como granos de otros colores diferentes.

Las industrias harineras y almidoneras prefieren este maíz debido al color blanco que imparte al producto terminado. En Estados Unidos es usado para hacer hojuelas de maíz y harinas gruesas; usualmente tiene un precio mayor que el maíz amarillo. Las prácticas culturales para su producción son similares a las del maíz amarillo, el único inconveniente es el efecto del grano de polen proveniente del maíz amarillo, ya que producirá un grano ligeramente amarillo.

- **Maíz amarillo**

La norma oficial mexicana NMX-FF-034/2-SCFI-2003 lo define como aquel maíz de granos amarillos o amarillos con un trozo rojizo, y que tenga un valor menor o igual a 6% de maíces de otro color.

El departamento de Agricultura de Estados Unidos menciona que es aquel maíz compuesto por granos de color amarillo, y puede contener como máximo 5% de maíces de otros colores. Los granos ligeramente teñidos de rojo se considerarán como amarillo siempre y cuando el color rojo oscuro cubra menos del 50%.

Este maíz es procesado en la industria almidonera, ya que el gluten forrajero es muy codiciado por los ganaderos, debido a su contenido de carotenos (precursores de la vitamina A). También se utiliza en la fabricación de frituras de maíz, dada la coloración final del producto.



- **Maíz mezclado**

La norma oficial mexicana NMX-FF-034/2-SCFI-2003 estipula dos tipos diferentes de mezclado:

- a) Mezclado 1.

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

- b) Mezclado 2.

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

El Departamento de Agricultura de Estados Unidos menciona que todo maíz blanco y amarillo que presenten valores que sobrepasen el 2% y el 5% respectivamente de granos de otros colores, será clasificado como mezclado.

- **Maíz pinto**

La norma oficial mexicana NMX-FF-034/2-SCFI-2003 lo define como todo aquel maíz blanco, amarillo y mezclado que contenga más del 5% de maíces oscuros (rojo, azul y morado). El Departamento de Agricultura de Estados Unidos no tipifican este tipo de maíz; probablemente se debe a que en estos países la variabilidad en colores no es tan amplia como en México.

Este maíz no es muy aceptado por la industria harinera, ya que la imparte una coloración no deseada al producto final. Para la determinación del color en México se utiliza una submuestra de 100 g de la muestra original, después de haber separado las impurezas. El Departamento de Agricultura de Estados Unidos establece que esta determinación debe ser hecha de una submuestra de 250 g obtenida de la muestra original, después de quitar el grano quebrado y las impurezas.



1.2.1.3 Clasificación estructural

A excepción del tunicado, el maíz puede dividirse en varios tipos (razas o grupos), en función de calidad, cantidad y patrón de composición del endospermo. Estos son: el maíz dentado, cristalino, amiláceo (harinoso), dulce y palomero.

- **Maíz dentado (*Zea mays indentata*)**

Tiene una cantidad variable de endospermo corneo (duro) y harinoso (suave). La parte cornea está a los lados y detrás del grano, mientras que la porción harinosa se localiza en la zona central y en la corona del grano. Se caracteriza por una depresión o “diente” en la corona del grano, que se origina por la contracción del endospermo harinoso a medida que el grano va secándose. Se usa principalmente como alimento animal, materia prima industrial y para la alimentación humana. Se estima que el 95% de la producción de Estados Unidos es con variedades de este tipo (FAO, 1992).

- **Maíz cristalino (*Zea mays indurata*)**

Contiene una gruesa capa de endospermo cristalino, que cubre un pequeño centro harinoso. Generalmente el grano es liso y redondo. En Estados Unidos se produce poco. Se siembra ampliamente en Argentina, en otras áreas de Latinoamérica y al sur de Europa, donde se usa como alimento animal y humano. Según el Departamento de Agricultura de Estados Unidos, este tipo de maíz es de cualquier clase (blanco, amarillo o mezclado), y consiste en un 95 % o más de maíz cristalino (FAO, 1992).

- **Maíz harinoso (*Zea mays amilaceo*)**

Se caracteriza por un endospermo harinoso, sin endospermo cristalino. Es de producción limitada en Estados Unidos. Es muy común en la región andina del sur de América. En México este tipo de maíz se usa para hacer pozole (FAO, 1992).

- **Maíz dulce (*Zea mays saccharata*)**

En este tipo de maíz, la conversión del azúcar en almidón es retardada durante el desarrollo del endospermo. En Estados Unidos se consume en estado lechoso-masoso, como vegetal enlatado o consumo fresco (FAO, 1992).



- **Maíz palomero (*Zea mays everta*)**

Es una de las razas más primitivas y es una forma extrema de maíz cristalino. Se caracteriza por un endospermo cristalino muy duro, que solamente tiene una pequeña porción de endospermo harinoso. Sus granos son redondos (como perlas), o puntiagudos (como el arroz). Aproximadamente el 0.1% de la superficie maicera total de Estados Unidos, se siembra con este cultivar, que se emplea principalmente para consumo humano en la forma de rosetas (palomitas), dada su característica de expansión al someterse al calor. La capacidad de reventar parece estar condicionada por la proporción relativa de endospermo córneo, en el que los gránulos de almidón están incrustados en un material coloidal tenaz y elástico que resiste la presión de vapor generada dentro del grano al calentarse, hasta que alcanza una fuerza explosiva, que lo hace aumentar su volumen original unas 30 veces (FAO, 1992).

- **Maíz tunicado (*Zea mays tunicata*)**

Se caracteriza porque cada grano está encerrado en una vaina o túnica. La mazorca está cubierta con “espatas” como los otros tipos de maíz. Se usa como ornamento o como fuente de germoplasma en los programas de fitomejoramiento (FAO, 1992).

1.2.1.4. Clasificación especial

El maíz puede ser alterado por medios genéticos para producir modificaciones en el almidón, proteína, aceite y otras propiedades, como se menciona a continuación.

- **Maíz céreo (*waxi*) (*Zea mays cerea*)**

Fue introducido en Estados Unidos en 1908. La principal fuente de almidón con base en amilopectina antes de la Segunda Guerra Mundial fue la tapioca, importada de Asia Central; la ocupación de esa área por los japoneses cortó su suministro y se creó un programa de emergencia para producir el maíz ceroso a nivel comercial. Después de la guerra el maíz ceroso continuó como una importante fuente de almidón con base en amilopectina. La diferencia con el almidón del maíz común, está en que el almidón del maíz céreo está compuesto de 100% amilopectina y se tiñe de color café rojizo con una solución al 2% de yoduro potásico, mientras que el almidón del maíz común contiene 73% de amilopectina y



27% de amilosa, además se tiñe de color azul en presencia de la solución anteriormente mencionada. Este maíz se usa como materia prima para la producción de almidón céreo, en la molienda húmeda del maíz en Estados Unidos, Canadá, Europa y México. Los tipos de almidón céreo (nativo y modificado) son comercializados a nivel mundial debido a su estabilidad y a otras propiedades de sus soluciones. Son usados por la industria alimenticia como estabilizadores en pudines, salsas, pasteles, aderezos de ensaladas; en la industria papelera, en la elaboración del papel engomado como adhesivo.

De acuerdo con el Departamento de Agricultura de Estados Unidos, el maíz ceroso es el maíz de cualquier clase, que consiste en un 95% o más de maíz ceroso identificado por un análisis de laboratorio con base en una solución de yodo (FAO, 1992).

- **Maíz de alta amilosa, amilomaíz o ambos**

Es el nombre genérico usado para designar al maíz que tiene un contenido alto de amilosa (50%). Este grano se produce exclusivamente para la industria húmeda del maíz. Hay dos tipos desarrollados comercialmente: el que tiene un contenido de amilosa entre 50 y 60% y otro que contiene entre 70 y 80%.

El almidón de maíz de alto contenido de amilosa es usado en la industria textil y como adhesivo en la manufactura de cartón corrugado (FAO, 1992).

- **Maíz de alta lisina**

Este es el nombre genérico para el maíz que tiene un mejor balance de aminoácidos y por consiguiente, una mayor calidad de proteína para alimento humano o animal, en comparación con el tipo dentado ordinario, que es deficiente en lisina.

En 1964 se descubrió que el nivel de lisina es controlada genéticamente por un gen recesivo (opaco-2), que reduce el contenido de zeína en el endospermo e incrementa el porcentaje de lisina. La investigación agronómica con este maíz, indica que es ligeramente bajo en productividad y alto en humedad comparado con el maíz normal. Además el grano es suave y más sensible al daño. La investigación actual con híbridos más sofisticados indica que estas características (rendimiento y grano suave) pueden mejorarse (FAO, 1992).



1.2.1.5. Clasificación por su calidad

La calidad comúnmente es asociada con el grado de excelencia de un producto o material. Finney (1973) La define como una mezcla de características que diferencian una unidad de otra (del mismo producto) y que son significativas en la determinación de la aceptación de esa unidad por el comprador. Los países que usan el maíz para alimento humano, trabajan para mejorar su calidad.

En México, el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) es la dependencia oficial que realiza las investigaciones en los principales cultivos; para lograrlo dispone de 11 centros de investigación y de 54 campos experimentales ubicados en las principales áreas agrícolas, para la obtención de variedades mejoradas y de paquetes tecnológicos para los diferentes cultivos.

Además, ha suscrito convenios de colaboración y coordinación con institutos nacionales e internacionales, como el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), cuyo programa de investigación consta de dos etapas: la primera (unidad de apoyo), maneja un banco de germoplasmas que contiene más de 13.000 colecciones procedentes de 46 países, las nuevas introducciones y 29 complejos germoplásmicos que poseen adaptación climática, madurez, color de grano y textura específica; en la segunda etapa se suministran genotipos superiores a la unidad avanzada, que se dedica al manejo de poblaciones de maíz normal y con alta calidad proteica.

Las compañías privadas, debido a problemas inherentes al proceso industrial, diseñan su ideotipo para obtener un producto de mejor calidad y ser más competitivas en el mercado nacional e internacional (CIMMYT, 1994).

Algunas empresas realizan estudios a híbridos de maíz y a maíces criollos, producidos en localidades cercanas para darles uso según las características de cada maíz, para cubrir sus necesidades, aplicándoles el proceso adecuado, ya sea para producir harinas de maíz nixtamalizado, obtener almidón, aceite y otros derivados.



1.2 Estructura del grano de maíz

El fruto de la planta del maíz se llama comercialmente grano, botánicamente es un cariósido y agrícolamente se le conoce como semilla. Está formado por las siguientes partes:

- **Pericarpio:** Cubierta del fruto de origen materno, se conoce como testa, hollejo o cáscara.
- **Capa de aleurona:** Capa de células que cubre por completo al endospermo y que es difícil de separar de él, ésta es de naturaleza proteica.
- **Endospermo:** Tejido de reserva de la semilla, que alimenta al embrión durante la germinación. Es la parte de mayor volumen en el grano. Hay dos regiones bien diferenciadas en el endospermo, el suave o harinoso y el duro o vítreo. La proporción depende de la variedad. Los maíces con mayor endospermo vítreo, generalmente se destinan para producción de harinas.
- **Escutelo o cotiledón:** Parte del embrión.
- **Embrión o germen:** Planta en miniatura con la estructura para originar una nueva planta, al germinar la semilla.
- **Capa terminal:** También conocida como cofia, es la parte que se une al olote, con una estructura esponjosa, adaptada para la rápida absorción de humedad. Entre esta capa y la base del germen se encuentra un tejido negro conocido como capa hilar, la cual funciona como un mecanismo sellante durante la maduración del grano. La formación de la capa negra indica que el grano ha alcanzado su madurez.

Wolf, *et al.* (1952) y Wolf, *et al.* (1969) han descrito adecuadamente la anatomía general y la estructura microscópica de estos elementos anatómicos.



En la figura 3 se muestran las estructuras físicas fundamentales del grano: el pericarpio, cáscara, o salvado; el endospermo; el germen o embrión; y la piloriza o cofia (tejido inerte en que se unen el grano y el carozo).

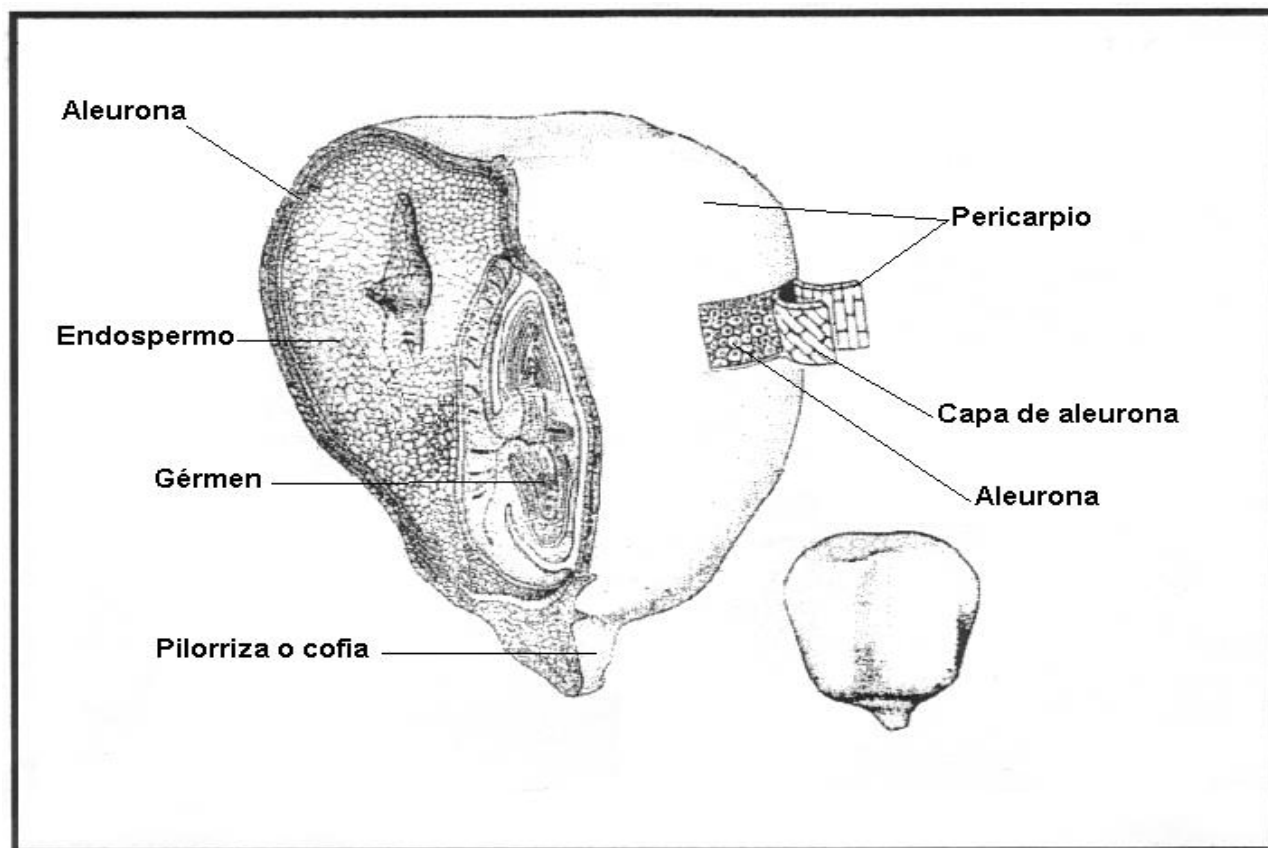


Figura 3. Corte longitudinal y transversal del grano de maíz Fuente: Wolf et al. (1969)

También han estudiado la estructura del maíz opaco-2 mejorado, antecesor de los híbridos QPM's y han determinado que se diferencia del común en lo tocante al endospermo: su matriz proteica es más delgada y presenta menos y más pequeños cuerpos proteicos, pues en el maíz opaco-2 se da una limitación de la síntesis de zeína.

Robutti, et al. (1974) y Hoseny y Wasson. (1974) estudiaron la distribución proteica, el contenido de aminoácidos y la estructura del endospermo del maíz opaco-2.

En la tabla 2 se muestra la distribución ponderal de las principales partes que conforman el grano de maíz.



Tabla 2. Distribución ponderal de las principales partes del grano

Estructura	% de distribución ponderal
Pericarpio	5-6
Aleurona	2-3
Endospermo	80-85
Germen	10-12

Fuente: Bressani y Mertz. (1958)

1.4 Composición química y valor nutritivo del maíz

Existe un número considerable de datos sobre la composición química del maíz y múltiples estudios han sido llevados a cabo para tratar de comprender y evaluar las repercusiones de la estructura genética de las variedades de maíz existentes, así como la influencia de los factores ambientales y las prácticas agronómicas en los elementos constitutivos químicos y en el valor nutritivo del grano y sus partes anatómicas. En la tabla 3 se presenta la composición química de las partes anatómicas del grano de maíz.

Tabla 3. Composición química de las partes anatómicas de maíz (g/100g base seca)

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

Valores Promedio aprox. * fch= Fibra cruda más celulosa

Fuente: Klaus y Karel, (1991).



La cubierta seminal o pericarpio se caracteriza por un elevado contenido de fibra cruda, aproximadamente el 87%, la que a su vez está formada fundamentalmente por hemicelulosa (67%), celulosa (23%) y lignina (0,1%) (Burge y Duensing, 1989).

El endospermo, en cambio, contiene un nivel elevado de almidón (87%), aproximadamente 8% de proteínas y un contenido de grasas crudas relativamente bajo (Bressani y Mertz, 1958).

Por último, el germen se caracteriza por un elevado contenido de grasas crudas, el 33% por término medio, y contiene también un nivel relativamente elevado de proteínas (próximo al 20%) y minerales. Se dispone de algunos datos sobre la composición química de la capa de aleurona (véase la Figura 3), elemento con un contenido relativamente elevado de proteínas (aproximadamente el 19%) y de fibra cruda. Entre el germen y la capa de aleurona se encuentran las proteínas de mayor valor nutricional.

El endospermo aporta la mayor parte, seguido por el germen y, en último lugar, por la cubierta seminal, que presenta sólo cantidades reducidas, mientras que en el teosinte cerca del 92% de las proteínas proceden del endospermo. (Bressani y Mertz, 1958) han llevado a cabo estudios sobre el contenido de proteínas del grano de maíz.

La distribución ponderal de las partes del grano, su composición química concreta y su valor nutritivo tienen gran importancia cuando se procesa el maíz para consumo humano; a este respecto, hay dos cuestiones de importancia desde la perspectiva nutricional: el contenido de ácidos grasos y el porcentaje de proteínas.

El contenido de hidratos de carbono y proteínas depende en medida considerable del endospermo; el de grasas crudas y, en menor medida, proteínas y minerales, del germen. La fibra cruda del grano se encuentra fundamentalmente en la cubierta seminal.

El aceite de germen suministra niveles relativamente elevados de ácidos grasos Bressani *et al.* (1990 a) y Weber (1987); cuando se dan ingestas elevadas de maíz, como sucede en determinadas poblaciones, como en América del sur donde consumen el grano desgerminado obteniendo menos ácidos grasos que quienes comen el maíz entero. Como se muestra en la tabla 2, el germen representa del 10 al 12% y el endospermo representa del 80 al 85 % del peso del grano.



En lo que se refiere a las proteínas, esta diferencia tiene igual importancia dado que el contenido de aminoácidos de las proteínas del germen difiere radicalmente del de las proteínas del endospermo. En la tabla 4, se presenta el contenido promedio de aminoácidos esenciales de las proteínas del germen y del endospermo, se expone que los aminoácidos esenciales se expresan en forma de porcentaje de mg por peso y de mg por g de N.

Tabla 4. Contenido de aminoácidos esenciales de las proteínas del germen y del endospermo del maíz

Aminoácido	Endospermo ^a		Germen ^b		Modelo FAO/OMS
	mg %	mg/g N	mg %	mg/g N	
Triptófano	48	38	144	62	60
Treonina	315	249	622	268	250
Isoleucina	365	289	578	249	250
Leucina	1 024	810	1 030	444	440
Lisina	228	180	791	341	340
Total azufrados	249	197	362	156	220
Fenilalanina	359	284	483	208	380
Tirosina	483	382	343	148	380
Valina	403	319	789	340	310

^a1,26 % de N

Fuente: Orr y Walt. (1957).

^b2,32 % de N



Así pues, si se analiza todo el grano, el contenido de aminoácidos esenciales refleja el contenido de aminoácidos de las proteínas del endospermo, pese a que la configuración de éstos en el caso del germen es más elevada y mejor equilibrada. No obstante, las proteínas del germen proporcionan una cantidad relativamente alta de determinados aminoácidos, aunque no suficiente para elevar la calidad de las proteínas de todo el grano. El germen aporta pequeñas cantidades de lisina y triptófano, los dos aminoácidos esenciales limitantes en las proteínas del maíz. Las proteínas del endospermo tienen un bajo contenido de lisina y triptófano, al igual que las proteínas de todo el grano (véase el cuadro 4, donde también figura el modelo de referencia de aminoácidos esenciales (FAO/OMS). Sin embargo los híbridos QPM's han sido mejorados en su calidad proteica. La deficiencia de lisina, triptófano e isoleucina ha sido perfectamente demostrada mediante numerosos estudios con animales (Howe y Gilfillan, 1965) y un número reducido de estudios con seres humanos (Bressani, 1971).

1.5 Diferentes formas de consumo de maíz en el mundo

El maíz se consume en muchas formas distintas, desde la sémola para polenta y pan de maíz, maíz para rosetas y productos como los copos (Rooney y Serna-Saldivar, 1987). El grano se fermenta para elaborar ogi en Nigeria (Oke, 1967) y otros países de Africa (Hesseltine, 1979), y se descascara, desgermina y precuece para elaborar arepas en Colombia y Venezuela (Instituto de Investigaciones Tecnológicas, 1971; Rodríguez, 1972).

En Egipto es muy común la elaboración de aish merahra, un pan plano de maíz que se sazona con alholva y se fermenta mediante una levadura de masa agria. En el Líbano se consume un producto similar llamado markouk. En Berlín, por ejemplo el maíz también se utiliza mucho para fabricar cerveza (FAO, 1990).

En las diferentes regiones de México se preparan diversos platillos con base en el maíz, variando de región en región, lo que depende de las tradiciones culturales, la disponibilidad de razas criollas y los gustos personales.

El maíz está presente diariamente en la dieta rural, que consiste básicamente en el consumo diario de tortillas, sal y chile. Con el maíz se preparan diferentes platillos además de las tortillas, como el atole, pozole blanco (pozolli), pozole de frijol (aporo), pozole dulce



(elozintli), pinole, tortillas de elote (camahuac), tamales de elote, pozole de elote (elote tierno con calabazas y chile (Matías-Alonso,1982). En otras regiones también se preparan bebidas fermentadas con el maíz que se conocen con diferentes nombres como pozol, teshuino y tejuino, entre otras.

El proceso de cocción del maíz en agua de cal (nixtamalización) es propio de México y América Central (Bressani, 1990), aunque actualmente se ha exportado la tecnología a otros países como los Estados Unidos. A partir del maíz cocido en agua de cal, se prepara una masa que es el ingrediente principal de muchos platos populares como el atole, bebida con gran variedad de sabores y tamales, (Bressani, 1983). También se utiliza como base de las enchiladas, los tacos (tortillas plegadas rellenas de carne, etc.) y las puposas, que se hacen con queso fresco colocado entre dos capas de masa y que se hornean como las tortillas. Cuando las tortillas se fríen y condimentan, da alimentos como migas de maíz y chilaquiles.

La planta del maíz nos ofrece el jugo de su caña verde como golosinas para preparar bebidas fermentadas; las hojas también verdes sirven para envolver las corundas (un tipo de tamal triangular) hechas de masa de maíz, con sus espigas se preparan tamales, los jilotes se comen cuando abunda la cosecha; y los elotes, brillantes como pequeños dientes, se desgranar y se convierten en sopas, esquites y otros guisos. De un maíz especial, el cacahuazintle, se elaboran los pozoles y molido da por resultado atoles, nieves y tortas de elote, huchepos o tamales (Barros y Buenrostro, 1997).

A causa de la gran importancia del maíz como alimento básico, principalmente de los países en desarrollo, y de su bajo valor nutritivo, sobre todo en lo que se refiere a las proteínas, se han hecho múltiples esfuerzos para mejorar el aprovechamiento biológico de sus nutrientes. Se han ensayado tres métodos: la manipulación genética, la elaboración y el enriquecimiento.

Muchos datos demuestran la considerable variabilidad de la composición química del maíz. Aunque se puede deber en parte al medio ambiente y a las prácticas de cultivo, la variabilidad de diferentes compuestos químicos es de origen genético y por consiguiente se puede modificar mediante la adecuada manipulación. Uno de los esfuerzos por introducir



maíz con mayor aporte de proteínas lo ha realizado el instituto de investigaciones agrícolas y pecuarias (INIFAP) quien ha generado una diversidad de híbridos para consumo humano.

1.6 Maíces mejorados obtenidos por el instituto de investigaciones agrícolas y pecuarias (INIFAP)

El INIFAP ha usado la siguiente nomenclatura para darle nombre a sus maíces mejorados.

Todos los nombres inician con una letra, que puede ser:

V = Variedad

H = Híbrido

VS = Variedad Sintética

HV = Híbrido Varietal

De las más de 160 variedades mejoradas obtenidas, algunas pueden considerarse como “ases” o “elites” por su aceptación y demanda. Algunos de estos materiales son: H-311, H-507, H-220, H-422, H-433, H-135, HV-313, M-335, etc, lo que llegan a tener esas semillas, hace que la demanda de estos maíces supere frecuentemente a la oferta, ya que prácticamente por si solas se promueven a pesar del poco esfuerzo de algunas instituciones por comercializarlas. Un ejemplo es el híbrido H-311 del que se habían llegado a vender aproximadamente 300 toneladas, pero se cree que este maíz puede tener un mercado superior con base en su excelente comportamiento, ya que es altamente redituable y productivo en relación a semillas (Duran, 1987).

El problema en el momento actual no es la existencia de genotipos de buen rendimiento, sino corregir el proceso que limita ofrecer semilla de alta calidad, así como el aumento de la producción de maíz, para disminuir gradualmente los niveles de importación de este cereal.

1.6.1 Maíz híbrido QPM

Los híbridos QPM's son un tipo de maíz, cuyo progenitor es el maíz opaco-2 de endospermo duro. (Gutiérrez *et al.*, 2006).



A menudo se proponen soluciones para mejorar la dieta, tales como el enriquecimiento de los alimentos básicos, la combinación de leguminosas o la creación de nuevas fuentes de proteínas. Sin embargo no es fácil cambiar los hábitos de las sociedades debido a la disposición de los alimentos en zonas marginadas donde existe hambre y desnutrición, así que las actividades de investigación y desarrollo deben ir a la par a fin de aumentar la aceptación de productos de consumo básico para las zonas mas desprotegidas. Esa fue la razón de trabajar diferentes variedades de maíz con mayor aporte nutrimental, así surge la necesidad de producir híbridos de maíz con alta calidad proteica (QPM). (Graham *et al.*, 1990).

El maíz de endospermo duro, es un maíz no apto para la nixtamalización tradicional debido a este tipo de endospermo, sin embargo el QPM que es un híbrido natural obtenido de un maíz de endospermo duro, si es apto debido a sus características morfológicas y estructurales (Gutiérrez *et al.*, 2007), pero hay pocos estudios realizados que comprueban su calidad nixtamalera.

El híbrido resultante QPM es significativamente mas pequeño que los granos convencionales utilizados para nixtamalizar, lo que le da como ventaja que sean mas tolerantes al maltrato y a la sobre-cocción; tiende a reducir pérdidas de materia durante el tratamiento térmico-alkalino debido a que el pericarpio presenta mayor espesor que el grano convencional; para los QPM's sus espesores se encuentran arriba de 87 μ y para granos convencionales de 60–80 μ , además de que también presenta mayor porcentaje de pericarpio por arriba del 7 % del grano total, lo que los hace ser granos que mantiene una importante cantidad de fibra dietética necesaria para la buena digestión del organismo humano después del agresivo proceso térmico de nixtamalización (Gutiérrez *et al.*, 2007). La proporción de endospermo córneo y harinoso en esta variedades de maíz se encuentra ente 4:2, casi el doble de almidón córneo con respecto a los maíces convencionales dentados los que más se utilizan para la producción de harinas. Pero además las variedades QPM presentan una textura de endospermo semicristalino por lo que requiere tiempos cortos de cocción durante la nixtamalización y produce productos con alta aceptabilidad y excelente sabor, rollabilidad y color (Serna-Saldivar *et al.*, 1990).



1.6.2 Maíz híbrido PIONNER

La mayor parte de los híbridos norteamericanos pertenecen a este grupo. El maíz PIONNER, es un maíz amarillo dentado, es de tipo semicristalino, se caracteriza por una depresión o “diente” en la corona de la semilla. A los lados y en la parte superior presenta almidón córneo o vítreo, mientras que el almidón suave se extiende hacia el ápice (corona) de la semilla. Al secarse y contraerse rápidamente el almidón suave. Los espesores de pericarpio para esta variedad se han registrado de 70-82 μ . La relación de endospermo córneo/ harinoso es 2:1.

Es un grano de dureza intermedia, de forma aplanada. Se utiliza en general para consumo humano y para uso industrial en la producción de harina de maíz y tortillas.

1.7 Proceso de nixtamalización

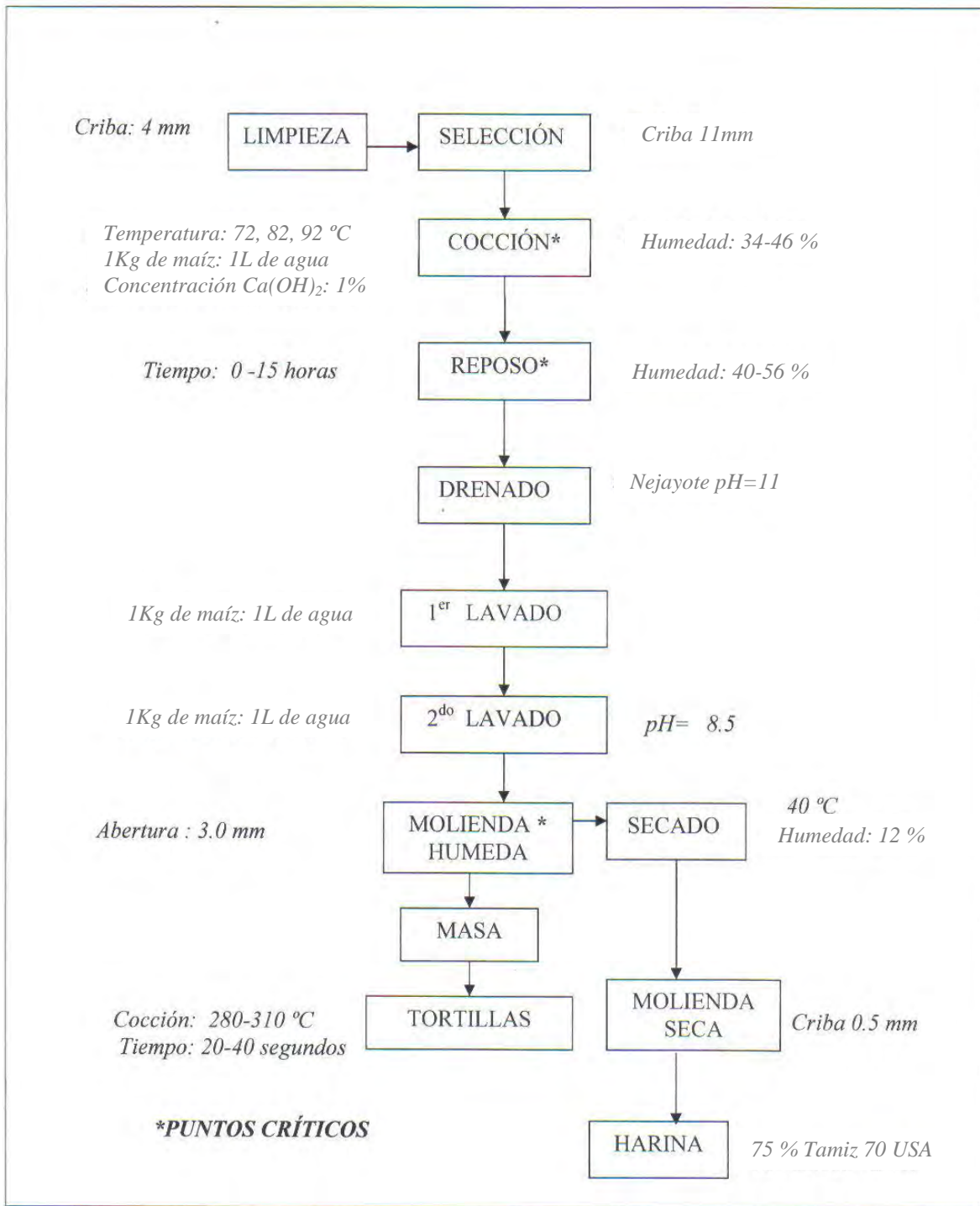
Este proceso fue desarrollado por los antiguos pueblos indígenas de América, junto con el fitomejoramiento del cultivo del maíz y su uso en la dieta cotidiana. Hay varios artículos que describen su tecnología, el proceso químico y los efectos nutritivos sobre las tortillas y otros productos hechos a partir de su masa (Bressani, 1990; Serna-Saldívar, 1990; Gómez y Rooney, 1994; Paredes *et al.*, 2000).

El tratamiento de los granos durante el proceso de nixtamalización es la cocción de los granos de maíz en cal, seguido por la remoción del pericarpio y su posterior molienda para hacer una masa.

La cocción en cal tiene varias ventajas: facilita la remoción del pericarpio, controla la actividad microbiana, mejora la absorción de agua, aumenta la gelatinización de los gránulos de almidón, también afecta positivamente el sabor, color, aroma, vida de anaquel, y valor nutricional de la tortilla al liberar a la niacina. (Serna-Saldivar *et al.*, 1987; Bressani, 1992). El remojo en agua de cal distribuye la humedad y la cal a todo el grano, lo cual proporciona el sabor característico de las tortillas.



En la figura 4 se muestra el diagrama del proceso de nixtamalización de productos nixtamalizados.



Fuente: Serna-Saldivar et al. (1988)

Figura 4. Diagrama de proceso de nixtamalización de productos nixtamalizados



La solución de cal para la nixtamalización está formada por dos partes de agua y una de cal. El tiempo de cocción varía de 30 minutos a una hora y media; la temperatura se mantiene por encima de los 68°C (Serna-Saldívar *et al.*, 1990). Después se suspende el calentamiento y se dejan reposar los granos por horas, esto varía desde 1 a 16 horas dependiendo del operario y las necesidades del producto. En seguida se lleva a cabo la molienda húmeda de los granos nixtamalizados, esta se realiza en un molino de discos, obteniéndose un granulado que al hidratarse produce una masa para hacer tortillas. Sin embargo existe otra vía de este proceso, después de moler los granos de maíz nixtamalizados, la masa húmeda pasa a través de varias etapas de secado, molienda, cernido, clasificación y mezcla para hacer distintos tipos de harina de masa seca (Gómez *et al.*, 1987; Serna Saldívar *et al.*, 1994). La harina de masa seca no se enrancia, como le ocurre a la harina de maíz molido de granos secos completos, y su vida útil puede llegar a un año. La disponibilidad de masa seca o harina de maíz nixtamalizado tiene el potencial para diversificar y aumentar el uso del maíz para el consumo humano.

Se han desarrollado métodos alternativos para hacer harina de masa seca tales como la cocción por extrusión (Bazua, *et al.*, 1979), la nixtamalización fraccionada (Figuroa *et al.*, 2003), micronizando los granos machacados en la solución diluida de cal por medio de un tratamiento térmico con lámparas infrarrojas (Hart, 1985).

El maíz nixtamalizado absorbe más agua que el maíz cocido exclusivamente en agua (Chang y Hsu, 1985). Durante el cocimiento alcalino, el contenido de humedad del grano se incrementa de 10-12 % a 32-36 %. El grano absorbe agua lentamente durante los primeros 15 minutos de cocimiento (Trejo-González *et al.*, 1982; Serna-Saldívar *et al.*, 1987). Durante el reposo el grano incrementa ampliamente el contenido de humedad y calcio hasta un 40-52 % distribuyéndose el agua de una manera mas uniforme a través de las estructuras del grano (Serna-Saldívar *et al.*, 1987; Gutiérrez *et al.*, 2007).

Los iones de calcio son transportados por el agua desde el extremo próximo al germen y el pericarpio. La absorción de calcio sigue un comportamiento similar a la absorción de agua pero es mucho más rápido (Trejo-González *et al.*, 1982; Gómez *et al.*, 1988). La mayor parte del calcio es retenido en el germen y pericarpio las pérdidas de materia seca que el maíz sufre durante el cocimiento y remojo, varían dependiendo del tipo y textura del maíz



así como de las condiciones de procesamiento y el método seguido. El nejayote (licor de cocción del grano) contiene alrededor de 2.8% de sólidos, de los cuales 60% es soluble y 29% son cenizas principalmente cal (Trejo-González *et al.*, 1982).

Pflugfelder *et al.* (1988) reportaron que en maíz procesado comercialmente, el total de pérdidas de materia seca se distribuyó entre el cocimiento y remojo (2.8-10.7 %) y el lavado (1.6-2.0 %). Serna-Saldívar *et al.* (1988) informaron un total de pérdidas de 8.4 % en maíz remojado y cocinado por 60 min, con temperaturas a 60 °C, y remojo por 8 horas; 70 % de las pérdidas ocurrieron durante el cocimiento alcalino, y el resto ocurrió durante el reposo y lavado.

Durante la molienda del Nixtamal, el grano es dañado físicamente debido a la fricción entre el material y las piedras utilizadas en su molienda, el cual se reduce con la adición de agua, debido a que se evita la generación excesiva de calor durante el proceso. De acuerdo con estudios realizados por Pflugfelder *et al.* (1988) durante las etapas de cocimiento, reposo y molienda del grano, del 4 al 7 % de los gránulos de almidón pierden birrefringencia, ya que es un indicativo de que algunos gránulos de almidón se gelatinizaron durante la molienda, lo cual es indeseable.

Cuando la masa es troquelada en formas circulares para su cocimiento, las altas humedades de la masa (hasta 55%), y temperaturas del comal (240 °C), producen cambios estructurales en el almidón, como pérdida de la mayor parte de su cristalinidad y birrefringencia (Serna-Saldivar *et al.*, 1990). En esta etapa ocurre un gran porcentaje de gelatinización, aunque aun no es completa.

Saldaña *et al.* (1884), reportaron que el tratamiento térmico-alcalino del maíz aumenta la disponibilidad de lisina y triptófano, resultando un producto de gran valor proteico. Las proteínas del maíz son de un bajo valor nutricional, particularmente debido a que la mayor parte de ellas se componen de zeína, proteína altamente deficiente en lisina y triptófano mejorando su calidad después de haber sido sujetas al proceso de nixtamalización, salvo algunos maíces como el QPM. (Bazúa, 1978).

Esto es atribuido probablemente a una disminución relativa de la solubilidad de la porción zeína, mientras que la glutelina de mayor valor nutricional, incremento su solubilidad



y con ello la disponibilidad de aminoácidos esenciales (Paredes-López y Saharópolus-Paredes, 1983).

La biodisponibilidad de la lisina de la glutelina se incrementa considerablemente así como la del triptófano; lo mismo ocurre con la niacina que originalmente se encuentra en forma biológicamente indisponible de niacinogeno (unida a otros constituyentes del grano), de tal forma que el tratamiento térmico-alcalino la liberan al hidrolizar los enlaces que la unen, haciéndola disponible (Badui, 1990).

El contenido de leucina en el maíz se reduce debido a su degradación durante el tratamiento térmico-alcalino, lo que hace que la relación de este aminoácido con la isoleucina mejore considerablemente y se incremente el aprovechamiento de ambos (Badui, 1990). Además este proceso incrementa significativamente los niveles de calcio, fósforo y hierro (Trejo-González *et al.*, 1982).

Trejo-González *et al.* (1982) reportaron que la nixtamalización beneficia desde el punto de vista nutricional, debido a que el calcio se incorpora al grano de maíz enlazándose con el almidón y aumentando aproximadamente tres veces la cantidad de calcio disponible con relación al determinado en muestras sin nixtamalizar, lo cual es importante por que evita la osteoporosis, que se manifiesta como fragilidad de los huesos por pérdida de masa del sistema óseo.

Ortega *et al.* (1986) indicaron que las fracciones albúminas, globulinas, zeínas y glutelinas son insolubilizadas durante el tratamiento térmico-alcalino. Las etapas de la nixtamalización y que el cocimiento de tortillas induce interacciones hidrofóbicas, enlaces cruzados y la desnaturalización de las fracciones proteicas.

1.8 Importancia de los parámetros cuantitativos en el establecimiento del tiempo de cocimiento de los granos de maíz

La experiencia que obtienen a través de los años, capacita de alguna manera a los encargados de controlar el proceso de nixtamalización para hacer los ajustes necesarios sobre la marcha, cuando tienen diferentes variedades de granos con el propósito de



optimizar la calidad de los productos, sin embargo cualquier tipo de medidas y de ajustes durante el proceso son puramente cualitativos.

Esto hace que una variable crítica carezca de control en el proceso, debido a que la industria nixtamalera no tiene herramientas de medición y análisis instrumentadas a lo largo de todo el proceso de transformación de maíz a nixtamal, masa, harinas nixtamalizadas o tortillas.

En la definición del tiempo de cocción en el proceso artesanal, se ha establecido como parámetro de medición el desprendimiento del pericarpio, el cual es frotado entre los dedos del operario que realiza el tratamiento, esto hace que el establecimiento de los tiempos de cocción para cada variedad sea muy subjetivo porque depende del operario en turno, el mejor ejemplo se muestra en la figura 5.



Figura 5. Desprendimiento de pericarpio entre los dedos del operario

Este trabajo consideró que era prioritario trabajar con la primera etapa del tratamiento térmico-alkalino, conocida principalmente como la cocción de los granos, porque ahí comienzan a promoverse los cambios fisicoquímicos que tendrán los granos en las siguientes etapas del proceso de nixtamalización.



Cabe destacar que deben ser parámetros que puedan ser cuantificables y aplicativos tanto a nivel industrial, como a los pequeños molineros, por esa razón se pensó en aplicar tres variables: La humedad de los granos de maíz, el pH de los granos y la concentración de calcio en el pericarpio en correlación con el desprendimiento del pericarpio.

1.9 Factores críticos en el procesamiento

Se han identificado algunos factores fundamentales para controlar el proceso de nixtamalización y se han definido como puntos críticos, los cuales se encuentran a través de todo el proceso de nixtamalización y son los siguientes:

- a) Establecimiento del tiempo de cocimiento de granos de maíz.
- b) Volumen de agua utilizada para cocer los granos de maíz.
- c) Perfil de tiempo-temperatura empleado durante la etapa de cocción y reposo del maíz.
- d) Cantidad de hidróxido de calcio adicionada durante el cocimiento.
- e) Número de veces y duración del mezclado en la etapa de cocción.
- f) Duración del tiempo de reposo de los granos de maíz en el líquido de cocimiento.
- g) Tiempo de drenado del nejayote.
- h) Forma, duración y número de lavados del nixtamal.
- i) Tiempo de drenado de las aguas de lavado.
- j) Condiciones de la molienda húmeda:
 - Velocidad de alimentación.
 - Abertura de los elementos molientes (discos de piedra o metal).
 - Tamaño del granulado obtenido.
- k) Volumen de agua adicionado durante la hidratación del granulado.



En el caso de obtención de harinas de maíz nixtamalizado.

l) Temperatura en que debe secarse el granulado.

m) Condiciones de la molienda seca.

- Velocidad de alimentación.
- Abertura del tamiz de restricción.

n) Análisis granulométrico.

1.10 Problemática de las mediciones en el tratamiento térmico-alkalino

La industrialización de la harina y la tortilla se inició a mediados del siglo XX, el propósito era obtener un polvo (harina) que fuera estable y que evitara que el ama de casa tuviera que hacer el nixtamal diariamente y además molerlo, lo cual representaba una actividad tediosa que consumía tiempo y energía.

Por el año 1960 la industria de la harina de maíz nixtamalizada estaba desarrollándose en México, mientras que en el resto del mundo no existía. El Banco de México tenía una planta en Tlalnepantla, Estado de México, en donde ensayaba distintos procesos para cocer, deshidratar y clasificar el grano de maíz y producir harina, pero tenía muchos problemas en las mediciones y establecimiento de parámetros de medición, sobre todo en la primera etapa del proceso de nixtamalización, lo que hoy se conoce como tratamiento térmico-alkalino. Para el país era muy importante la industrialización de un producto alimentario que consumen sus habitantes tres veces al día.

Para el año de 1970 la mitad de la producción de todos los granos en el país correspondía al maíz y el 90% se destinaba para consumo humano directo. La producción de tortilla en un 80% era artesanal y no había equipo para crecer ya que ningún otro país tenía un alto consumo de este cereal. No había empresa que se atreviera a desarrollar tecnología porque representaba: alto costo de investigación para establecer parámetros de medición, tiempos indefinidos e incertidumbre sobre los resultados, sin embargo era necesaria la industrialización para un país en franco desarrollo económico e industrial, con 45 millones de habitantes que consumían de 4 a 5 millones de toneladas de tortilla al año.



Existían muchos problemas para lograr el control y la homogenización del proceso de los cuales se mencionan:

- a) La materia prima para la producción industrial de la tortilla.
- b) El establecimiento del tiempo de cocción para cada variedad utilizada de maíz.
- c) La cantidad de hidróxido de calcio y de agua que debiera adicionarse para el tratamiento térmico-alkalino.
- d) El tiempo de reposo necesario para un proceso industrial.
- e) La temperatura del tratamiento térmico-alkalino.
- f) El tipo de molienda que se podía aplicar.
- g) El tipo de secado más eficiente y las temperaturas en que se realizaría.
- h) El color, el rendimiento y la capacidad de absorción de agua de las harinas.
- i) La granulometría de la harina de maíz nixtamalizado.
- j) La técnica de cocimiento ideal de la tortilla.

No se contaba con ningún equipo especializado, era prioritario el desarrollo de instrumentos que sirvieran para medir las variables anteriores y que se establecieran parámetros necesarios para estandarizar el producto.

Resulta tan absurdo que hoy en día, que se vive en un mundo de alta tecnología; como los sistemas de transporte, la farmacéutica, el procesamiento de alimentos enlatados o deshidratados. El hombre ha ido de la señal de humo al satélite, del fuego al microondas, de la leche fresca a la leche en polvo, pero en cuanto a la tortilla, el proceso de elaboración es el mismo desde la época precolombina, tiene graves problemas, ya que el proceso industrial, no alcanza los estándares de calidad del proceso artesanal, debido a que no ha podido escalar y / o extrapolar las condiciones de proceso de las variables críticas, pero a diferencia de la antigüedad hoy si hay empresas en el mundo haciendo estudios de un proceso exclusivo de nuestro país y por tanto es una vergüenza que no seamos los líderes mundiales de la producción de harina, que corresponde al grupo GRUMA (Serna-Saldívar, 1996).



METODOLOGÍA

Para llegar a la solución del problema: Establecer el tiempo de cocción de los granos de maíz variedad QPM-H368C y variedad PIONNER para diferentes temperaturas, durante el proceso de nixtamalización. Se planteó el siguiente objetivo general, el cual se desglosó en tres objetivos particulares.

1.- Objetivos

Objetivo General:

Utilizar diferentes variables cuantitativas (Humedad, pH, concentración de calcio fijado en el pericarpio) durante el tratamiento térmico-alcalino en el proceso de nixtamalización, para estandarizar el tiempo en la etapa de cocción de granos de dos variedades de maíces híbridos (QPM-H368C y PIONNER) a diferentes temperaturas 92, 82 y 72 °C.

Objetivo Particular 1:

Determinar la humedad de las muestras de maíz en la etapa de cocimiento a diferentes tiempos durante el tratamiento térmico-alcalino, para establecer en que tiempo se llega a un rango de hidratación entre 34 y 36 %, en los granos de maíz a tres temperaturas diferentes 92, 82 y 72 °C.

Objetivo Particular 2:

Determinar el pH a diferentes tiempos, en muestras de maíz cocido durante la primera etapa del proceso de nixtamalización, para establecer el tiempo de cocimiento cuando se desprende el pericarpio de granos de maíz a tres temperaturas diferentes 92, 82 y 72 °C.

Objetivo Particular 3:

Cuantificar calcio fijado en pericarpio de maíz por espectrofotometría de absorción atómica, a diferentes tiempos durante la etapa de cocimiento de los granos en el proceso



de nixtamalización, para establecer la concentración del mineral en la estructura de los granos de maíz a tres temperaturas diferentes 92, 82 y 72 °C.

2. Desarrollo Experimental

Los procedimientos experimentales se resumen en el cuadro metodológico mostrado en la figura 6, el cual fue la guía a seguir durante el trabajo experimental. El cuadro contiene los factores y sus niveles, actividades preliminares, como la caracterización de la materia prima, objetivos y sus actividades.

Este cuadro presenta una organización congruente y racional de la descripción de las actividades que se realizaron para lograr y desarrollar los objetivos planteados, las condiciones de trabajo, las técnicas experimentales y de evaluación de las muestras obtenidas.

En cuanto a la estructura metodológica, el cuadro se dividió en tres etapas que se relacionan entre sí, las cuales fueron jerarquizadas con el fin de establecer prioridad a las actividades de mayor importancia y de las que pueden realizarse de manera simultánea.

Etapas en que se dividió el cuadro metodológico:

- 1) Actividades preliminares
- 2) Desarrollo de objetivos particulares
- 3) Evaluación de las unidades experimentales

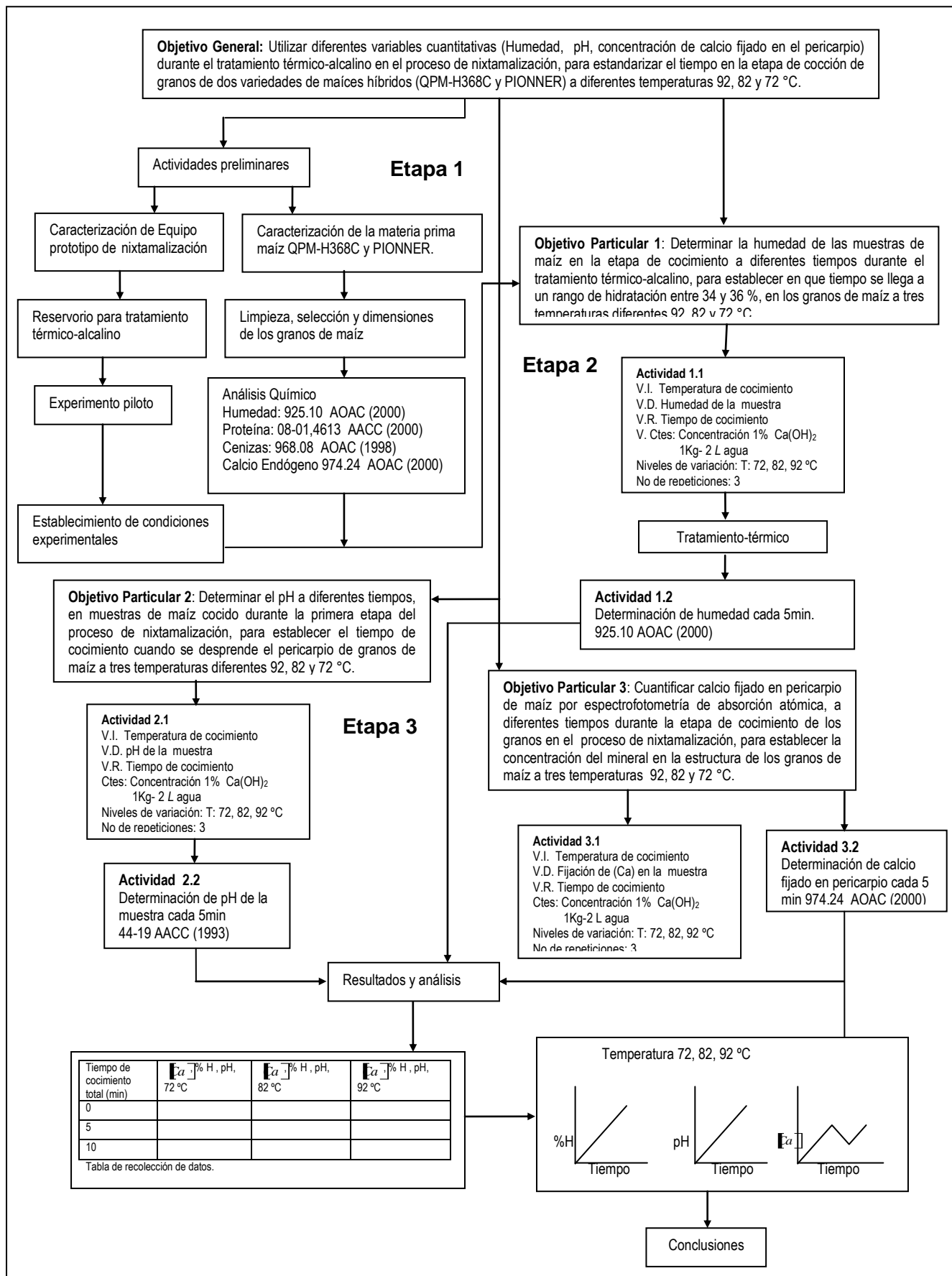


Figura 6. Cuadro metodológico del desarrollo experimental



2.1 Actividades preliminares

Las actividades preliminares (etapa 1) mostradas en el cuadro metodológico figura 6, se plantearon para caracterizar el sistema piloto de nixtamalización tradicional y caracterizar la materia prima.

2.1.1 Caracterización del equipo piloto de nixtamalización tradicional

Se caracterizó físicamente el equipo donde se procesaron los granos de maíz, que incluye los tanques para el tratamiento térmico-alkalino, se obtuvieron dimensiones y capacidad y las partes que integran el equipo piloto de nixtamalización. La figura 18 se muestra el equipo piloto utilizado, y se describe esta actividad en el capítulo 3, de acuerdo a la metodología planteada.

2.2 Caracterización de la materia prima

2.2.1 Análisis Físico

2.2.1.1 Clasificación por tamaño

El INIFAP, delegación Bajío, proporcionó los granos de maíz variedad QPM-H368C y variedad PIONNER, la cantidad fue de 30 kg de cada variedad de maíz.

Se realizó la limpieza de los granos de maíz, haciéndolo pasar por una criba de 4 mm de abertura, para eliminar basuras, granos rotos e impurezas. Posteriormente, para controlar que la transferencia de calor en los granos fuera homogénea, se controló el tamaño de los granos haciéndolos pasar por una criba de 8 mm de abertura.

2.2.1.2 Dimensiones de los granos

Los granos de maíz QPM son de menores dimensiones que las variedades comunes (Serna-Saldívar *et al.*, 1996); esto representa una ventaja, porque las muestras contienen más granos de superficies menores y esto trae como consecuencia mayor cantidad de calcio fijado por muestra que los de superficies mayores correspondientes a granos grandes. En ésta determinación se hizo una selección de los granos para que las muestras de las dos variedades tuvieran tamaños de granos homogéneos.

Los granos de maíz variedad PIONNER son granos utilizados para el proceso de nixtamalización artesanal en la zona centro y norte de el país y cumplen con las



características de dimensiones de tamaño dentro de los rangos establecidos por la norma NMX-FF-034/2-SCFI-2003.

La medición se llevó a cabo en muestras de 100 granos de maíz retenidos en una criba de abertura de 8.0 mm, utilizando un vernier digital para semillas, se realizó de acuerdo a la metodología descrita por Moreno (1989). Se midieron las dimensiones de largo, ancho y espesor de los granos para tres muestras. Se calculó el valor promedio y la desviación estándar. Los resultados se presentan en el capítulo 3.

2.2.1.3 Espesor del pericarpio de maíz

El conocimiento del espesor del pericarpio, resulta un parámetro importante que puede influir en la velocidad de hidratación del grano durante el proceso de nixtamalización, debido a que es la estructura más externa que rodea al grano y es la primera estructura en contacto con la solución alcalina.

Una muestra de 200 granos de maíz se hidrató en 100 ml de agua destilada por 40 minutos, después se retiraron los pericarpios del grano manualmente y se desecaron a 40 °C en una estufa de vacío, hasta alcanzar una humedad del 12%. Los pericarpios se colocaron en un porta objeto y se adhirieron con cinta de carbón. Las muestras fueron observadas en el microscopio electrónico de barrido a bajo vacío (modelo JEOL JSU-5600LV) con una resolución de 5 nm, ajustado con un espectrómetro de rayos X con energía de dispersión (Noran Instrument, Modelo 4.2.3 Voyager). Las condiciones del equipo fueron: voltaje de aceleración electrónica de 20 kv, con una presión en el rango de 237.72–396.20 kg/m² en la cámara de la muestra, las micrografías se obtuvieron en la superficie a partir de la señal electrónica de barrido (Arenas, 1999).

Las muestras se fueron rotando moviendo su posición de enfoque. Se obtuvieron los valores en 30 zonas de una misma muestra, Este mismo procedimiento se repitió en las 10 muestras o unidades experimentales. Por último, se calculó el valor promedio de los datos y su desviación estándar.

2.2.2 Análisis químico del grano nativo

El análisis químico se realizó en el grano de maíz crudo o nativo de las dos variedades de maíz QPM-H368C y PIONNER, los cuales se molieron para obtener



harinas en un molino marca Braun modelo KSM2, después se realizaron las determinaciones.

2.2.2.1 Determinación de humedad

Con esta determinación se obtuvo el contenido de agua y materia seca del alimento. Se llevó a cabo mediante el secado de la muestra. El contenido de humedad es indicio de estabilidad, calidad y medida indirecta de sólidos totales; por lo que es importante su cuantificación, principalmente cuando se va a almacenar el alimento y debe la materia prima mantener humedades entre el 10 y el 12%, ya que a humedades mayores se puede desestabilizar el material, presentarse acumulación de partículas y propiciar el crecimiento de microorganismos como hongos productores de aflatoxinas. Por otro lado, es necesario conocer la cantidad de materia seca para poder realizar la conversión de los nutrimentos contenidos en los alimentos a base húmeda o base seca según lo requerido. La humedad se determina comúnmente por pérdida de peso al secarse.

La determinación de humedad de los granos de maíz QPM–H368C y PIONNER fue un parámetro cuantitativo necesario para establecer el tiempo de cocción de los mismos.

Material y equipo:

- Granos de maíz
- Cajas de aluminio
- Balanza analítica
- Estufa de vacío a 40 °C

Esta determinación se llevo a cabo en los granos de maíz QPM–H368C crudos, y en granos de maíz PIONNER de acuerdo con las metodologías descritas por la AOAC Humedad: 925.10 AOAC (2000). Se realizó tres veces.

Procedimiento:

1.- Se colocaron las cajas de aluminio a peso constante previamente y se guardaron en un desecador.

1.- Se pesaron 5 g de muestra hasta con tres cifras decimales de exactitud en la caja de aluminio que fue previamente tarada.

2.- Se colocaron en la estufa a una temperatura de 100 °C por 3 horas y se sacaron con pinzas para crisol, sin tocar directamente con los dedos.



- 3.- Se colocaron en el desecador por 45 minutos para que se enfriaran.
- 4.- Se tomó el peso en la balanza analítica hasta con tres cifras decimales.

Cálculos:

$\% \text{ HUMEDAD} = 100 - (\text{Peso de la muestra seca} \times 100 / \text{peso de la muestra inicial})$

Donde:

A = Peso de la charola + la muestra húmeda (g)

B = Peso de la charola + la muestra seca (g)

M = Peso de la muestra inicial (g)

MS = Materia seca

2.2.2.2 Determinación de proteínas

Gran proporción del nitrógeno en los alimentos se encuentra en forma de proteínas; éstas se pueden calcular a partir del contenido de nitrógeno presente en el alimento.

La determinación de nitrógeno total por Macrokjeldahl se realizó siguiendo la metodología 08-01,4613 AACC (2000) que a continuación se describe:

Esta técnica se basa en que las proteínas y demás materia orgánica, son oxidados 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 NaOH al 33% desprendiéndose amoniaco (NH_3) que se destila y se recibe un volumen conocido de ácido bórico (H_3BO_3) al 5%; por titulación del ácido clorhídrico se calcula la cantidad de (NH_3) , con indicador de rojo de metilo; 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.

Material y equipo

- Probetas de digestión Büchi
- Vasos de precipitado de 300 ml (largos)



- Aparato de digestión modelo: Digestión Unit, Büchi B-435
- Aparato destilador: Destillation Unit, Büchi B-324
- Aparato titulador: Metler Toledo DL58 Tritator versión 2.3

Reactivos

- Ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4)
- Solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 33%.
- Solución de ácido bórico (H_3BO_3) al 5%.
- Solución de ácido sulfúrico o ácido clorhídrico 0.1N
- Solución de rojo de metilo al 2%
- Mezcla digestora:
 - 200 g de sulfato de potasio (K_2SO_4) o sulfato de sodio anhidro (Na_2SO_4), R.A.
 - 20 g de sulfato sulfato cúprico pentahidratado ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$), reactivo A.C.S.
 - Se Molió el $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, posteriormente hacerlo mismo con el sulfato de potasio y mezclarlos muy bien.

2.2.2.3 Determinación de cenizas

En esta determinación se obtuvo el contenido de cenizas o materia inorgánica total del grano de maíz. Se realizó mediante la metodología Cenizas: 968.08 AOAC (1998).

Material y equipo:

- Mufla a 550 °C Lab-Heat. Blue M
- Crisoles de cuarzo
- Desecador
- Balanza analítica
- Mecheros

**Procedimiento:**

- 1.- Se colocaron en la mufla 4 crisoles durante tres horas a 100 °C, para ponerlos a peso constante.
- 2.- Los crisoles se colocaron en el desecador durante 45 minutos para que se enfriaran y se pesaron.
- 3.- Se colocaron las muestras de 5 g en los crisoles y se pusieron primero en los mecheros hasta quemar las muestras; después se colocaron en la mufla incinerándolas durante 4 horas a 550 °C, hasta que estaban carbonizadas.
- 4.- Se colocaron los crisoles en el desecador durante 1 hora y se dejaron enfriar hasta temperatura ambiente (las cenizas presentaron un aspecto limpio y una coloración blanca).
- 5.- Ya fríos se pesaron los crisoles con sus respectivas cenizas.
- 6.- Se calculó por diferencia de peso el contenido de cenizas

Cálculos:

El porcentaje del contenido de cenizas se calculó con la siguiente relación

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

***A - B**

Donde:

A = Peso del crisol + cenizas (g)

B = Peso del crisol a peso constante (g)

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

Se evitó el calentamiento demasiado rápido puesto que algunas sales se confunden y absorben carbono que luego es difícil de quemar y se utilizó una temperatura no tan alta, porque puede haber pérdidas de sales volátiles como cloruro de sodio y de hierro.



2.2.2.4 Determinación de calcio endógeno

La determinación de calcio endógeno es importante para conocer su concentración de calcio en el grano crudo. La fijación de calcio residual en granos de maíz procesado debe plantearse a partir del calcio endógeno. Esta actividad se realizó por espectrofotometría de absorción atómica para muestras de pericarpio crudo, de acuerdo al método descrito por Fernández *et al.* (2004). Las determinaciones se realizaron por triplicado para todas las unidades experimentales. En la figura 7 se observa el espectrofotómetro de absorción atómica utilizado para esta determinación.

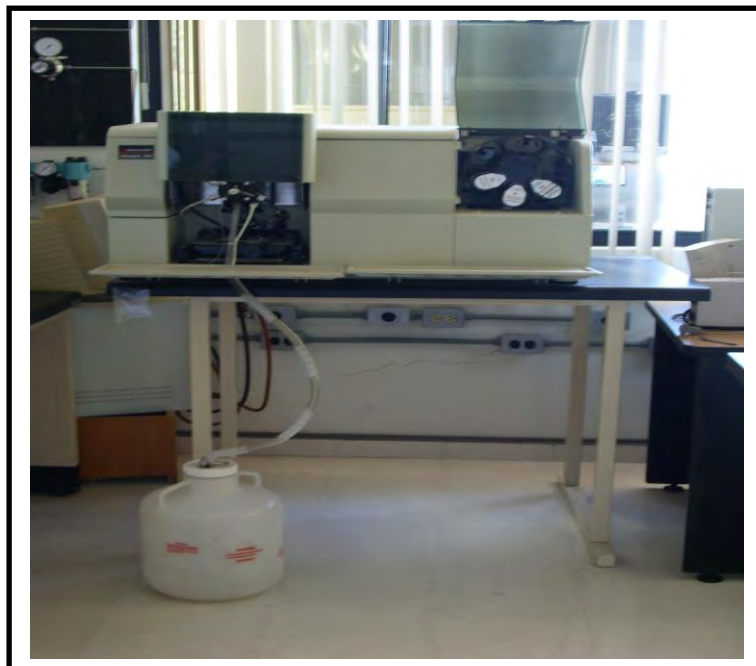


Figura 7. Espectrofotómetro de absorción atómica donde se determinó el calcio.

Material y Equipo:

- Muestras de maíz crudo
- Molino marca Braun modelo KSM2
- Tamiz 60 USA
- Balanza analítica
- Agua destilada y tridestilada
- Oxido de lantano
- Estándar de calcio
- Referencia de maíz
- Ácido nítrico al 30 % y 70 % de pureza



- Digestor de microondas
- Espectrofotómetro de absorción atómica, modelo AA-110 VARIAN
- Lentes de protección y guantes de plástico

Las condiciones experimentales en las que se trabajó el equipo son las siguientes:

- Presión de aire seco: 12 psi.
- Presión de acetileno: 70 psi.
- Longitud de onda del láser: 422.76 nm.
- Corriente de la lámpara: 10 mA

Esta técnica espectroscópica destruye la muestra, determina cuantitativamente el elemento presente y realiza el análisis elemental de la mayoría de los elementos de la tabla periódica, en muestras o extractos líquidos.

Para determinar un analito en una muestra es necesario proporcionarle energía a los átomos y subir de nivel a los electrones, lo que se lleva a cabo en el equipo utilizando una lámpara de cátodo hueco que debe ser del analito que se desea analizar, en este caso es 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; Amezquita, 2003).

Procedimiento:

Se preparó una solución diluida de Hyclin (jabón sin minerales) para lavar todo el material de vidrio y plástico: matraces, frascos, vaso-slainer, pipetas, embudos, etc. Estos materiales se vertieron en una solución acidulada, preparada con 10 % de ácido nítrico al 30 % de pureza (grado técnico) y agua destilada. El material permaneció por cuatro horas y posteriormente se retiró y se enjuagó con agua tridestilada, se escurrió y se espero a que estuviera seco (para estas actividades se utilizaron guantes y lentes protectores). Se tomaron 50 g de maíz procesado y se molieron en un molino marca Braun modelo KSM2,



y se hicieron pasar por un tamiz 60 USA, posteriormente se pesaron 0.25 g de muestra en una balanza analítica y se colocaron 14 diferentes vasos, A 11 vasos se le adicionaron 10 ml de ácido nítrico con alto grado de pureza (70 %); en otro vaso se colocó una muestra de un blanco que corresponde sólo al ácido, en otro la referencia con el ácido y en otro el estándar (el estándar que es el de mayor concentración se vertió en el vaso 1). Los vasos se dejan dentro de la campana de extracción de gases hasta que dejen de burbujear y se taparon, posteriormente, se colocaron los sellos de ámbar, las membranas y tapones en los costados de los vasos. Todas estas muestras se montaron en el carrusel del digestor de microondas, como se muestra en la figura 8 a y 8 b respectivamente.

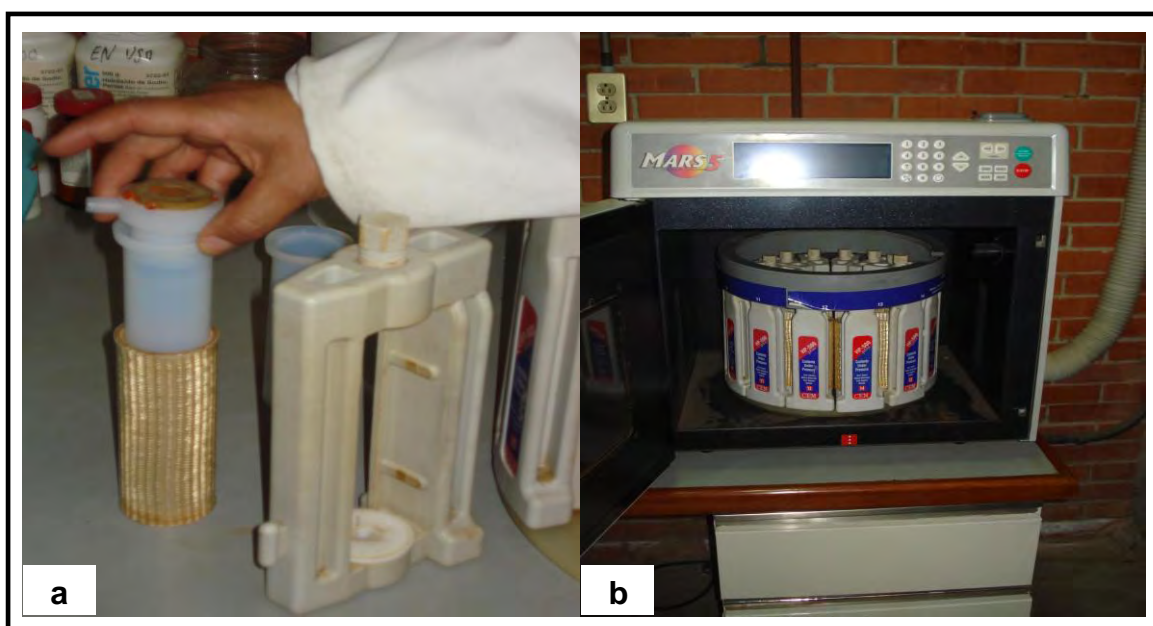


Figura. 8 a) Llenado de vasos del digestor Figura. 8 b) Carrusel de microondas

El equipo se prendió previamente 60 minutos antes de operarlo. Se conectaron los sensores de presión y de temperatura al equipo, que van unidos al primer vaso, posteriormente, se programó a tres rampas de calentamiento: la primera de temperatura ambiente hasta 130 °C en 4:30 minutos, la segunda de 130 hasta 150 °C en 4:00 minutos y la última de 150 a 175 °C en 4:00 minutos, manteniendo la temperatura constante durante 15 minutos. Después de digerir, la muestra se dejó enfriar por 2 horas en la campana de extracción de gases y se destaparon los vasos, se dejaron enfriar y se filtraron con papel Watman No. 42, se le adicionó 1 ml de óxido de lantano al matraz y se aforó a 100 ml en un matraz de bola, adicionando agua tridestilada.

Se analizó la muestra con adición de lantano porque forman compuestos más estables con el fosfato y libera mejor el calcio. También se preparó la curva de calibración



con la referencia de concentración de calcio del rango de 0.01-2.5. La lectura se realizó en un equipo de espectroscopia de absorción atómica de flama utilizando como gases aire-acetileno para producir la flama; las muestras ya diluidas se colocan en un vaso de precipitado. Se introdujo el nebulizador a la muestra y se hizo incidir la luz de una lámpara de un cátodo hueco a través de una muestra vaporizada por una flama, en la que los átomos en estado basal absorben la luz, disminuyendo su intensidad. Se eligió la 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.

2.3 Experimento piloto

En los dos tanques de cocción-reposo se colocaron, 1 kg de maíz, 10 g de hidróxido de calcio grado alimenticio y 2 litros de agua. Se inició el calentamiento con dos rampas de calentamiento, la primera inició desde la temperatura ambiente 22.7 °C, hasta que alcanzó una temperatura de 92 °C, la segunda consistió en mantener la temperatura durante 1 hora. Ahí se suspendió el calentamiento. Los valores de temperatura fueron obtenidos por cuatro termopares fijos, que se encuentran localizados en un dedo térmico en la parte central de los tanques. En la figura 9, se muestra el dedo térmico y los tanques de cocción utilizados.

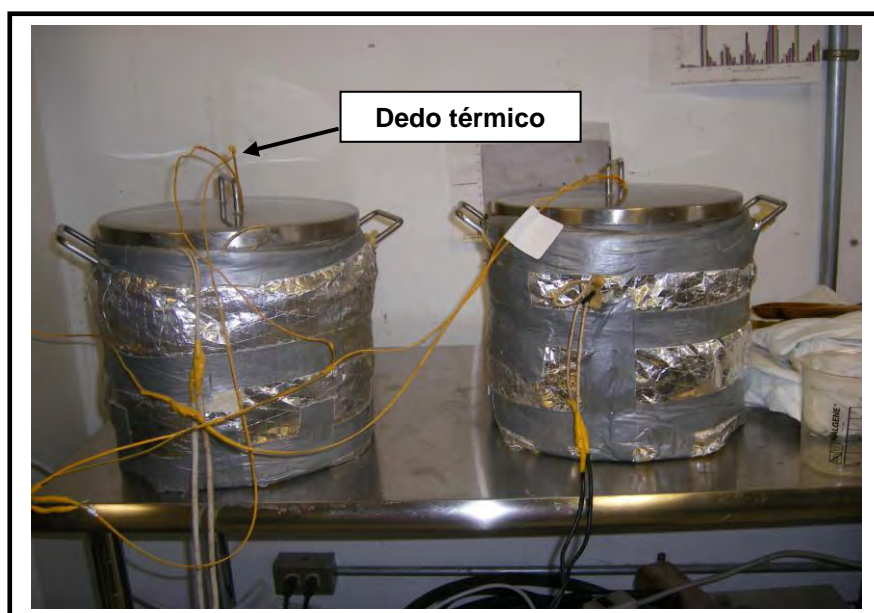


Figura 9. Tanques de cocción y dedo térmico

Las muestras se mezclaron cada 10 minutos con un mezclador de paleta durante todo el tiempo de cocción y se registraron las historias térmicas del evento en el orden de segundos. Cada 5 minutos se tomaron muestras de aproximadamente 10 g de maíz de



cada uno de los tanques; en la figura 10 se muestra el equipo piloto de nixtamalización tradicional durante una corrida, en la pantalla de la computadora se puede observar la captura de los datos *in situ* durante el proceso con el software Originlab Versión 8.

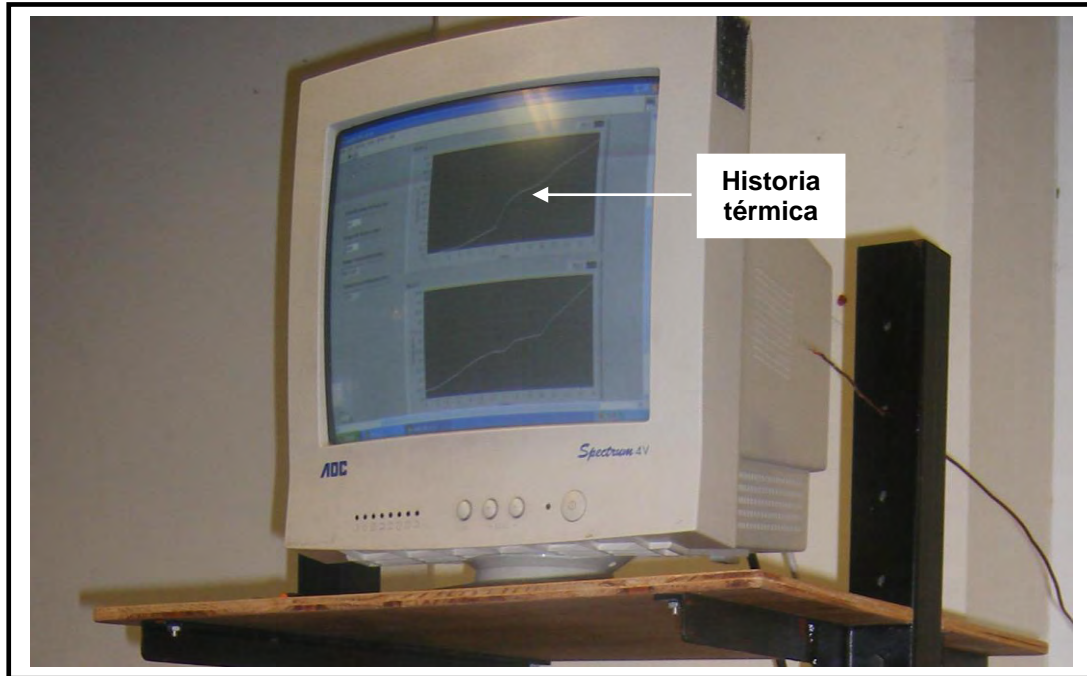


Figura 10. Historia térmica obtenida en el equipo piloto de nixtamalización

2.4 Selección de variables independientes y niveles de variación

Se seleccionaron las variables independientes, las cuales se manipularon a lo largo del desarrollo del trabajo experimental, siendo las siguientes:

Variable independiente : Temperatura de cocción $T = 72, 82$ y $92\text{ }^{\circ}\text{C}$

Niveles de Variación: (3)

Se decidió trabajar con estas temperaturas en base a que $92\text{ }^{\circ}\text{C}$ es la que corresponde a la temperatura a la que se procesa a nivel industrial, $82\text{ }^{\circ}\text{C}$ es la que reportan la mayor parte de las investigaciones para la etapa de cocción, y finalmente los estudios existentes de difusión de iones de calcio se han efectuado a $72\text{ }^{\circ}\text{C}$, con esto justificamos los niveles de estudio para poder considerar un punto de comparación.



2.5 Establecimiento de condiciones de trabajo (variables y niveles)

Se establecieron las condiciones de trabajo y los puntos críticos del proceso, con el propósito de estandarizar el proceso térmico-alkalino con el que se elaboran las unidades experimentales. Maíz variedad QPM- H368C y PIONNER.

- 1) 1 kg de maíz.
- 2) 2 litros de agua.
- 3) 10 g de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, concentración del 1 % (w/w en base al peso del grano).
- 4) Durante la cocción se mezclaron el grano con su solución alcalina cada 10 minutos, dando tres vueltas con un agitador manual de paleta.
- 5) Se estableció la cantidad de agua para efectuar cada uno de los dos lavados al nixtamal (1litro por kg de maíz).
- 6) Las muestras fueron extraídas del tanque cada 5 minutos. Cuando estaba próximo el desprendimiento del pericarpio se obtuvieron cada minuto.

2.6 Preparación y evaluación de las muestras

Las actividades planteadas para el seguimiento de los objetivos se mostraron en la etapa 2 del cuadro metodológico (figura 6), aparecen en el orden en que se realizaron, para cada objetivo particular.

Objetivo Particular 1: El objetivo se realizó utilizando los siguientes niveles de variación.

Actividad 1.1

V.I. Temperatura de cocimiento

V.D. Humedad de la muestra

V.R. Tiempo de cocimiento

Ctes: Concentración 1% $\text{Ca}(\text{OH})_2$; 1 Kg - 2 L agua

Niveles de variación: $T^\circ = 72, 82, 92^\circ \text{C}$

No de repeticiones: 3

Variedad de maíz: QPM–H368C y PIONNER

**Procedimiento:**

Se realizó la determinación del tiempo de cocción de dos variedades de grano de maíz para las siguientes temperaturas: 72, 82 y 92 °C. Se colocaron en los tanques de cocción 1 kg de maíz, variedad QPM–H368C, y en el otro 1 kg de la variedad PIONNER, se agregaron 2 litros de agua a cada uno y 10 g de hidróxido de calcio.

Se inicio la cocción desde la temperatura ambiente, medida por un termopar que registró (22.7 °C) hasta llegar a la temperatura de 92 °C, una vez alcanzada la temperatura se mantuvo hasta el término del experimento. El maíz se movió con un mezclador de paleta, dando cuatro vueltas cada 10 minutos. En la figura 11 a y 11 b, se muestran granos de maíz precocidos QPM–H368C y PIONNER respectivamente.

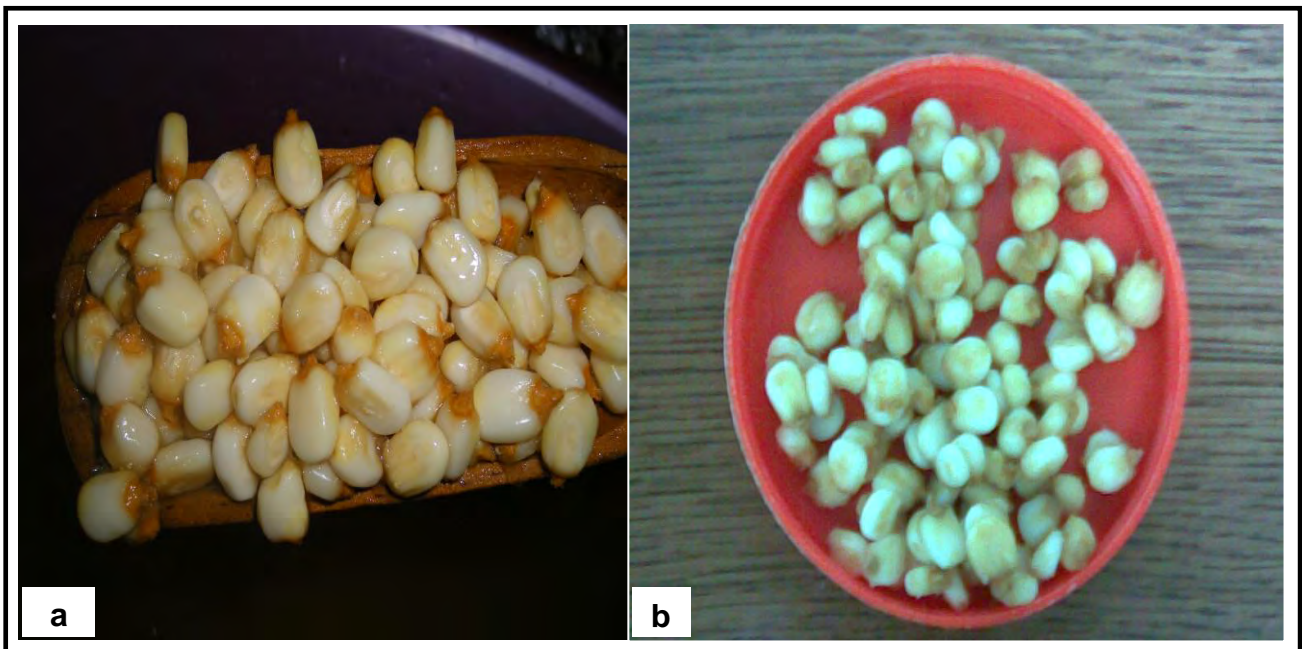


Figura. 11 a) Granos de maíz QPM-H368C precocidos
Figura. 11 b) Granos de maíz PIONNER precocidos

Para considerar que el grano está precocido se estableció el porcentaje de humedad como parámetro, en un rango de 34 a 36 %. Para determinar el porcentaje de humedad, se obtuvieron muestras de 20 gramos cada 5 minutos, las cuales fueron molidas, en un molino marca Braun modelo KSM2.



Posteriormente se hizo la determinación en una termobalanza modelo AD-4713. En la figura 12 se muestra la termobalanza utilizada para la determinación de humedad de cada tipo de grano utilizado.



Figura 12. Termobalanza modelo AD-4713

Actividad 1.2 Determinación de humedad.

- Método 925.10 AOAC (2000)

Una vez registrados valores de humedad cercanos al rango pre-establecido, el muestreo ya no se realizó cada cinco minutos, si no cada minuto, analizando el valor de la humedad; se midió pH del grano y calcio residual en pericarpio durante esta parte del proceso.

Estos parámetros cuantitativos fueron empleados para establecer el tiempo de cocción, correlacionado con el desprendimiento del pericarpio, que se retira de manera manual frotándolo entre los dedos.



Las determinaciones se realizaron por triplicado, se calculó el promedio y la desviación estándar de los datos obtenidos.

Objetivo Particular 2:

El objetivo 2, se realizó por triplicado a las muestras obtenidas cada 5 minutos, las condiciones y los niveles de variación para las variables estudiadas son los siguientes:

Actividad 2.1

V.I. Temperatura de cocimiento

V.D. pH de la muestra

V.R. Tiempo de cocimiento

Ctes: Concentración 1% Ca(OH)_2

1Kg - 2 L agua

Niveles de variación: T= 72, 82, 92 °C

No de repeticiones: 3

Actividad 2.2 Determinación del potencial de hidrógeno (pH).

El valor del pH se realizó de acuerdo con el método 44-19 de la AACC (1993). Cada 5 minutos, utilizando un potenciómetro modelo 6071.

Preparación:

1. Se prepararon 1L de solución tampón disolviendo las cantidades indicadas de los siguientes reactivos:
 - a) pH 1.68 a 20 °C ----12.7 g de tetraoxalato potasico dihidratado 0.05M.
 - b) pH 4.0 a 20 °C ---- 10.21 g de ftalato ácido de potasio 0.05M.
 - c) pH 6.88 a 20 °C ---- 3.40 g de fosfato ácido de potasio
 - 1) 3.55 g de fosfato ácido disódico
 - d) pH 9.22 a 20 °C ---- 3.81 g de tetraborato sódicodecahidratado.



2. Normalizar el potenciómetro usando las dos soluciones tampón que mas se aproximen al pH probable de la solución o mezcla problema.
3. Medir el pH de la solución problema.
4. Volver a comprobar la normalización del potenciómetro usando la solución tampón apropiada.

Procedimiento:

Uno de los parámetros cuantitativos seleccionados para el establecimiento del tiempo de cocción en granos de maíz fue el pH. La determinación se realizó en las dos variedades de grano de maíz para las siguientes temperaturas: 72, 82 y 92 °C de la siguiente manera:

Se colocó en un tanque de cocción 1 kg la variedad QPM–H368C, y en el otro 1 kg de la variedad PIONNER, se agregaron 2 litros de agua a cada uno y 10 g de hidróxido de calcio. Se inicio la cocción desde la temperatura ambiente, medida por un termopar que registró (22.7 °C) hasta llegar a la temperatura de 92 °C, una vez alcanzada la temperatura se mantuvo hasta el termino del experimento. El maíz se movió con un mezclador de paleta, dando cuatro vueltas cada 10 minutos. Se obtuvieron muestras de 20 gramos cada 5 minutos, las cuales fueron molidas, en un molino marca Braun modelo KSM2. Posteriormente, se colocaron en una parrilla con agitación durante 45 min. Terminado este tiempo se dejaron reposar por 3 horas. Finalmente se tomo la lectura del pH en el líquido sobrenadante con un potenciómetro (JENCO Electronics LTD, mod. 6071). En la figura 13 se muestra el potenciómetro utilizado.

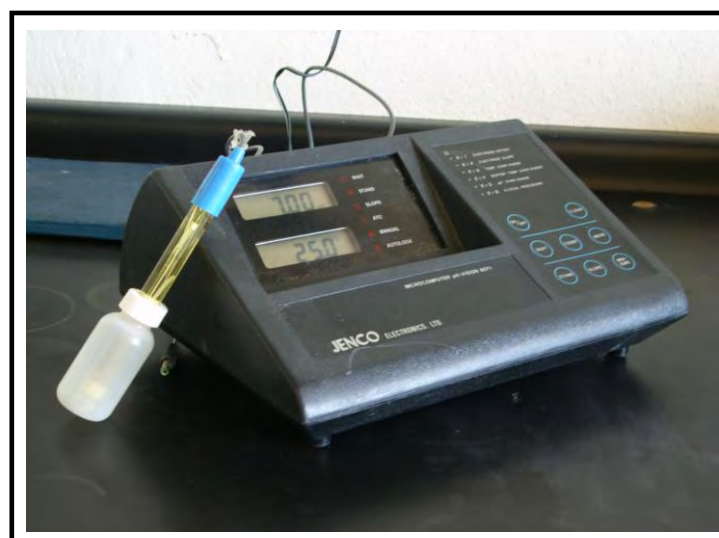


Figura 13. Potenciómetro, modelo 6071



Objetivo Particular 3:

Para la cuantificación de calcio en el pericarpio de maíz se utilizaron las siguientes variables:

Actividad 3.1

V.I. Temperatura de cocimiento: 72, 82, 92 °C

V.D. Fijación de (Ca) en la muestra

V.R. Tiempo de cocimiento

Ctes: Concentración 1% Ca(OH)_2

1Kg - 2 L agua

Niveles de variación: T= 72, 82, 92 °C

No de repeticiones: 3

Actividad 3.2 Determinación de calcio en pericarpio cada 5 min.

- Método 974.24 (AOAC, 2000)

Procedimiento:

El mismo procedimiento se realizó durante el tratamiento térmico-alcalino, las muestras extraídas se dejaron a temperatura ambiente por dos horas en un recipiente para facilitar el desprendimiento del pericarpio esto se muestra en la figura 14.

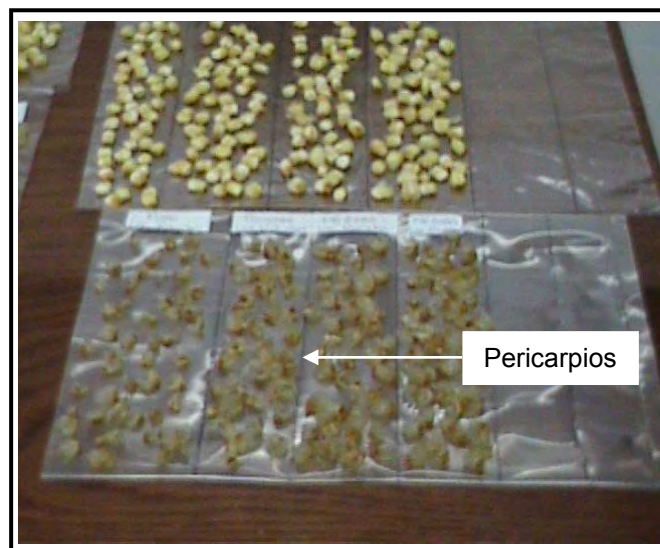


Figura 14. Pericarpios desprendidos de granos nixtamalizados



Una vez desprendidos los pericarpios de los granos de maíz, se secaron en una estufa de vacío a una temperatura de 40 °C. Los tiempos de secado fueron diferentes, porque las muestras contenían diferente % de humedad, por esa razón se estableció el tiempo hasta alcanzar una humedad del 12 %. En la figura 15 se muestra la estufa de vacío en la que se secaron los granos de maíz de ambas variedades.



Figura 15. Estufa de vacío

Después se molieron en un molino marca Braun modelo KSM2. Finalmente se hicieron pasar por un tamiz 60 USA y se envasaron en bolsas de plástico de cerrado hermético para ser conservadas y realizar la determinación de calcio fijado en pericarpio en un espectrofotómetro de absorción atómica modelo AA110 VARIAN, como se describió



anteriormente en la determinación de calcio endógeno. Para la digestión de las muestras se utilizó un horno de microondas modelo CEM, Mod. MDS 81-D.

En la figura 16 a y 16 b se muestra el espectrofotómetro de absorción atómica y el horno de microondas utilizados.



Figura. 16 a) Horno de microondas. Figura 16 b) Espectrofotómetro de absorción atómica.

2.7 Análisis estadístico

El análisis estadístico que se planteó fue una regresión lineal a los resultados arrojados en las gráficas para los parámetros de calcio fijado en pericarpio, pH de la muestra de maíz y humedad de la muestra de maíz, de manera independiente para cada variedad. Ya que el modelo de regresión se ajusta a un conjunto de datos muestrales y en experimentos diseñados. Se desea determinar la relación entre una sola variable de regresión x y la respuesta y . Usualmente se supone que la variable de regresión x es controlable por el experimentador, entonces si el experimento está diseñado se eligen los valores de x y se observan los valores de y , Montgomery (1991). Posteriormente, se realizó un análisis comparativo entre las pendientes para ver la razón de cambio a las diferentes temperaturas y con las dos variedades de maíz utilizadas.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3. Análisis de resultados

El propósito de este trabajo fue establecer la primera etapa del proceso de nixtamalización para dos variedades de granos de maíz híbridos (QPM-H368C y PIONNER) a tres temperaturas diferentes 72, 82 y 92 °C. Se contemplaron estas temperaturas porque son las que se han reportado en la literatura como las que más se utilizan en las diferentes zonas del país y a nivel industrial (Trejo-González *et al.*, 1982; Serna-Saldívar *et al.*, 1990; Fernández-Muñoz *et al.*, 2002; Zazueta *et al.*, 2002; Hurtado Castañeda *et al.*, 2005). Se evaluaron tres parámetros fisicoquímicos para definir el término de la etapa de cocción, la humedad, el pH de la muestra obtenida y la concentración de calcio fijado en el pericarpio, los cuales se determinaron durante el tratamiento térmico- alcalino en periodos cortos de tiempo (cada cinco minutos).

El parámetro de medición para la etapa de cocción, es el desprendimiento del pericarpio de maíz frotándolo con los dedos de la persona que realiza el tratamiento. En la figura 17 se aprecia el desprendimiento del pericarpio de granos de maíz QPM-H368C en el proceso de nixtamalización.



Figura 17. Desprendimiento de pericarpio de maíz QPM-H368C



Siguiendo el orden del cuadro metodológico mostrado en el capítulo 2, se presentan en primer término los datos obtenidos de la caracterización del equipo y de la materia prima. Los granos de maíz de las dos variedades son de dureza intermedia del rango de 14 a 16 Kg_f. Ambos maíces son semicristalinos; en seguida aparecen los resultados de los objetivos, donde se obtuvieron los tiempos de cocción utilizando las variables cuantitativas seleccionadas para establecerlo.

Primero se muestran los resultados del objetivo 1, que corresponden a la evaluación del tiempo de cocción mediante la humedad del grano adquirida durante el proceso. Posteriormente, se muestran los resultados del objetivo 2 utilizando ahora como variable el pH de la muestra y finalmente, se exponen los resultados del objetivo 3, que corresponden a la cuantificación del calcio residual en el pericarpio al término de la etapa de cocción. El procedimiento de las actividades para las determinaciones se desglosa en el capítulo de metodología.

3.1 Actividades preliminares

Estas actividades fueron planteadas para familiarizarse con el equipo en donde se realizó el tratamiento térmico-alkalino y para establecer las condiciones experimentales en que puede ser operado el equipo piloto.

3.1.1 Caracterización del equipo piloto de nixtamalización tradicional

El equipo piloto de nixtamalización que se muestra en la figura 18 consta de dos tanques de acero inoxidable aislados térmicamente, para evitar la transferencia de calor con el medio ambiente durante el proceso de nixtamalización. Los tanques tienen las siguientes dimensiones: diámetro interno 20.70 cm, diámetro externo 22.6 cm, altura, 25.6cm y capacidad máxima de trabajo de 12 litros; el medio de calentamiento es eléctrico, con resistencias media luna soldadas en la parte inferior del tanque. Además la velocidad de calentamiento se puede programar para realizar el proceso.

Las determinaciones de cada uno de los tanques son independientes, pero el perfil de programación fue el mismo para ambos, con una velocidad de calentamiento de 2.5 °C/min.



En la figura 18 también aparece en la pantalla de la computadora la historia térmica de una de las corridas experimentales (h).

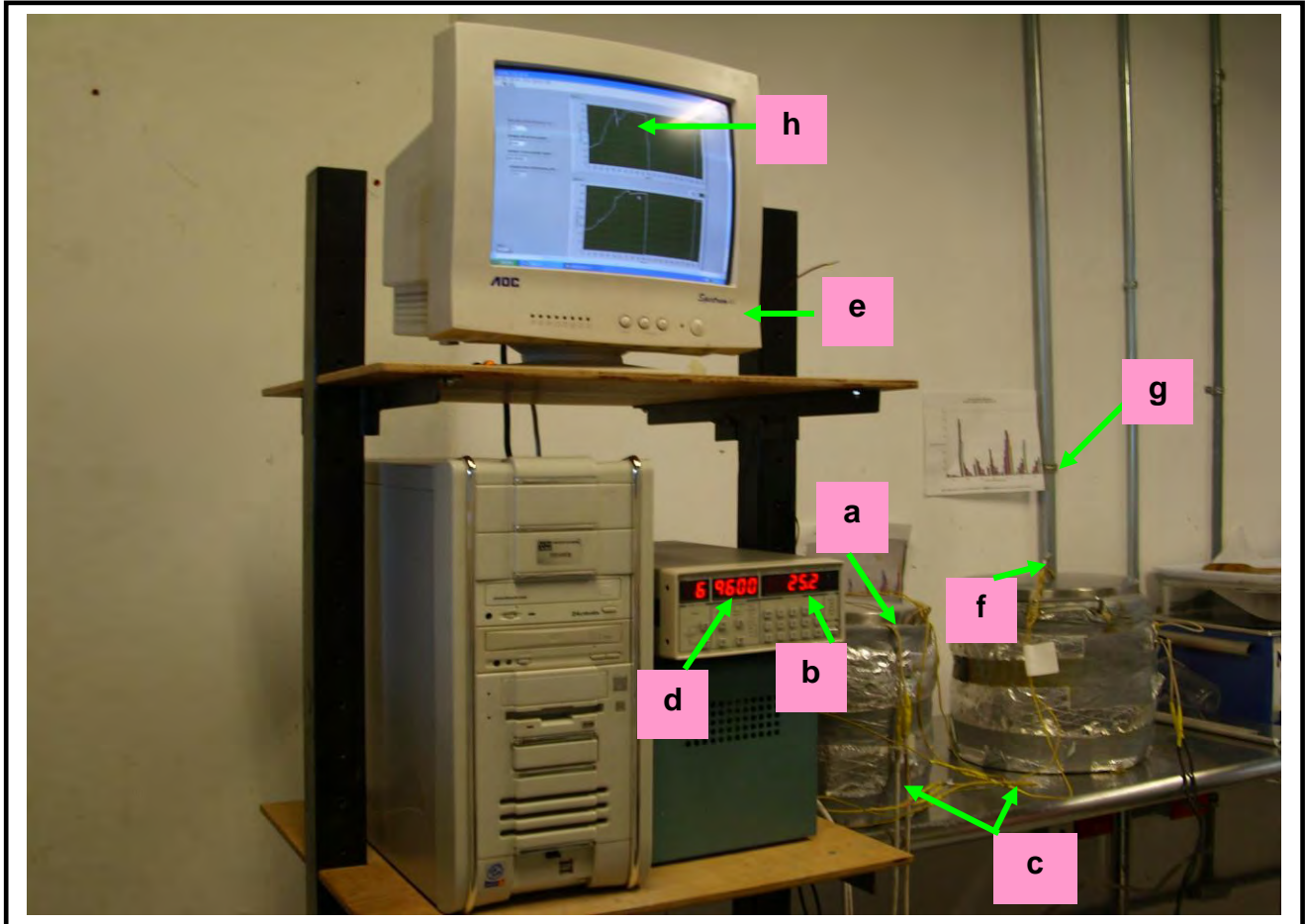


Figura 18. Equipo piloto de nixtamalización tradicional

Partes del equipo

- a) Termopares por tanque
- b) Registrador de temperaturas
- c) Resistencias media luna por tanque
- d) Control de resistencias
- e) Computadora
- f) Mezclador de paleta
- g) Dedo térmico
- h) Historias térmicas



3.2 Caracterización de la materia prima

3.2.1 Análisis físico

3.2.1.1 Clasificación por tamaño

Los granos de maíz variedad QPM-H368C se pasaron por una criba de 8mm y los granos variedad PIONNER se pasaron por una criba de 7/16 in serie USA como muestra la figura 19 a Y 19 b respectivamente, utilizadas para todas las determinaciones del grano nativo y para el proceso de nixtamalización.

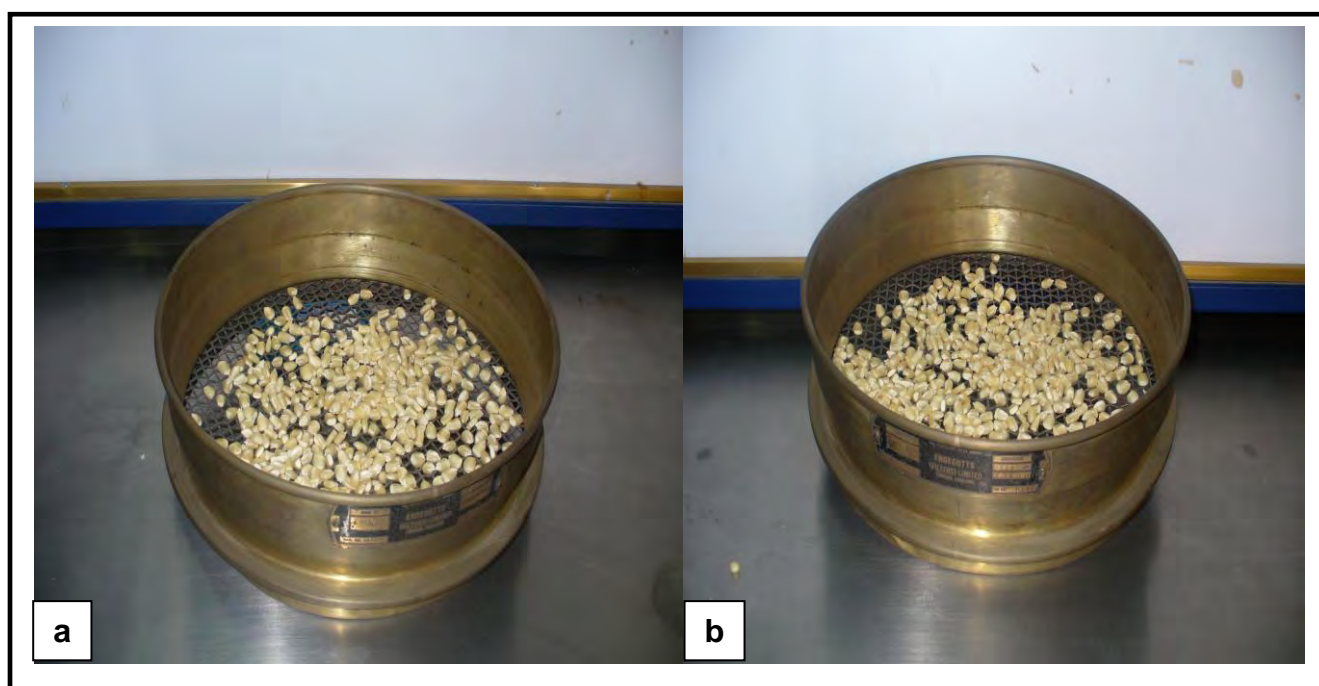


Figura 19 a) Clasificación de tamaño de granos de maíz QPM-H368C

Figura 19 b) Clasificación de tamaño de granos de maíz PIONNER

3.2.1.2 Dimensiones de los granos de maíz

La determinación de las dimensiones de los granos de maíz, se realizó para conocer el tamaño de los granos, ya que este parámetro es muy importante para homogenizar las muestras.



En la tabla 5, se muestran los valores obtenidos de largo, ancho y espesor de 100 granos de maíz.

Tabla 5. Dimensiones del grano de maíz QPM- H368C y PIONNER

Medidas del grano	Dimensiones QPM-H368C	Dimensiones PIONNER
Largo (mm)	7.28 ± 1.0	10.20 ± 1.01
Ancho (mm)	7.03 ± 1.11	8.18 ± 0.20
Espesor (mm)	6.59 ± 0.9	4.72 ± 0.80

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

Los granos de maíz QPM-H368C corresponden a granos de dimensiones menores, que los de variedades comerciales para uso del proceso de nixtamalización tradicional (Serna-Saldívar *et al.*, 1992).

Los granos de variedad PIONNER, son granos con calidad nixtamalera, así que se encontraron dentro de los rangos establecidos que van de 10-12 mm de largo, 8.0-9.0 mm de ancho y de 4.0-6.0 mm de espesor (Serna-Saldívar *et al.*, 1996).

En el caso de los granos de maíz QPM-H368C dadas sus dimensiones, existen más granos de maíz por cada 100 gramos de muestra, lo que trae como consecuencia una mayor área superficial en contacto con la solución alcalina donde están inmersos los granos de maíz durante el proceso de nixtamalización dando como resultado mayor fijación de calcio en una muestra representativa.



3.2.1.3 Espesor del pericarpio de maíz

Los valores del espesor del pericarpio para la variedad QPM-H368C y PIONNER, fueron obtenidos por microscopía electrónica de barrido a bajo vacío, se reportan en la tabla 6.

Tabla 6. Espesor del pericarpio de granos QPM- H368C y PIONNER

Variedad	Espesor del pericarpio μ
QPM-H368C	87 \pm 1.04
PIONNER	70 \pm 1.23

Los valores representan el promedio \pm la desviación estándar,
(n=30 zonas) en diez muestras

La tabla 6 muestra que el espesor del pericarpio es mayor para granos de maíz QPM-H368C, esto quizás es debido a que este híbrido con alta calidad proteínica, fue trabajado genéticamente para tener alta resistencia a las plagas y al medio ambiente, pero esto puede repercutir en la etapa de cocción durante el proceso de nixtamalización.

3.2.2 Análisis Químico del grano nativo

3.2.2.1 Humedad del grano nativo

Los resultados de la determinación de humedad en granos de maíz nativos de la variedad QPM-H368C y PIONNER se reportan en la tabla 7, el valor es un indicativo de las condiciones en que el grano se encontró después del almacenamiento, ya que si es mayor a lo indicado por la norma, pueden producirse pérdidas importantes por infestación de hongos y contaminar a todo el material almacenado.



El contenido de humedad del grano fue del 12.0 % para la variedad QPM-H368C y para el de variedad PIONNER fue de 13.27 %, este valor es inferior al límite establecido por la NMX-FF-034/1-SCFI-2002 que es el 15 % durante el almacenamiento, lo cual debe estar influenciado por el tipo de grano, ya que los maíces de tipo cristalino y semicristalino tienden a tener un menor contenido de humedad, también pudo ser ocasionado porque fueron almacenados en diferente lugar (Méndez *et al.*, 2005).

Tabla 7. % de Humedad en granos de maíz nativo QPM- H368C y PIONNER en almacenamiento.

Variedad	QPM-H368C (%)	PIONNER (%)
Humedad	12.00 ± 0.30	13.27 ± 0.16

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

Además se aprovechó la determinación para conocer la cantidad de agua presente en el grano, debido a que es una de las condiciones iniciales del grano ya que la humedad fue uno de los parámetros cuantitativos para establecer el tiempo de cocción de las dos variedades de granos de maíz a las diferentes temperaturas que se emplearon.

3.2.2.2 Contenido de proteínas del grano nativo

El contenido de proteínas para las dos variedades QPM-H368C y PIONNER se registraron en la tabla 8.

Tabla 8. % de Proteína en granos de maíz nativo QPM- H368C y PIONNER

Componente	QPM-H368C (%)	PIONNER (%)
Proteína ¹	7.50 ± 0.12	8.9 ± 0.22

Los valores representan el promedio ± la desviación estándar, (n=3), ¹porcentaje en base seca



El contenido de proteína se encuentra dentro del rango de 6 a 12 % reportado por Paredes *et al.* (2000), para híbridos cultivados en diferentes localidades del país, se pudo observar que los granos de la variedad PIONNER tienen mayor valor de porcentaje de proteínas (8.9%), sin embargo el maíz variedad QPM-H368C tiene mayor calidad proteínica por su contenido de lisina y triptófano (Rojas-Molina *et al.*, 2008).

3.2.2.3 Contenido de Cenizas del grano nativo

El contenido de cenizas para las dos variedades se muestra en la tabla 9, los resultados obtenidos están dentro del rango promedio para ambos materiales que es de 1.1 a 3.9 según lo establecido por Watson y Ramstad (1987).

Cabe destacar que la concentración de los minerales depende de la riqueza de las tierras en que se cultivó. La parte donde se encuentran localizados los minerales en un grano de maíz es el germen, porque son esenciales para el crecimiento del embrión. Los maíces QPM tienen la característica de que su porcentaje en peso del germen es menor que el de granos convencionales con calidad nixtamalera (Serna-Saldívar *et al.*, 1996).

Tabla 9. % Cenizas en granos de maíz nativo QPM H368C Y PIONNER

Componente	QPM-H368C (%)	PIONNER (%)
Cenizas ¹	1.4 ± 0.16	2.3± 0.11

Los valores representan el promedio ± la desviación estándar, (n=3), ¹porcentaje en base seca

El contenido de cenizas fue mayor en el grano de la variedad PIONNER que en la variedad QPM-H368C, probablemente porque el porcentaje de germen es menor en este tipo de granos.



3.2.2.4 Concentración de calcio endógeno

La concentración de calcio endógeno se reporta en la tabla 10, la determinación se realizó en el pericarpio crudo para cada tipo de maíz por la técnica de espectrofotometría de absorción atómica. Esta determinación fue necesaria debido a que el maíz como tal tiene su correspondiente proporción de calcio endógeno, al cual se le va a sumar el calcio que el grano retiene durante la cocción y el reposo en el proceso de nixtamalización, para finalmente tener la cantidad de calcio total que se fija. Además la concentración de calcio fijada en el pericarpio es otro de los parámetros que sirvió para establecer el tiempo de cocción.

Tabla 10. % de calcio endógeno del grano de maíz QPM-H368C y PIONNER

Calcio endógeno¹	QPM-H368C (%)	PIONNER (%)
Pericarpio	0.03 ± 0.10	0.034 ± 0.17

Los valores representan el promedio ± la desviación estándar, (n=3), ¹Calcio presente en el maíz crudo

Los valores de calcio endógeno, fueron mayores en la variedad PIONNER, esto es por el tipo de tierra en que fue cultivado el grano.

3.3 Experimento piloto

El experimento piloto permitió conocer los equipos y familiarizarse con la forma de operarlos, el desglose de estas actividades se mostró en el capítulo 2, actividad 2.3.

3.4 Selección de variables independientes y niveles de variación

La selección de variables independientes y niveles de variación fueron las mismas para las dos variedades de maíz. Estas actividades se realizaron en el punto 2.4 del capítulo 2 correspondiente a la metodología de este mismo trabajo.



3.5 Establecimiento de condiciones de trabajo

En el capítulo 2 de metodología, se establecieron las condiciones de trabajo y los puntos críticos del proceso térmico-alcalino para realizarlo en las 2 variedades de maíz utilizadas.

3.6 Preparación y evaluación de las muestras

En el capítulo 2 de metodología se describió para cada objetivo planteado, la preparación de las muestras a las temperaturas propuestas.

En la tabla 11 se presentan las condiciones de proceso utilizadas para las diferentes variedades de maíz y para obtener las unidades experimentales.

Tabla 11. Condiciones de preparación de las muestras

Serie	Temperatura (°C)	Concentración de Ca (%)	Tiempos de cocción (min)
I ^{a, b}	72	1	5,10,15,20,25,30,35,40,45,50,55,60
II ^{a, b}	82	1	5,10,15,20,25, 30,35,40,45
III ^{a, b}	92	1	5, 10, 15, 20, 25

^a Series para la variedad QPM-H368C

^b Series para la variedad PIONNER

Las muestras se procesaron y se obtuvo la historia térmica mostrada en la figura 20. En ella se observa el perfil de calentamiento que se aplicó para las dos variedades de granos a las tres temperaturas 72, 82 y 92 °C de manera independiente.



El tratamiento térmico, dio comienzo a temperatura ambiente. El tiempo del tratamiento térmico-alcalino finalizó cuando cada una de las muestras alcanzaba la misma humedad.

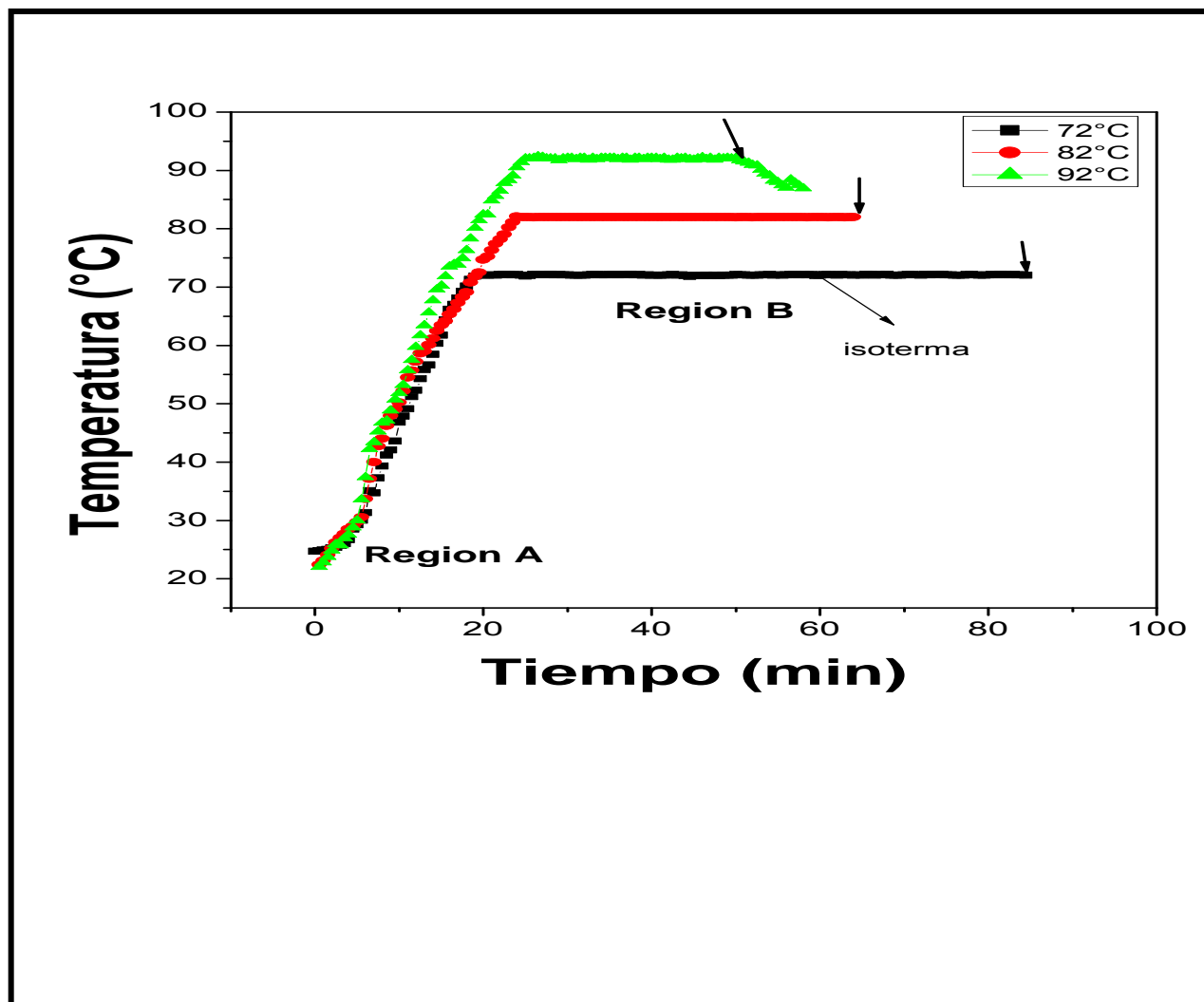


Figura 20. Historia térmica para las temperaturas de 72, 82 y 92 °C

La región **A** representa el calentamiento inicial, que comenzó a una temperatura de 22 °C, con una velocidad de calentamiento de 2.5 °C, esta es la región no isotérmica. Una vez alcanzada por ejemplo la temperatura de 72 °C, se mantuvo la temperatura y se designó como región **B**, la cual corresponde al período isotérmico, es decir es una rampa donde no cambia la temperatura. Las flechas indican el término de la etapa de cocimiento.



Se puede apreciar en la figura 20 que la región B, o sea la zona isotérmica fue más larga para la temperatura de 82 °C y aún más para 72 °C esto es debido a que a esas temperaturas, el tiempo requerido para llegar a intervalo de humedad de 34-36 % en los granos de maíz fue mayor que a 92 °C. Esto indica que la capacidad de absorción de agua tiene una clara dependencia con la temperatura a la que se trabaje. A temperaturas más altas el tiempo se reduce notablemente porque aumenta la difusión del líquido de cocimiento.

3.7 Resultados por objetivo durante el tratamiento térmico-alkalino

Se realizaron las determinaciones de humedad, pH y concentración de calcio fijado en el pericarpio para establecer el tiempo de cocción de cada variedad de maíz QPM-H368C y PIONNER en la primera etapa del proceso de nixtamalización. El parámetro de medición para el establecimiento del tiempo de cocción es el desprendimiento del pericarpio frotado con los dedos de la persona que realiza el tratamiento.

Los resultados de las variables humedad, pH y concentración de calcio en pericarpio también fueron correlacionados con el desprendimiento del pericarpio.

Los tiempos de cocción parten de la temperatura ambiente hasta alcanzar la temperatura de trabajo para cada evento, donde se mantuvo la isoterma hasta que concluyó la cocción de los granos.

3.8 Análisis de resultados de los objetivos particulares

3.8.1 Análisis de resultados del objetivo particular 1

Actividad 1.1: Se seleccionaron las variables y niveles de variación.

Actividad 1.2: % de humedad adquirido en el grano

Este objetivo contempló la determinación de la cantidad de agua absorbida de los granos de maíz en la primera etapa del proceso de nixtamalización, los valores fueron obtenidos cada cinco minutos para cada variedad de maíz.



En la figura 21 la gráfica representa la humedad de granos de maíz QPM-H368C a las tres temperaturas empleadas (92, 82 y 72 °C). Podemos apreciar dos aspectos, primero la cantidad de agua que absorbe el grano tiene una dependencia con la temperatura, a mayor temperatura mayor absorción de agua y más rápidamente llegó al rango de humedad establecido a 35-36 %.

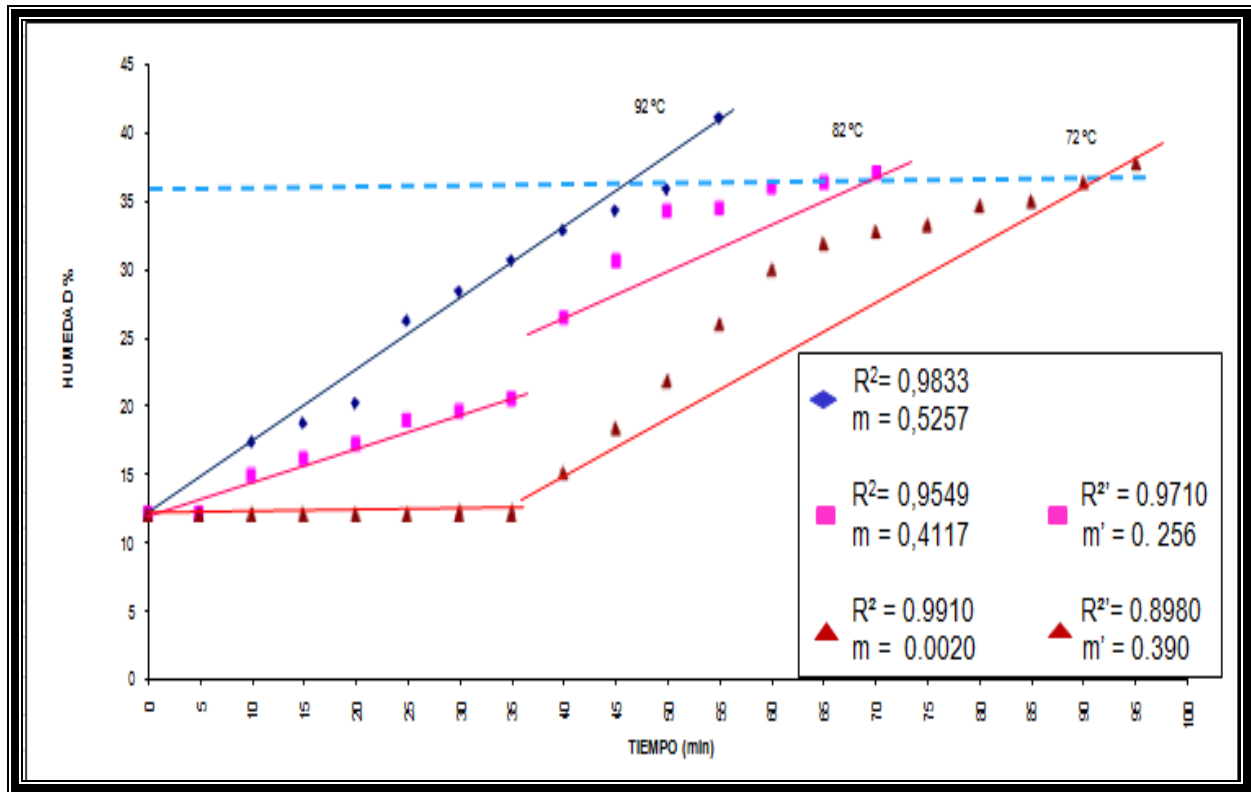


Figura 21. Gráfica de Humedad de granos de maíz QPM- H368C

El segundo aspecto es en cuanto a la tendencia, se observó que a la mayor temperatura (92 °C), la tendencia de la gráfica fue en aumento lo que supone un comportamiento lineal, mientras que a temperatura de 82 y 72 °C, este comportamiento lineal se aprecia en dos etapas; en la primera etapa en ambas temperaturas se aprecia un comportamiento constante que va de los cero minutos a los 35 minutos; esto nos indica que el grano requiere tiempo para lograr hidratarse en su estructura más externa o pericarpio, a esa temperatura la capacidad de absorción de agua es menor, pero una vez que logra absorber el agua el



comportamiento va en asenso conforme aumenta la temperatura; esta es la segunda etapa para ambas temperaturas.

La línea punteada en azul que atraviesa las tres temperaturas en la gráfica corresponde al momento en que las muestras se encuentran en un rango de humedad del 34 al 36 %.

En la figura 22 se representa la humedad en granos de maíz PIONNER a las tres temperaturas propuestas para el proceso de nixtamalización (92, 82, 72 °C). En esta figura se observa también una dependencia con la temperatura. Esta presenta un comportamiento similar en el grano a las temperaturas (82 y 92 °C); observamos que conforme hay un aumento de tiempo a cada temperatura empleada, hay un aumento gradual de humedad en el grano. En esta gráfica se observa que el comportamiento es lineal.

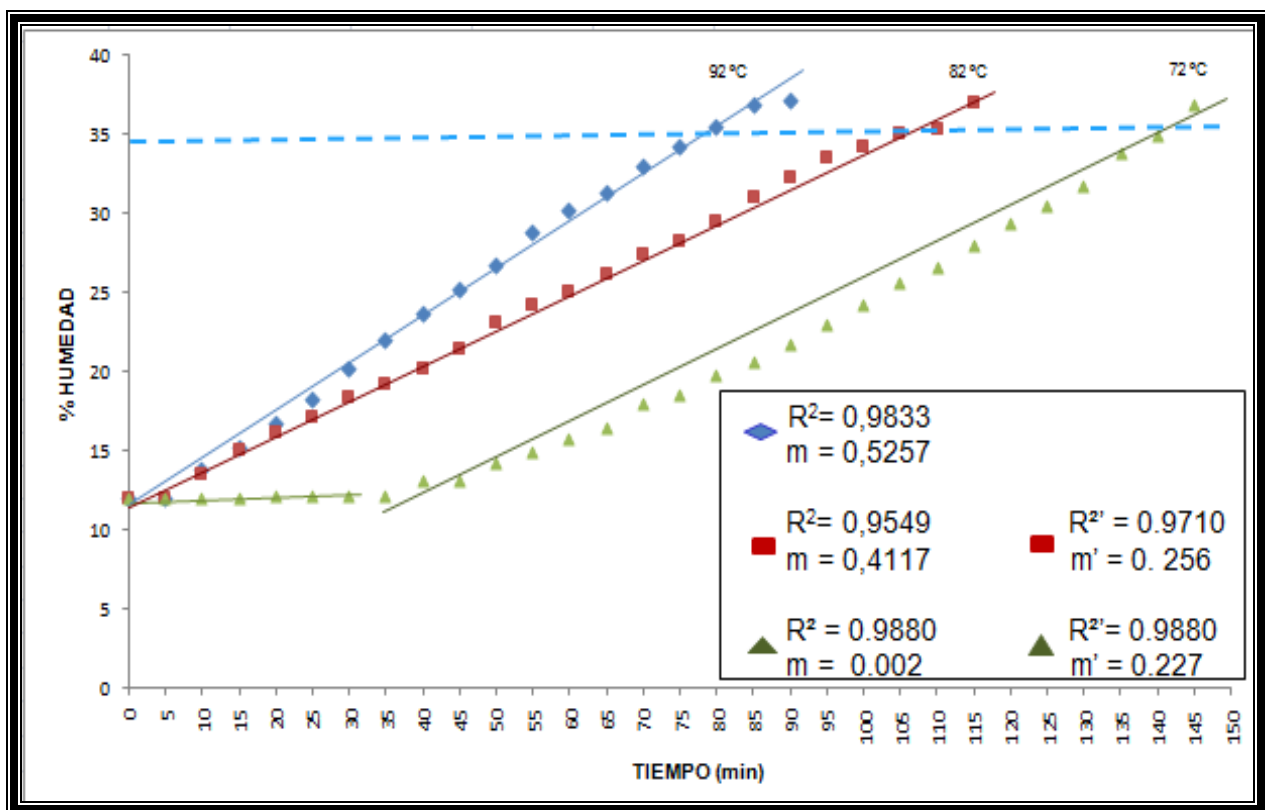


Figura 22. Gráfica de humedad de granos de maíz PIONNER

En la figura 22, también podemos observar que la capacidad de absorción del grano fue mayor a la temperatura más alta, la tendencia de la gráfica fue lineal en las tres



temperaturas, pero de igual forma que en el grano QPM-H368C a la temperatura de 72 °C, observamos que también se presenta un comportamiento en dos etapas; la primera es constante ya que en los primeros minutos el grano no cambia su % de humedad, lo que explica que a esa temperatura el grano retarda su absorción de agua probablemente porque esa temperatura no logra provocar cambios significativos en el pericarpio que faciliten la difusión de agua y calcio al interior del grano.

Los tiempos que requirió la variedad QPM-H368C para llegar a las humedades de 35.69, 35.8 y 36.17 % a las temperaturas de 72, 82 y 92 °C fueron 50, 60 y 90 minutos. Los tiempos que requirió la variedad PIONNER para alcanzar la humedad de 35.37, 35.32 y 34.9 % a esas temperaturas fueron de 80, 110 y 140 minutos correspondientemente.

Podemos observar que los tiempos fueron similares para las dos variedades, esto es debido a que se trata de dos maíces semicristalinos, con características similares. Sin embargo podemos apreciar en la gráfica que en la variedad PIONNER el comportamiento lineal es más evidente, esto posiblemente es debido a que tiene un espesor de pericarpio de 70 μ , mientras que el QPM-H368C tiene un espesor de pericarpio de 87 μ , lo que implica que su hidratación puede ser más uniforme en el pericarpio y la remoción de su epidermis ocurre más rápidamente.

3.8.2 Análisis de resultados del objetivo particular 2

Actividad 2.1: Se seleccionaron las variables y niveles de variación.

Actividad 2.2: Determinación de pH en las muestras durante el tratamiento térmico- alcalino.

En la figura 23 se muestran los valores de pH en muestras de maíz QPM-H368C que fueron obtenidas cada 5 minutos durante la etapa de cocción para todas temperaturas de cocimiento; 72, 82 y 92 °C. Se puede observar que aunque hay fluctuaciones entre cada punto, hay un comportamiento similar, el cual no es significativo ya que el pH con respecto al tiempo no tiene mucha variación; este va de 7 a 8 en las tres temperaturas empleadas, esto



es debido a que los intervalos de tiempo son muy cortos de cinco minutos, sin embargo si observamos el pH al inicio y al término de la etapa si hay una influencia.

Después de aplicar el método de regresión lineal a estos datos, podemos apreciar en los resultados que este método no se ajusta a un comportamiento lineal, ya que hay fluctuaciones entre cada punto, principalmente a las temperaturas de (82 y 92 °C). Aunque también se aprecia que hay un comportamiento constante en los primeros minutos y los cambios se comienzan a dar después de los 20 minutos del proceso térmico-alcalino para las temperaturas de 72 y 82 °C respectivamente.

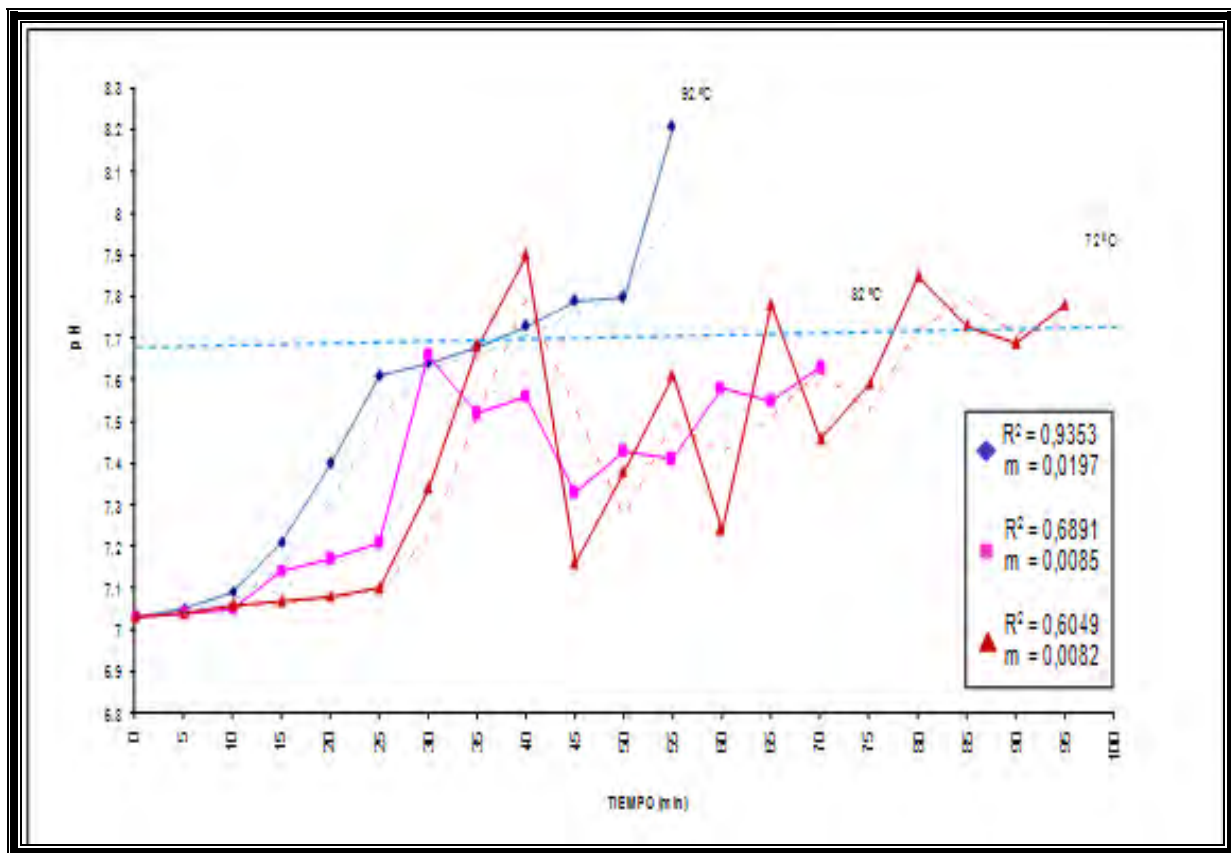


Figura 23. Gráfica de pH de granos de maíz QPM- H368C

Sin embargo, a la temperatura de (92 °C) el comportamiento va en asenso conforme aumenta el tiempo, aunque también se aprecian fluctuaciones entre algunos puntos. Probablemente este comportamiento indiqué que a diferentes lapsos de tiempo durante el



proceso térmico-alkalino se dan cambios físicos, químicos y estructurales en el grano ya que hay absorción de agua y calcio.

En La figura 24, se reportan los valores del comportamiento del pH en la etapa de cocción para la variedad PIONNER.

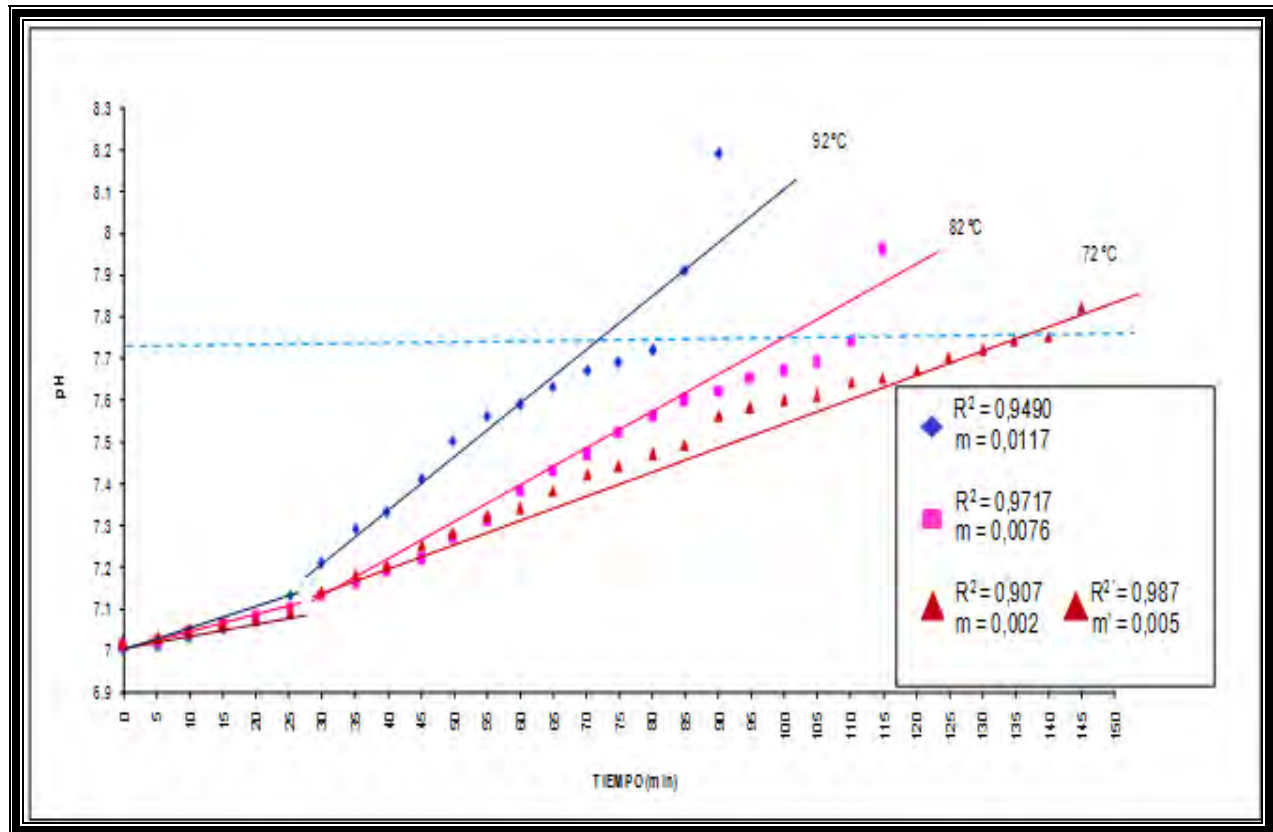


Figura 24. Gráfica de pH de granos de maíz PIONNER

Se puede apreciar que a las tres temperaturas empleadas en el proceso de nixtamalización en tiempos que van en aumento de 5 minutos, es claro el cambio del pH; se observa que se presenta en un rango de 7 a 8.3 debido a que los intervalos de tiempo fueron cortos. Para esta variedad la tendencia de los valores de pH es lineal pero al igual que en la determinación de humedad, se presenta este comportamiento lineal en dos etapas; en la primera para las tres temperaturas empleadas hay un ascenso lento ya que el grano requiere de un aumento gradual de temperatura el cual se mantiene entre 7 y 7.1 de pH hasta los 25 minutos, de ahí en adelante el pH aumenta conforme aumenta la temperatura y el tiempo.



3.8.3 Análisis de resultados del objetivo particular 3

Actividad 3.1: Se seleccionaron variables y niveles de variación.

Actividad 3.2: Determinación de la concentración de calcio fijado en pericarpio.

Las dos variedades QPMH368-C y PIONNER fueron sometidas a diferentes condiciones de proceso, para conocer la concentración que se fijó a las temperaturas de 72, 82 y 92 °C y tiempos de cocimiento de grano de: 0 a 100 minutos con determinaciones cada 5 minutos. Las determinaciones se realizaron para tres temperaturas de cocción 72, 82 y 92 °C. La tendencia de calcio fijado en pericarpio con respecto al tiempo para la variedad QPM H368C se muestra en la figura 25. Cada punto de la gráfica representa el valor de la concentración de calcio fijado en el grano cada cinco minutos. El tiempo cero corresponde al calcio endógeno.

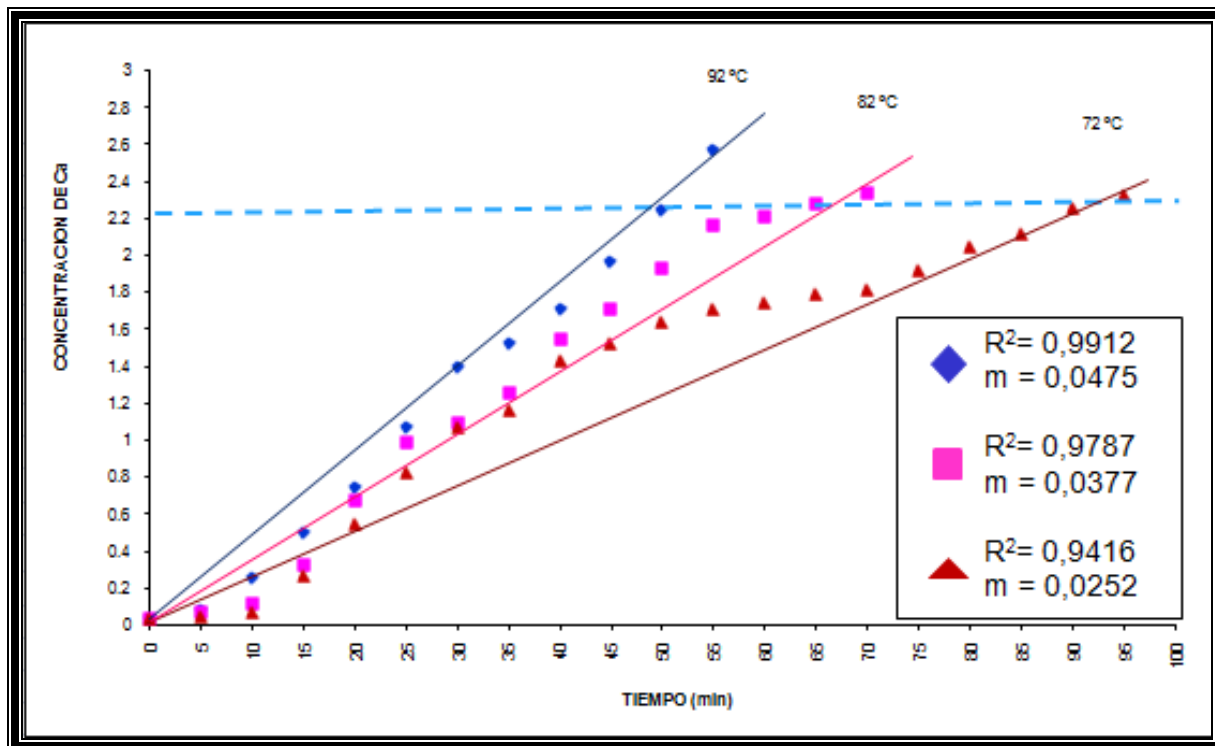


Figura 25. Gráfica de concentración de calcio de granos de maíz QPM- H368C

El primer aspecto que podemos analizar en la figura es que hay una dependencia con la temperatura, es decir a temperatura de 92 °C se presenta mayor concentración de calcio para todos los tiempos con respecto a las temperaturas de 82 y 72 °C.



La temperatura donde se presentó la menor fijación de calcio fue a 72 °C. La línea punteada en azul representa el momento en que las muestras a cada temperatura alcanzaron la misma concentración de calcio y con ese dato se define el tiempo de cocción. Este parámetro posteriormente se correlacionó con la humedad de la muestra, con el pH de la misma y con el tiempo en el que se desprende el pericarpio frotándolo entre los dedos.

Otro aspecto importante que podemos apreciar es el comportamiento de calcio en pericarpio en función del tiempo. Este presentó una tendencia lineal para las tres temperaturas y los valores de la pendiente fueron para 92, 82 y 72 °C, de 0.0475, 0.0377 y 0.0252 correspondientemente. Esto indicó que al procesar las muestras a mayores temperaturas la razón de cambio entre la concentración de calcio fijada y el tiempo fue menor a temperatura de 72 °C y fue en aumento a 82 °C y fue aún mayor a 92 °C.

En la figura 26 la gráfica representa la concentración de calcio en granos de maíz PIONNER durante el tratamiento térmico-alcalino a las tres temperaturas empleadas para el mismo de manera independiente (92, 82 y 72 °C).

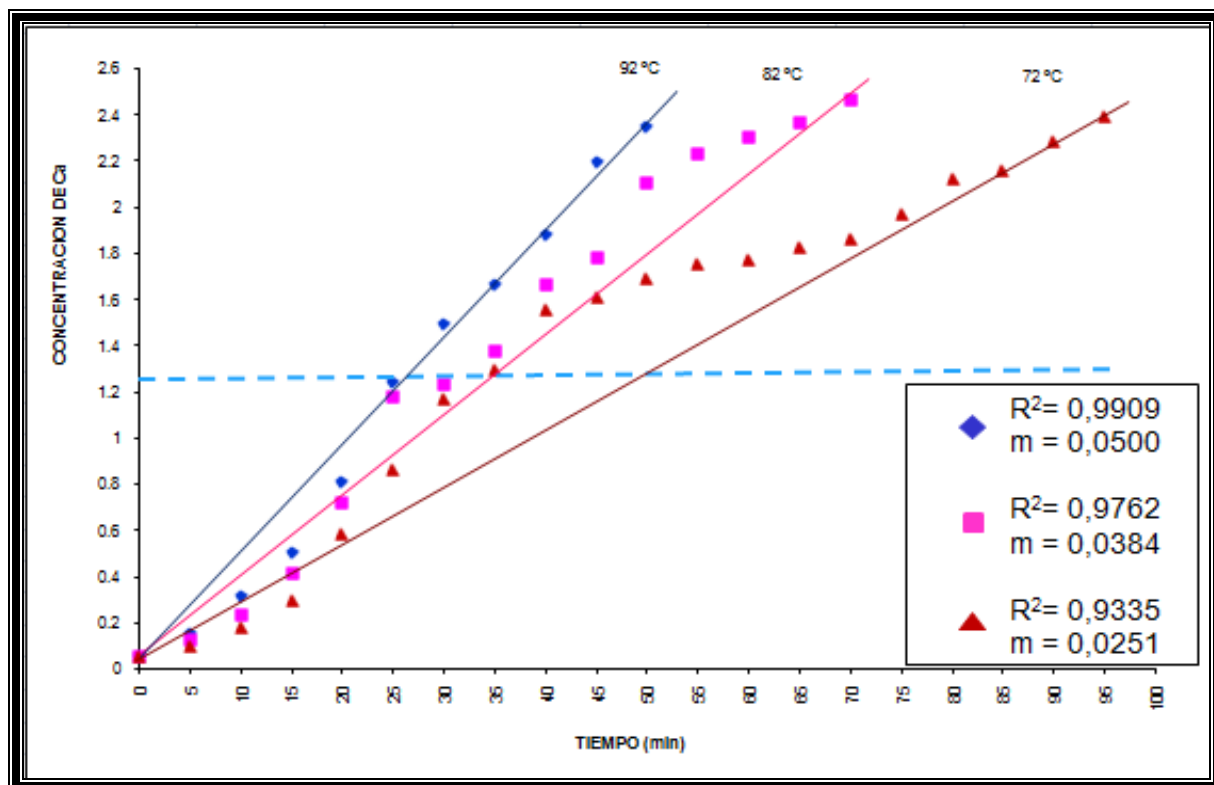


Figura 26. Gráfica de concentración de calcio de granos de maíz PIONNER



Se puede apreciar que la tendencia de la gráfica también es lineal para las tres temperaturas empleadas; pero a la mayor temperatura (92 °C), el tiempo para absorber y tener la mayor fijación de calcio fue menor. Al realizar el análisis comparativo entre las dos variedades de maíz, se evidenció con estos datos que la razón de cambio fue mayor en el maíz PIONNER para las mismas condiciones de tiempo y temperatura que en el QPM-H368C. Sin embargo, las tendencias son muy similares.

3.9 Análisis Estadístico.

Al realizar el análisis de regresión lineal en las dos variedades de maíz y posteriormente el análisis comparativo entre ambas se observó con estos datos, que el comportamiento en las determinaciones de humedad y concentración de calcio fijado en pericarpio, la razón de cambio fue mayor en el maíz PIONNER para las mismas condiciones de tiempo y temperatura empleadas que en el QPM-H368C, esto de acuerdo a los valores obtenidos de las pendientes que se pueden observar en las figuras 21, 22, 25 y 26. Aunque en la graficas se aprecian algunas fluctuaciones entre cada punto, se aprecia que la tendencia va en aumento conforme aumenta el tiempo y a temperaturas mayores el tiempo empleado es menor. Sin embargo para la determinación de pH en la figura 23 el comportamiento no puede tratarse como un modelo lineal ya que hay cambios muy significativos entre cada punto que pueden estar indicando que hay cambios en el grano, pero las tendencias son muy similares a las tres temperaturas empleadas, por lo que se recomienda emplear otro tipo de análisis para la determinación de pH en el grano QPM-H368C.



CONCLUSIONES

El estudio de los parámetros fisicoquímicos utilizados para la primera etapa del proceso de nixtamalización, definió los tiempos de cocción para dos variedades de maíz con dureza intermedia. Estos resultados permitieron establecer una nueva metodología que puede ser aplicada para diferentes variedades de maíz y encontrar el tiempo en que debe procesarse a diferentes temperaturas.

- Los resultados de la determinación de humedad se plantearon para conocer la cantidad de agua absorbida por los granos en función del tiempo. Lo cual se realizó durante la etapa de cocimiento para las dos variedades de maíz QPM-H368C y PIONNER. Se observó que existe una dependencia directa con la temperatura de cocimiento, es decir se presentan granos más hidratados a temperaturas mayores en menor tiempo.
- A temperaturas de 72 °C la humedad del grano fue la misma en los primeros minutos de la etapa de cocción, lo que explica que a esta temperatura requiere mayor tiempo para removerse la estructura externa o pericarpio y favorecer la entrada de la solución alcalina al interior de las otras estructuras. Sin embargo, después presentó el mismo comportamiento que las temperaturas de 82 y 92 °C, con una tendencia lineal.
- Los tiempos que requirieron las dos variedades de maíz QPM H368C Y PIONNER para llegar al intervalo de humedades de 34.5-36.5 % fueron muy similares para las tres temperaturas, debido a que los granos seleccionados son semiduros, pero de espesores de pericarpio diferentes de 87 y 72 μ , correspondientemente.
- Con respecto a los valores de pH para la variedad QPM-H368C en muestras que fueron obtenidas cada 5 minutos durante la etapa de cocción para todas temperaturas de cocimiento; 72, 82 y 92 °C hubo fluctuaciones entre cada punto. Hubo un comportamiento similar, el cual no es significativo ya que el pH con respecto al tiempo no tiene mucha variación; este va de 7 a 8 en las tres temperaturas



empleadas, esto es debido a que los intervalos de tiempo son muy cortos de cinco minutos. Para esta determinación el comportamiento no se ajustó al método lineal por lo que se recomienda utilizar otro método estadístico para tratar estos datos.

- En cambio en los valores de pH para la variedad PIONNER no hay cambios significativos. Los cambios se presentaron en un rango de 7 a 8.3. debido a que los intervalos de tiempo fueron cortos, pero si se ven cambios desde el pH inicial y el final. La tendencia en esta variedad es una línea recta.
- La variable de la concentración de calcio en pericarpio, con respecto al tiempo de cocimiento para las dos variedades de grano presentaron una tendencia lineal y una clara dependencia con las temperaturas de proceso 72, 82 y 92 °C, ya que al aumentar la temperatura también aumento la concentración de calcio fijado.
- La concentración de calcio también mostró una dependencia directa con la fijación de calcio en el pericarpio y a mayores tiempos de cocimiento, mayor cantidad del mineral en las muestras de pericarpio.
- Cabe mencionar que en el maíz PIONNER se capta más calcio, dado que este híbrido de maíz tiene un pericarpio más delgado y más rápidamente se hidrata con la solución alcalina, de manera que en menor tiempo fija más calcio que el maíz QPM-H368C.
- Al procesar las muestras a mayores temperaturas la razón de cambio entre la concentración de calcio fijada y el tiempo es menor a temperatura de 72 °C y va en aumento a 82 °C y es aún mayor a 92 °C. Al realizar el análisis comparativo entre las dos variedades se evidencia con estos datos que la razón de cambio fue mayor en el maíz PIONNER para las mismas condiciones de tiempo y temperatura que el QPM-H368C. Sin embargo, las tendencias son muy similares.



-
- La variable más adecuada para estandarizar el tiempo de cocción de los granos de ambas variedades fue la humedad del grano debido a que fue la que se puede obtener de manera inmediata. La de la concentración de calcio residual es la más precisa, pero requiere de mayor tiempo y más trabajo experimental. La determinación de pH no reflejó cambios importantes entre los tiempos de cocción y además podría tener inferencia la acidez del grano que se desee estudiar.



RECOMENDACIONES

De igual manera, de acuerdo a lo estudiado en este trabajo, se tienen las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda aplicar la metodología desarrollada en este trabajo, con el uso de parámetros cuantitativos, el pH de la muestra, la humedad del grano y la concentración de calcio fijado en el pericarpio en distintas variedades de maíz para conocer si tienen potencial nixtamalero.
- Es necesario también aplicar la nueva metodología con granos de maíz de diferente dureza; granos suaves, granos semiduros, y granos duros, debido a que pueden tener diferente destino de aplicación.
- Es recomendable realizar estudios de calidad de los granos y correlacionarlos con la metodología desarrollada en este trabajo.
- Es necesario correlacionar la metodología recomendada con las normas oficiales (NMX-FF-034-1-SCF-2002). *Harina de maíz nixtamalizado*; y (NMX-FF-034/2-SCFI-2003). *Productos alimenticios no industrializados para uso humano. Cereales. Maíz amarillo para elaboración de almidones y derivados. Especificaciones y métodos de prueba*, con la obtenida en este trabajo.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ✓ AACC (1993). *Approved Methods of AACC*. 3rd Ed. Methods 46-11 and 54-30A. The Association: St. Paul, Minnesota, USA.
- ✓ AACC (2000). *Approved Methods of AACC*. 10th Ed. American Association of Cereal Chemists. The Association: St Paul, M.N. USA.
- ✓ AOAC (1998). *Oficial Methods of Analisis*. 8th Ed. Oficial Methods 968.08 Association of Official Analytical Chemists: Arlington. V. A.
- ✓ AOAC (2000). *Oficial Methods of Analisis*. 17th Ed. Oficial Methods 965.17 Association of Official Analytical Chemists: Gaithersburg, M. D.
- ✓ Amézquita, E. ; Chávez, L. F. ; Molina, D. L. ; Hoyos, P. y Galvis, J. H. (2003). *Susceptibility to compaction of improved soils (Oxisols) in the Eastern Plains of Colombia. International Soil Tillage Research Organisation Conference, Proceedings of ISTRO-16 "Soil Management for Sustainability"*. Brisbane, Australia, 13-18. p. 29-35.
- ✓ Arenas, A. J. A. (1999). *Microscopía electrónica de barrido de bajo vacío*. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ). Ed. UNAM. México, D. F. p. 1-73.
- ✓ Badui, D. S. (1990). *Química de los Alimentos*. Ed. Alambra. México, D. F. p. 70-130.
- ✓ Barros, C. y Buenrostro, M. (1997). *"El maíz nuestro sustento"*. Arqueología Mexicana. Editorial Raíces / Instituto Nacional de Antropología e Historia. Volumen V, N. 25. México, D. F. p. 6-15.
- ✓ Bazua, C. D. ; Guerra, R. y Sterner, H. (1979). Extruded corn flour as an alternative to lime heated corn flour for tortilla preparation. *Journal Food Sci.* **44**: 940-941.
- ✓ Bressani, R. y Mertz, E. T. (1958). Studies on corn protein. IV. Protein and amino acid content of different corn varieties. *Cereal Chem.* **35**: 227-235.
- ✓ Bressani, R. (1971). Amino acid supplementation of cereal grain flours tested in children. En N. S. Schrimshaw y A. M. Altschul. Ed. Amino acid fortification of protein foods. Cambridge, Mass. ; EE. UU. ; MIT Press. p. 184-204.
- ✓ Bressani, R. (1983). World needs for improved nutrition and the role of vegetables and legumes Asian Vegetable Research and Development Center. 10th Anniversary Monograph Series. Shanhua, Taiwan. AVRDC. AVRDC Pub. 83-185.
- ✓ Bressani, R. (1990). Chemistry, technology and nutritive value of maize tortillas. *Foods Rev. Int.*, **62**: 225.



- ✓ Bressani, R. (1992). Nutritional value of high lysine maize in humans. Ch. 12 In: Quality protein Maize. E. T. Mertz. Ed. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN, USA.
- ✓ Burge, R. M. y Duensing, W. J. (1989). Processing and dietary fiber ingredient applications of corn bran. *Cereal Foods World*. **34**: 535-538.
- ✓ Castañeda, P. R. (1990). *El cultivo del maíz*. Ed. AGT. México, D. F. p. 32-89.
- ✓ CIMMYT (1994). 1993/94 World maize facts and trends. Mexico, D. F.
- ✓ Chang, Y. H. y Hsu, K. H. (1985). Extent of starchgelatinization during hydrothermal processing of corn in masa production. (Abstract). *Cereal Foods World*. **30**: 545.
- ✓ Código FAO: 86 AGRIS: S01, (1998). Apéndice IV: Código provisional de procedimientos para una correcta alimentación animal.
- ✓ Duran de Bazua, C. (1987). *Recycling of corn processing wastes*. Reaprovechamiento de efluentes de la industria del maíz. Informe final de proyecto. Pub. UNAM/UNEP. ISBN. p. 90-100.
- ✓ FAO/WHO, (1990). *Protein quality evaluation*. Report of joint expert consultation. Food and Nutrition. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome. p. 51-56.
- ✓ FAO, (1992). *Anuario de producción. Superficie cosechada, rendimiento de maíz y usos*. Reporte técnico. Roma Italia. **52**: 17-32
- ✓ FAO, (1998). *Impactos del mejoramiento de maíz en América Latina*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. p. 1-3.
- ✓ Fernández-Muñoz, J. L. ; Rodríguez, M. E. ; Pless, R. C. ; Martínez, L. I. y Baños, L. (2002). Changes in nixtamalized corn flour dependent on post cooking steeping time. *Cereal Chem*. **79**: 162-166.
- ✓ Fernández-Muñoz, J. L. ; Rojas-Molina, I. ; González-Dávalos, M. L. ; Leal M. ; Valtierra, M. E. ; Martín-Martínez, E. y Rodríguez, M. E. (2004). Study of calcium ion diffusion in components of maize kernels during traditional nixtamalization process. *Cereal Chem*. **81**: 65-69.
- ✓ Finney, P. L. (1973). A review of older and some newer short-time bread-baking studies. *Bakers' Digest*. **51(3)**: 31.
- ✓ Figueroa, C. J. de D. ; Acero, G. M. G. ; Vasco, M. N. L. ; Lozano, G. A. y Flores, A. L. M. (2003). Nutritional quality of nixtamal tortillas fortified with vitamins and soy proteins. *Journal of Food Sci. Nut*. **54 (3)**: 189-200.
- ✓ Galinat, W. C. (1977). The origin of corn. En G. F. Sprague, Ed. Corn and corn improvement. Madison, Wis. , EE.UU. , Am. Soc. Agron. p. 1-47



- ✓ Graham, G. G. ; Lembcke, J. y Morales, E. (1990). Quality protein maize as the sole source of dietary protein and fat for rapidly growing young children. *Pediatrics*. **85**: 85-89.
- ✓ Gómez, M. H. ; Rooney, L. W. ; Waniska, R. W. y Pflugfelder, R. L. (1987). Dry corn masa for tortilla and snack food production. *Cereal Foods World*. **32**: 372.
- ✓ Gómez, M. H. ; Mc Donough, C. M. ; Rooney, L. W. y Waniska, R. D. (1988). Changes in corn and sorghum during nixtamalization and tortilla baking. *Journal Food Sci.* **54**: 330-336.
- ✓ Gómez, M. H. ; Rooney, L. W. (1994). Starch characterization of nixtamalized corn flour. *Cereal Chem.* **68**: 578-582.
- ✓ Gutierrez-Marcos, J. F. ; Costa, L. M. y Evans, M. (2006). Maternal gametophytic baseless is required for development of the central cell and early endosperm patterning in maize (*Zea mays*). *Genetics* **174**: 317-29.
- ✓ Gutiérrez, C. E. ; Rojas-Molina, I. ; Pons-Hernández, J. L. ; Guzmán, H. ; Aguas-Ángel, B. ; Arenas, J. ; Fernández, P. ; Herrera, G. y Rodríguez, M. E. (2007). Study of calcium ion diffusion in nixtamalized quality protein maize as a function of the cooking temperature. *Cereal Chem.* **84 (2)**: 186-194.
- ✓ Hart, E. R. (1985). Cereal processing. *US Patent*. **4**: 555: 409.
- ✓ Hesseltine, C. W. (1979). Some important fermented foods of mid-Asia, the Middle East and Africa. *J. Am. Oil Chem. Soc.* **56**: 367-374.
- ✓ Hoseney, R. C. y Wasson, C. E. (1974). En Watson S. A. y P. E. Ramstad. Ed. *Corn: Chemistry and technology*. St Paul, Minn. p. 253-272.
- ✓ Howe, E. E. ; Janson, G. R. y Gilfillan, E. W. (1965). Amino acid supplementation of cereal grains as related to the world food supply. *Am. J. Clin. Nutr.* **16**: 315-320.
- ✓ Hurtado-Castañeda, D. M. ; Fernández, J. ; Gutiérrez, E. ; Rojas-Molina, I. ; Fernández-Muñoz, J. L. y Rodríguez, M. E. (2005). The diffusion of calcium ion into the organic layers studied by a differential photoacoustic system. *Journal Physique*. **IV**: 1251-1255.
- ✓ Instituto de Investigaciones Tecnológicas (1971). *Harinas precocidas de cereales*. Primera fase. Informe preparado para la OEA. Bogotá, Colombia, Tomo II. p. 27-39.
- ✓ Klaus, J. L. y Karel, K. (1991). *Handbook of Cereal Sci. And Technology*. **23 (2)**: 321-325.
- ✓ Lutz, B. y Herrera, F. (2007). *Organizaciones de producciones de maíz en el estado de México, papel de las instituciones e importancia de las coyunturas políticas*. Ciencia



- Ergo Sum, marzo-junio 2007, vol 14, num 001 Universidad Autónoma del Estado de México. p. 15-26.
- ✓ Mangelsdorf, P. C. y Reeves, R. G. (1939). *The origin of Indian corn and its relatives*. Texas Agric. Exp. Stn. College Station, Texas, E. E. U. U. Boletín No. 574.
 - ✓ Matías-Alonso, M. (1982). Tlayolli: *el pan de los indios de Acatlán, Chilápan de Álvarez, Guerrero. Nuestro maíz, treinta monografías populares*. México, D. F. Secretaría de Educación Pública, Museo Nacional de Culturas Populares. p. 91-139.
 - ✓ Méndez-Albores J. A. ; Arámbula-Villa G. ; Loarca-Piña M. G. ; Castaño-Tostado E. y Moreno-Martínez, E. (2005). Safety and Efficacy Evaluation of Aqueous Citric Acid to Degrade B-aflatoxins in Maize. *Food and Chemical Toxicology*. **43**: 233-238.
 - ✓ Montgomery, D. C. (1991). *Diseño y análisis de experimentos*. Ed. Iberoamericana. México, D. F. p. 429-462.
 - ✓ Moreno, M. J. D. (1989). *Temperate and tropical evaluation of temperate maize line derived from totally photosensitive materials*. Unpublished Ph. D. Dissertation Thesis. North Carolina State University, Raleigh. p. 182-186.
 - ✓ (NMX-FF-034-1-SCF-2002). *Harina de maíz nixtamalizado*. Norma Mexicana. Secretaria de fomento Industrial. Dirección de Normas.
 - ✓ (NMX-FF-034/2-SCFI-2003). *Productos alimenticios no industrializados para uso humano. Cereales. Maíz amarillo para elaboración de almidones y derivados*. Especificaciones y métodos de prueba.
 - ✓ Oke, O. L. (1967). Chemical studies on the Nigerian foodstuff "ogi". *Food Technology*. **21**: 202-204.
 - ✓ Orr, M. L. y Walt, B. K. (1957). *Amino acid content of foods*. Home Economics Research Report No. 4. Washington, D. C. ; Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. p. 88-93.
 - ✓ Ortega, F. I. ; Villegas, E. y Vasal, S. K. (1986). A comparative study of protein changes in normal and quality protein maize during tortilla making. *Cereal Chem*. **63**: 446-451.
 - ✓ Paredes-López, O. y Saharopulos-Paredes, M. E. (1983). Maize. A review of tortilla production technology. *Bakers Digest*. **57**: 16-25.
 - ✓ Paredes-López, O. ; Guzmán Maldonado, H. y Serna-Saldívar, S. (2000). *Los alimentos mágicos de las culturas indígenas de México*. El caso de la tortilla. El Colegio de Sinaloa. Sinaloa, México. p. 107-123.
 - ✓ Pflugfelder, R. L. ; Rooney, L. W. y Waniske R. D. (1988). *Cereal Chem*. **65**: 127-132.
 - ✓ Reyes, C. P. (1980). *El maíz y su cultivo*. Ed. AGT. Ed. México, D. F. p. 15-18.



- ✓ Robutti, J. L. ; Hoseney, R. C. y Deyoe, C. W. (1974). Modified opaque-2 corn endosperm. I. Protein distribution and amino acid composition. *Cereal Chem.* **51**: 163-172.
- ✓ Rodríguez, Q. F. (1972). *Mejoramiento nutricional del maíz*. Editores INCP. Guatemala. p. 109-125.
- ✓ Rojas-Molina, I. ; Gutierrez, E. ; Cortes-Acevedo, M. E. ; Falcon, A. ; Bressani, R. ; Rojas, A. ; Ibarra, C. ; Pons-Hernandez, J. L. ; Guzman-Maldonado, S. H. ; Cornejo-Villegas, A. y Rodriguez, M. E. (2008). Analysis of quality protein changes in nixtamalized QPM flours as a function of the steeping time. *Cereal chem.* **85 (3)**: 409-416.
- ✓ Rooney, L. W. y Serna-Saldívar, S. O. (1987). *Food uses of whole corn and drymilled fractions*. En S. A. Watson y P. E. Ramsted. Ed. Corn: chemistry and technology. St Paul., Minn., EE. UU., Am. Assoc. Cereal Chem.
- ✓ Saldaña, G. y Brown, H. E. (1984). Nutricional composition of corn and flour tortillas. *Journal Food. Sci.* **49**: 1202-1203.
- ✓ Salinas, M. Y. ; Martínez, B. F. y Gómez, H. J. (1982). Comparación de métodos para medir la dureza del maíz. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* **42**: 59-63.
- ✓ SAGARPA. (2007). *El maíz representa más del 11% del PIB agropecuario del país*. No 264/07. México D. F.
- ✓ Serna-Saldívar, S. O. ; Knabe, D. A. ; Rooney, L. W. y Tanksley, T. D. (1987). Effect of lime cooking on energy and protein digestibility of maize and sorghum. *Cereal Chem.* **64**: 247-252.
- ✓ Serna-Saldívar, S. O. ; Tellez-Giron, A. y Rooney, L. W. (1988). Production of tortilla chips from sorghum and maize. *J. Cereal Sci.* **8**: 275-284.
- ✓ Serna-Saldívar, S. O. ; Gómez, M. H. y Roney, L. W. (1990). Technology, Chemistry and Nutritional Value of Alkaline Cooked Corn Products. Advances of Cereal Science and Technology. Cap. 4, in Y. Pomeranz Ed. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA. *Cereal Sci.* **10**: 243-307.
- ✓ Serna-Saldívar, S.O. ; Rooney, L. W. y Greene, L. W. (1992). Effect of lime treatment on the availability of calcium in diets of tortillas and beans. Bone and plasma composition in rats. *Cereal Chem.* **69**: 78-81.
- ✓ Serna-Saldívar, S. O. ; Gómez, M. H. y Rooney, L. W. (1994). *Food uses of regular and specialty corns and their dry-milled fractions*. In A. R. Hallauer. Ed. Specialty corns. Boca Raton, FL, USA, CRC Press. p. 263-298.



- ✓ Serna-Saldívar, S. O. (1996) *Química, almacenamiento e industrialización de los cereales*. Ed. AGT. México. p. 37-42.
- ✓ Skoog, A. D. y Learly, J. J. (1995). *Análisis Instrumental*. Ed. Mc Graw-Hill. México, D. F. p. 227-295.
- ✓ Trejo-González, A. ; Feria-Morales, A. y Wild-Altamirano, C. (1982). *The role of lime in the alkaline treatment of corn of tortilla production*. Modifications of proteins Food, nutritional, and pharmacological aspects. In advances in Chemistry. R. E. Freney y Whitaker, J. R. Ed. Acs: Washington, D. C. p. 245-263.
- ✓ Watson, S. A. y Ramstad, P. E. (1987). Corn. Chem. and Techn. *Cereal Chem.* Inc. St. Paul, Minnesota, U. S. A. p. 21-123.
- ✓ Weber, E. J. (1987). *Lipids of the kernel*. Corn. Chem. and techn. En S. A. Watson y P. E. Ramstad, (1987). Ed. St Paul, E E. U U. ; Am. Assoc. Cereal Chem. p. 311 -349.
- ✓ White, J. P. y Johnson, L. A. (2003). *"Description, development, structure and composition of the corn kernel "*. Chapter 3. In Corn Chem. and Techn. 2 Ed. American Association of Cereal Chem. Inc. Minnesota, USA. p. 69-78.
- ✓ Wolf, M. J. ; Buzan, C. L. ; Mac Masters, M. M. y Rist, C. E. (1952). Structure of the mature corn kernel. *Cereal Chem.* **29**: 321-382.
- ✓ Wolf, M. J. ; Khoo, V. y Seckinger, H. L. (1969). Distribution and subcellular structure of endosperm protein in varieties of ordinary and high-lysine maize. *Cereal Chem.* **46**: 253-263.
- ✓ Zazueta, C. ; Ramos, G. ; Fernández-Muñoz, J. L. ; Rodríguez, M. E. ; Acevedo-Hernández, G. y Pless, R. C. (2002). A radio isotopic study of the entry of calcium into the maize kernel during nixtamalization. *Cereal Chem.* **79**: 500-503.



ACRÓNIMOS

AACC = Asociación Americana de Químicos de Cereales. (American Association of Cereal Chemists.)

AOAC = Asociación Oficial de Químicos Analistas. (Association of Oficial Analytical Chemists).

CIMMYT = Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo.

FAO = Organización para las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

INIFAP = Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.

INIA = Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas.

NMX = Norma Oficial Mexicana.

OMS = Organización Mundial de la Salud.

UNU = Universidad de Naciones Unidas.

ANEXOS

Este trabajo fue presentado en el 3er Congreso de Nixtamalización de Maíz en la modalidad póster, cuya constancia se muestra en la siguiente página.

**3er Congreso Internacional de Nixtamalización
Del Maíz a la Tortilla**
Querétaro México, 19 al 22 de octubre de 2008

Otorga la presente

Constancia a:

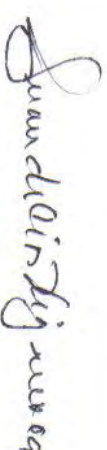
I. A. Alma Isabel Hernández Sámamo

Por la presentación del trabajo en cartel titulado:

**ESTABLECIMIENTO DEL TIEMPO DE COCCIÓN
DE GRANOS DE MAÍZ VARIEDAD QPM H-368C
CON PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS**



Dr. Mario E. Rodríguez G.



Dr. Juan de Dios Figueroa C.