



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

**BALANCE DE MATERIA SECA EN EL TRATAMIENTO TERMICO-ALCALINO,
DURANTE EL PROCESO DE NIXTAMALIZACIÓN.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO EN ALIMENTOS

PRESENTA

Luis Patricio Salazar Álvarez

ASESORA

M en C. Elsa Gutiérrez Cortez



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

RESUMEN

En el presente estudio se determinó la materia seca pérdida de granos de maíz durante el proceso de nixtamalización, la cual corresponde a desprendimiento de las estructuras; pericarpio, germen y endospermo del grano. Esta determinación se realizó mediante balances de materia en muestras obtenidas a diferentes condiciones experimentales. Los granos fueron cocidos a diferentes temperaturas 72, 82, 92 °C, a las que se les denominó serie I, II, III, respectivamente, en cada una de las series los granos fueron reposados en su licor de cocción de manera independiente: 0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 y 15 horas. Lo anterior con el propósito de establecer las pérdidas de materia en una diferente gama de condiciones de proceso, esto debido a que en México, se ha permitido un amplio intervalo de niveles de variación para trabajar el proceso de nixtamalización, dependiendo de la zona geográfica y costumbres del lugar. Además de que las pérdidas que se suceden durante el mismo, representan grandes pérdidas económicas para la industria nixtamalera y harinera.

Estos estudios se realizaron en maíz híbrido QPM-HV362 con alta calidad proteica, cultivado, en los campos de Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en el estado de Celaya Guanajuato.

Adicionalmente se realizaron determinaciones de calcio fijados, en el grano por la técnica de espectroscopía de absorción atómica (EAA). Para las pérdidas del fósforo se utilizó la técnica de espectrofotometría UV-VIS, para posteriormente obtener la relación calcio-fósforo en cada uno de los niveles de variación, debido a que la relación debe ser de 1:1 en el alimento para que se presente una mayor absorción de calcio en el organismo humano. También se obtuvieron micrografías en microscopía electrónica de barrido a bajo vacío (LV-SEM) de granos de maíz en la serie III, obtenida a 92 °C, para evidenciar el depósito y la pérdida de calcio en grano a través del tiempo de reposo del cereal.

Se encontró que existe una dependencia directa de la materia seca pérdida con la temperatura de cocción, y que a 92 °C, se presentó la mayor pérdida de materia. Al aumentarse el tiempo en que reposan los granos de maíz en su licor de cocimiento, también se incrementan las pérdidas de materia.

DEDICATORIAS

- ✓ A la Fes Cuautitlan UNAM, por todo el conocimiento adquirido y formar parte ella.
- ✓ A mi Mamá Raquel y mi Papá José Juan por todo el amor, el sacrificio, el esfuerzo, coraje y la confianza que depositaron en mi para que pudiera realizar este trabajo.
- ✓ A mis hermanos Alma y Juan Jacobo por su cariño y apoyo incondicional.
- ✓ A mis sobrinas Megan Y Aneette por brindarme alegría a mi espíritu.
- ✓ A la memoria de mis abuelos maternos Luisa y Javier y paternos Patricio y Raquel.
- ✓ A mi amada piel canela Maria Guadalupe por darme su paz y tranquilidad, felicidad y su amor desinteresado.
- ✓ A mis amigos Mario, Roberto, Carlos, Antonio, Joel, Luis, Alan, José Alfredo y los que me hicieron falta y no recordar su nombre.
- ✓ A todos los a.as. por las palabras de aliento y el apoyo brindado en especial Miguel Ángel, Luciano, Rogaciano y el payaso Mocotito.
- ✓ A el Jefe por ser fuente de inspiración, fortaleza y sabiduría.

Dios mío, dame el valor y la fuerza para ver claramente en este camino de penumbras.

AGRADECIMIENTOS

- ✓ M en C. Elsa Gutiérrez Cortez por su paciencia, tolerancia y creer en mi.
- ✓ Técnico Académico. Roberto Hernández del Instituto de Física por el apoyo en la toma de microscopia electrónica.
- ✓ A los laboratoristas de la nave 2000 de Ingeniería en alimentos.
- ✓ Al señor de las calderas Andrés Canales por todo su apoyo.
- ✓ A las profesoras Laura Cortazar y Frida en los gráficos de minitab.
- ✓ A los sinodales por sus comentarios acertados y las facilidades brindadas para él termino del proyecto.
- ✓ A Maribel Resendiz Mendoza por el gusto de volverla a ver.
- ✓ Y finalmente mil gracias; a toda esa gente que esta en la biblioteca, hemeroteca, coordinación de la carrera, servicios escolares y todo el personal que labora en la facultad por todos los servicios requeridos por mí durante la estancia en la Universidad.

PORTADA	i
RESUMEN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	Pág.
INDICE GENERAL	
INDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE TABLAS.	
INTRODUCCIÓN	1

Capítulo 1	ANTECEDENTES	
1.	Generalidades del maíz	4
1.1.	Estructura del grano de maíz	5
1.1.1	Germen	6
1.1.2	Endospermo	6
1.1.3	Cofia	7
1.1.4	Pericarpio	8
1.2	Propiedades físicas del grano	8
1.2.1	Dureza	8
1.2.2	Textura	9
1.2.3	Vitreosidad	9
1.2.4	Color	10
1.2.5	Formas y tamaños	10
1.2.6	Volumen de vacío	11
1.2.7	Densidad	11
1.3	Composición química del Maíz QPM-HV-362	13
1.3.1	Lípidos	13
1.3.2	Carbohidratos	13
1.3.3	Proteínas	14
1.3.4	Vitaminas	14
1.3.5	Minerales	14
1.3.6	Humedad	15
1.3.7	Trazas de otras sustancias	15
1.4	Importancia del maíz en México	16
1.4.1	Transformación industrial de los granos de maíz	17
1.4.2	Proceso de nixtamalización tradicional	20
1.4.3	Tratamiento térmico-alkalino	22
1.4.4	Proceso industrial de harina de maíz nixtamalizado	23
1.4.5	Cambios fisicoquímicos durante el proceso de nixtamalización	28
1.4.6	Importancia del calcio y fósforo en la nutrición humana	36
1.4.7	Relación calcio / fósforo	37
1.5	Pérdidas de materia seca durante el tratamiento térmico alkalino	39
1.5.1	Pérdidas de materia seca	41

Capítulo 2

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

	Objetivo general	43
	Objetivo particulares	43
	Cuadro metodológico.	44
2	Descripción de actividades preliminares	45
2.1	Caracterización de la materia prima	45
2.1.1	Análisis Físico	45
2.1.1.1	Peso promedio de 1000 granos	45
2.1.1.2	Porcentaje de estructuras de grano	46
2.1.1.3	Dimensiones de los granos	46
2.2.1	Análisis químico	47
2.2.2.2	Calcio endógeno	47
2.2.2.3	Determinación de fósforo endógeno	48
2.3	Establecimiento de las condiciones de proceso	49
2.4	Preparación de las unidades experimentales a diferentes condiciones de proceso	51
	Descripción de actividades por objetivo.	55
2.5	Descripción de actividades para realizar los balances de materia	55
2.6	Determinación de calcio fijado para muestras procesadas	55
2.7	Determinación de fósforo para muestras procesadas	56
2.8	Obtener la relación calcio/ fósforo	56
2.9	Identificación de compuestos de calcio	57
2.10	Análisis estadístico	58

Capítulo 3.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3	Resultados de actividades preliminares	59
3.1	Caracterización de la materia prima	59
3.1.1	Análisis físico	59
3.1.1.1	Peso promedio de 1000 granos QPMHV362	59
3.1.1.2	Porcentaje de estructuras de grano	60
3.1.1.3	Dimensiones promedio de los granos	61
3.1.2	Análisis químico	61
3.1.2.1	Humedad	62
3.1.2.2	Calcio endógeno	62
3.1.2.3	Determinación de fósforo endógeno	63
3.4	Establecimiento de las condiciones de proceso	63
	Resultados por objetivo	64
3.5	Resultados de balances de materia seca perdida	65
3.6	Resultados de calcio fijado para las muestras procesadas	66
3.7	Resultados de la determinación de fósforo para granos de maíz	67
3.8	Identificación de compuestos de calcio	71
3.9	Análisis estadístico	76
	CONCLUSIONES	78
	RECOMENDACIONES	80
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	81

INDICE DE FIGURAS

Fig.		Pág
1.1	Estructura anatómica del grano de maíz	7
1.2	Usos del maíz	19
1.3	Diagrama de nixtamalización tradicional	21
1.4	Nixtamalización a nivel laboratorio	22
1.5	Manejo del grano de maíz en la molienda	33
1.6	Manejabilidad de la masa en elaboración de tortillas	35
1.7	Perdida de sólidos en el nejayote	42
2.1	Cuadro metodológico	44
2.2	Preparación de la muestra para determinar fósforo	49
2.3	Procedimiento de la nixtamalización de las muestras	52
2.4	Muestra nixtamalizada	53
2.5	Muestras procesadas cuando alcanzan el 12 % de humedad	54
2.6	Ejemplo de balance de materia después del proceso	55
2.7	Microscopio electrónico de barrido a bajo vacío	60
3.1	Porcentaje de pérdida de materia con respecto a la temperatura y el tiempo de reposo.	65
3.2	Grafica de fósforo en grano de maíz a diferentes temperaturas y tiempos de reposo	68
3.3	Relación Ca : P en harinas de maíz elaboradas a 72, 82, 92 ° C (1% Ca(OH) ₂ w/v), muestras control y maíz nativo	69
3.4 a	Micrografía tomada al grano nativo o crudo	71
3.4 b	Micrografía tomada al grano a las 0 horas de reposo	72
3.4 c	Micrografía tomada al grano a las 1 hora de reposo	73
3.4 d	Micrografía tomada al grano a las 3 horas de reposo	74
3.4 e	Micrografía tomada al grano a las 5 horas de reposo	74
3.5 f	Micrografía tomada al grano a las 7 horas de reposo	75
3.4 g	Micrografía tomada al grano a las 9 horas de reposo	76
3.5	Resultados estadísticos de la influencia de la temperatura y el tiempo de reposo	77

INDICE DE TABLAS

Tabla		Pág.
1.1	Especificaciones físicas y químicas de harinas de maíz nixtamalizado	24
3.1	Porcentaje de pericarpio y de estructuras de maíz	60
3.2	Dimensiones del grano de maíz QPM- H362	61
3.3	Humedad en el maíz nativo	62
3.4	Condiciones de trabajo con las que se proceso el maíz	63
3.6	Resultados de calcio residual en grano total	66

INTRODUCCIÓN

El maíz es el principal cereal que se destina para consumo humano en México; para poder consumirse, en la mayor parte de los casos pasa por un proceso obligado conocido nixtamalización.

La cocción alcalina de maíz con cal, tradicionalmente llamado tratamiento térmico-alcalino, es el primer paso o etapa del proceso de nixtamalización, durante la manufactura de productos nixtamalizados tales como tortillas, harinas, tamales, tostadas, totopos, galletas, granulados, entre otros. (Jackson, *et al.*, 1998).

El proceso de nixtamalización inicia con una cocción en agua e hidróxido de calcio en condiciones saturadas y posteriormente un reposo en un tanque. Al maíz hidratado se le conoce como nixtamal y al licor de cocimiento como nejayote, este liquido es rico en sólidos de maíz y calcio, ya que los granos pierden durante el proceso fracciones de sus estructuras, pericarpio, germen y endospermo al presentarse una lixiviación en la solución de hidróxido de calcio, lo que provoca pérdidas conocidas como materia seca pérdida, las cuales están constituidas por almidón, proteína, calcio, fósforo y fibras naturales entre otros. Esto significa pérdidas que a nivel industrial son considerables debido a los grandes volúmenes de maíz que se manejan en el proceso (Almeida *et al.*, 1998 ; Sahai *et al.*, 2000).

El nejayote es el licor donde es cocido el maíz y posteriormente reposan los granos. Ahí se depositan los sólidos de los cuales un 60 % son solubles, el resto son sólidos insolubles (Katz *et al.*, 1974; Martínez *et al.*, 2001).

Pflugfelder *et al.* (1988) estudiaron las pérdidas de materia seca en la producción de harina de maíz nixtamalizado, encontraron que para variedades de maíz duros, los cuales son preferentes para el proceso industrial, las pérdidas se encontraron en un rango de 8.5-12.5 %, los principales componentes que se desprenden del grano son : el pericarpio y el germen, llevándose calcio que se fijó durante el tratamiento térmico. Por otro lado Almeida-Domínguez *et al.* (1998) determinaron en Texas E.U.A., que el rango de la materia seca pérdida de maíces comerciales en México, destinados para la nixtamalización se encontraba entre 8.0 y 9.6 %, que las características de los granos como el tamaño, la densidad, el contenido de

endospermo córneo eran determinantes en las pérdidas y que era necesario modificar las condiciones de cocimiento para disminuir las pérdidas de nutrientes específicamente albúminas, globulinas, fibra y calcio.

Anteriormente Bressani *et al.* (1958) había estudiado en el Salvador diferentes tiempos de cocimiento de maíz Mexicano variedad Toluca, ellos demostraron que tiempos excesivos del cocimiento incrementaba las pérdidas de materia seca hasta un 18 %, lo cual implicaba pérdidas considerables de componentes del maíz y de calcio y económicas para los industriales.

Sahai *et al.* (2000) realizaron estudios de las pérdidas de materia seca en la región de Sinaloa, México, utilizando diferentes concentraciones de hidróxido de calcio y diferentes temperaturas, manteniendo el tiempo de reposo de 8 horas, encontraron que las pérdidas se eran de 3.17- 9.82 % en maíces semicristalinos y de 4.12-6.55 % en maíces duros, concluyeron que los niveles de concentración de calcio no era una variable tan significativa, que era más determinante como la temperatura del tratamiento térmico alcalino.

Las pérdidas de sólidos totales del maíz procesado son cuantificadas en la cocción y reposo, en promedio varían 2-14 %. La cantidad de materia seca pérdida depende de las condiciones de proceso, de la variedad de maíz utilizado y de la técnica de lavado (Serna-Saldívar *et al.*, 1993). Existe mayor pérdida de materia cuando hay mayor porcentaje de granos de maíz dañados (rotos, picados), largos estadios en los tiempos de reposo, varios lavados(Fernández-Muñoz *et al.*, 2002). Encontraron que la materia seca pérdida era mayor cuando la técnica de lavado era manipulada mecánicamente por un mezclador y con estadios largos hasta de 10 minutos, concluyó que era importante definir las condiciones de lavado y disminuir los tiempos, ya que los granos hidratados habían suavizado sus tejidos y eran susceptibles de removerse.

Serna-Saldívar *et al.* (1993). Determinó la pérdida de materia de maíces híbridos con alta calidad proteica (QPM's) y llegó a la conclusión de que aunque estos son maíces de dureza intermedia, su espesor del pericarpio es mayor y su porcentaje de endospermo córneo también, lo que hace que disminuya considerablemente el daño ocasionado por el tratamiento térmico alcalino a los granos.

El contenido de calcio en los productos nixtamalizados se incrementa, mientras que el fósforo presente en el germen y endospermo presenta pérdidas al desprenderse fracciones de estructuras del maíz, por tanto la relación calcio: fósforo se modifica (Méndez *et al.*, 2000; Gutiérrez *et al.*, 2007).

Los estudios realizados para la determinación de la materia seca pérdida han considerado algunas variables críticas del proceso de nixtamalización, pero el tiempo en que reposa el grano en el licor de cocción no ha sido considerada y es una variable que no ha sido definida debido a que el proceso esta estandarizado, México ha permitido un amplio rango en las condiciones de proceso, ya que esto dependen de la zona geográfica del país, de las costumbres del lugar y de las tradiciones y gustos familiares.

Sin embargo, en la literatura se encuentra que cuando se estudia la materia seca pérdida, cada investigador utiliza una variedad diferente de maíz y un solo nivel de variación en las variables críticas, es decir, una temperatura de cocción y un tiempo de reposo; lo anterior dificulta realizar un análisis comparativo entre los trabajos existentes debido a que todos manejan diferentes condiciones de proceso. Por lo tanto, no es posible concluir el porcentaje de pérdidas en función de las condiciones de proceso.

Se requiere entonces nixtamalizar a diferentes temperaturas y tiempos de reposo de una misma variedad y posteriormente analizar el % de pérdidas de distintas variedades a diferentes condiciones experimentales, para tener un marco referencial en el cual se pueda operar y aplicar a la Industria por lo menos para las variedades de maíz mas comercializadas para la nixtamalización. Además determinar la concentración de calcio residual a las distintas condiciones de proceso, para conocer la relación calcio-fósforo, ya que ésta relación determina la cantidad de calcio biodisponible en el organismo humano, es decir en la capacidad de absorción de calcio. Una ingesta baja en calcio y alta en fósforo es un elemento potencial para el desarrollo deficiente de una masa ósea, por lo tanto siendo la tortilla elaborada con maíz nixtamalizado la base de la alimentación de la población mexicana es muy importante que se cuide este aspecto.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.- Generalidades del maíz

Hace 5000 años nuestros antepasados consumaron la hazaña de domesticar al maíz, cuando lo transformaron en tortilla y hace 3000 años crearon el nixtamal incorporando cal a un cocimiento de maíz con agua, hecho que ocurrió de manera accidental y que hoy se le conoce como tratamiento térmico-alcalino, poco a poco se fueron incorporando algunas operaciones unitarias hasta formar un proceso que hoy se conoce como nixtamalización (Rojas, 1997).

La nixtamalización, es un proceso casi obligado en la mayor parte de los casos para elaborar productos de maíz, dentro de los cuales se puede mencionar a las tortillas, cuyo consumo per capita diario por persona en México es de 325 g. Este tratamiento artesanal involucra un cocimiento alcalino, reposo, lavado, drenado del licor de cocimiento y molienda húmeda de granos cocidos, conocidos como nixtamal, el nixtamal es molido en un sistema de discos de piedras, para producir un granulado. El granulado al hidratarse produce una masa, la cual es moldeada para elaborar discos que son cocinados en un comal, al producto resultante se le conoce como tortilla. Por otro lado el granulado húmedo obtenido puede secarse y molerse para producir harina de maíz nixtamalizado (Martínez-Bustos *et al.*, 1996).

El maíz fue la principal fuente de alimentación de las civilizaciones precolombinas en el nuevo mundo, hoy las tortillas y productos derivados son considerados como alimentos básicos tanto en México como en América Central.

En México ha sido adaptado y mejorado el tratamiento durante cientos de años para la producción de tortilla, ante esta situación es necesario rescatar y resaltar los atributos y la calidad que poseen los maíces nacionales, los criollos y algunos híbridos que se han generado con características muy particulares para fabricación de diferentes productos y que atienden a nichos de mercados específicos.

Los cereales, dentro de los cuales se encuentra el maíz, constituyen el grupo botánico de las Gramíneas, familia que se caracteriza por tener sistemas fibrosos

en las raíces, hojas alternas, venas paralelas en las hojas y tallo con nudos sólidos. La familia de las gramíneas se divide en varias tribus y a cada una de estas pueden pertenecer varios géneros, a cada género varias especies. De acuerdo con el punto de vista taxonómico más moderno, el género *Zea* es representado solamente por una especie: *Mayz* (Lange y Hill, 1987).

El grano de maíz se desarrolla por medio de la acumulación de los productos de la fotosíntesis, la absorción de las raíces y el metabolismo de la planta sobre la inflorescencia femenina (mazorca). Esta estructura puede estar formada por 300 ó hasta 1000 granos, dependiendo del número de hileras, el diámetro y la longitud del elote. El peso del grano puede variar de 19 hasta 40 g por cada 100 granos de maíz (Klaus y Karel, 1991).

La planta de maíz es herbácea de tallo erecto ascendente cilíndrico, dividido en nudos y entrenudos. En los nudos nacen hojas alternas envainantes, con nervaduras paralelas. Sus raíces presentan sistemas fibrosos. El fruto es una cariósida, que a madurez fisiológica es un fruto seco, indehiscente y de una sola semilla. El pericarpio y la capa de aleurona están fusionados y es difícil separarlos, excepto por procesos especiales de molienda o de manera manual una vez hidratado el maíz. Los granos de una misma mazorca varían en forma y tamaño dependiendo de las diferencias genéticas, ambientales y a la ubicación de éste en la mazorca (Paredes y Saharópulos, 1982).

1.1 Estructura del grano de maíz

El grano de maíz está compuesto por cuatro partes principales: pericarpio, endospermo, germen y cofia como se muestra en la Figura 1. Cada una de estas partes anatómicas tiene diferente composición química e interacciona de manera distinta con el agua y con el hidróxido de calcio durante el proceso de nixtamalización lo que promueve cambios en las estructuras y genera en conjunto importantes propiedades funcionales a los productos (Watson y Ramstad, 1987).

1.1.1 Germen

El germen esta conformado por un escutelo y un embrión. El escutelo funciona como órgano nutritivo para el embrión y representa de un 10-12 % del peso seco del grano. En el escutelo se forman los organelos que contienen cuerpos grasos. El germen almacena nutrientes y hormonas que son movilizados por enzimas elaboradas durante las primeras etapas de germinación. El embrión es rico en compuestos nitrogenados (8-14 % de proteínas) aminoácidos libres, vitaminas y lípidos saponificables.

1.1.2 Endospermo

El endospermo contiene material de reserva, energía principalmente y enzimas hidrolíticas, necesarias para el desarrollo de una nueva planta; esta constituido del 82 al 84 % de peso seco del grano y se forma principalmente de almidón. Es la estructura anatómica de mayor volumen del grano de maíz, se encuentra formado por una capa celular llamada aleurona en la periferia, la cual es constituida de proteína y es el lugar donde residen enzimas hidrolíticas. Además de ella, el endospermo se encuentra formado por dos regiones típicas. El endospermo que es de dos tipos, harinoso y córneo como muestra la figura 1. El endospermo harinoso rodea la fisura central y es opaca (Duvick, 1961). Esto se debe a la refracción de la luz por las bolsas de aire que rodean los gránulos de almidón, las cuales resultan de la separación y contracción de una delgada matriz de proteínas durante el secado. La matriz rodea los gránulos de almidón que tienen forma redonda. En el endospermo córneo, la matriz de proteínas es más gruesa. Durante el secado, los gránulos de almidón del endospermo córneo son comprimidos en forma poliédrica. Las células del endospermo vienen siendo progresivamente más pequeñas de la fisura central al endospermo externo. En algunos maíces con mayor proporción del endospermo córneo, una capa de células se encuentra justo debajo de la capa de aleurona. Esta se llama subaleurona, formada de

gránulos de almidón rodeados por una matriz de proteínas muy gruesa (Wolf *et al.*, 1969; Watson *et al.*, 1987).

La matriz de proteínas esta compuesta de un material proteico amorfo en el cual están insertados cuerpos proteicos discretos que a su vez están compuestos casi completamente de zeína, prolamina cuya composición carece prácticamente de lisina, un aminoácido esencial.

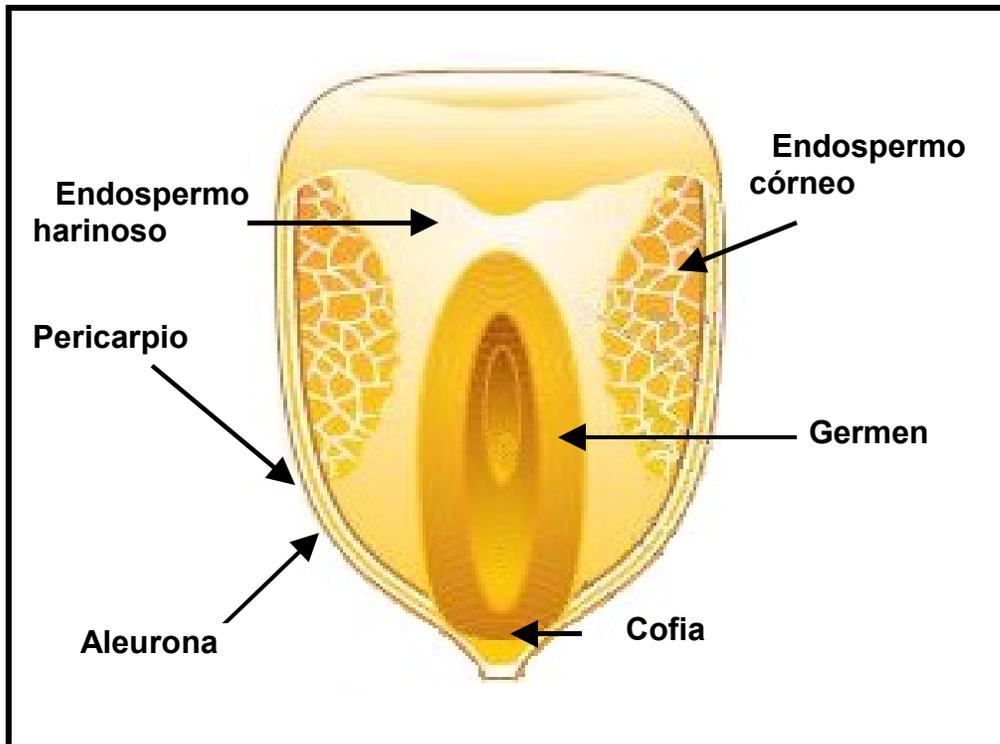


Figura 1.1 Estructura anatómica del grano de maíz (Hoseney. (1992), con modificaciones)

1.1.3 Cofia

El pericarpio se extiende toda la base del grano, uniéndose con la cofia. El interior de esta estructura es esponjosa y esta compuesta por células en forma de estrella que se unen por el extremo de sus ramas y forman una estructura abierta que se unen con la capa de células cruzadas (Wolf *et al.*, 1969).

La cofia constituye aproximadamente el 1% del peso seco del grano. Si se separa la cofia, se le puede ver una capa circular de color café oscuro conocida como capa capilar o capa negra. Esta parece ser una capa de abscisión con la función de separar la cofia del grano. La aparición de esta capa coincide aproximadamente con la madurez fisiológica del grano (Dorsey *et al.*, 1991)

1.1.4 Pericarpio

El pericarpio, lo forman una serie de capas celulares, la más interna recibe el nombre de cubierta de semilla o testa. En todos los cereales se dice que el pericarpio es la pared madura del ovario y no se abre durante el secado–maduración para liberar a la semilla formando así una cariopsis. El pericarpio es una estructura delgada y casi invisible, película que se encuentra adherida fuertemente a la superficie exterior de la capa de aleurona, se piensa que en conjunto con esta le imparte propiedades semi-permeables al grano de maíz. Representa aproximadamente entre el 5 y 6 % del peso seco del grano y su espesor es variable (Wolf *et al.*, 1969; Mertz, 1964; Inglet, 1970).

1.2 Propiedades físicas del grano

El tamaño, forma, la densidad volumétrica, la textura, la densidad verdadera y el volumen de vacío, son propiedades físicas del grano importantes de considerar para el diseño de equipo de manejo y almacenamiento del grano. La dureza y la vitreosidad, en cambio, son propiedades que sirven para definir la calidad nixtamalera de este cereal (Serna-Saldívar, 1990).

1.2.1 Dureza

Es una propiedad heredable del grano que puede ser modificada por las condiciones de manejo de post-cosecha, afecta los gastos de energía durante la

molienda, la formación de polvos, la densidad del grano, las propiedades nutritivas, la densidad volumétrica entre otros. La dureza se produce por la fuerza de unión entre la proteína y el almidón presente en el endospermo, dicha fuerza se controla genéticamente.

La dureza está relacionada con el endospermo córneo y el endospermo harinoso, resulta difícil de medir debido a la complejidad de grano y varía con la edad del grano, también con las diferencias en la compactación de los componentes celulares, tamaño de las células y de las características de la película como el espesor del pericarpio (Rooney y Almeida, 1995).

1.2.3 Textura

La textura es otra propiedad intrínseca importante de los granos de maíz, se le ha definido por la porción relativa de endospermo duro o córneo a suave o harinoso, la cual se ve afectada por factores genéticos y ambientales. También está estrechamente relacionada con la dureza del maíz, se ha correlacionado en forma positiva con la densidad volumétrica y con la densidad verdadera, y en forma negativa con el índice de flotación de los granos (Rooney y Almeida, 1995).

1.2.3 Vitreosidad

Es otra característica física del grano que tiene que ver con el endospermo. Algunos granos son vítreos o de aspecto traslúcido, mientras que otros son opacos y harinosos. Tradicionalmente se ha asociado la calidad vítrea con la dureza y alto contenido de proteína. La opacidad con la blancura y escasez de proteína. Sin embargo la cualidad vítrea y la dureza no son producto de la misma causa fundamental, de tal forma que es posible tener granos duros que sean opacos y granos blandos que son vítreos, aunque esto pueda resultar poco frecuente. La transparencia de los granos, es el resultado de la escasez de cavidades aéreas en el grano. No está claro el mecanismo pero parece estar relacionado con la cantidad de proteína.

Las cavidades aéreas del grano, difractan y difunden la luz y hacen que el grano aparezca como opaco o harinoso. En los granos bien repletos, sin cavidades aéreas, la luz se difracta en la interfase aire-grano, pero luego viaja a través del grano sin sufrir la difracción una y otra vez. El resultado es un grano translúcido o vítreo, la presencia de espacios aéreos dentro del grano, es lo que hace que los granos opacos sean menos densos. Aparentemente, estos espacios aéreos se forman durante la desecación del grano. Al ir perdiendo agua, la proteína se encoge y rompe dejando espacios con aire. En los granos vítreos la proteína también encoge, pero queda incólume, provocando mayor densidad en el grano. En cambio si se recolecta el grano sin madurar y se deseca por liofilización quedará completamente opaco. Esto indica que el carácter vítreo también es el resultado de la desecación final en el campo (Watson y Ramstad, 1987).

1.2.4 Color

El color de los granos de maíz depende de la variedad, existen blancos, amarillos, naranjas, rojos, morados, cafés, etc. Sus diferencias son debidas a la genética en el pericarpio, en la capa de aleurona, del germen y del endospermo, ya que cada una de las diferentes fracciones puede presentar distinta coloración, desde el incoloro hasta el café, obviamente el pericarpio y la capa de aleurona deberán ser incoloros para que el verdadero color del endospermo sea apreciado de manera real (Klaus y Karel, 1991).

1.2.5 Formas y Tamaños

De todos los cereales, el maíz es el que presenta dimensiones mayores y menor densidad específica. Las diferencias en formas y tamaños son debidas a diferencias de origen genético dentro de la mazorca. Los granos al final de la cabeza de la mazorca son largos y redondeados y los que se encuentran localizados al final de la punta son pequeños y redondos. Los de en medio son

aplanados debido a la presión de granos adyacentes durante el crecimiento. Las medidas promedio de un grano en el centro de la mazorca son : 4 mm de espesor, 8 mm de ancho y 12 mm de largo.

Dependiendo de la variedad del grano, también varía la forma y el tamaño, estas características también son afectadas por el medio ambiente (Watson y Ramstad, 1987).

1.2.6 Volumen de vacío

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

1.2.7 Densidad

La densidad es una medida del peso por unidad de volumen, y en el grano de maíz se puede expresar de dos formas: densidad volumétrica y densidad verdadera. La determinación de la densidad verdadera se realiza por medición del peso de un volumen dado de líquido tal como agua, tolueno o etanol desplazado por un peso conocido de material de prueba (en este caso grano de maíz). La densidad es usualmente expresada como gravedad específica y comparada con agua la cuál tiene una gravedad específica de 1.0. La medición de la densidad del grano en agua daría una lectura directa, pero los granos de maíz atrapan burbujas de aire cuando son colocados en agua, no ocurre así con el tolueno o etanol. La densidad promedio de un maíz dentado a 12 % de humedad es 1.2 g/cm³, de harina de maíz 1.1 g/cm³, y de un maíz flint o palomero arriba de 1.3 g/cm³. La densidad de un grano de maíz es la suma de las densidades de sus componentes.

Un endospermo córneo es muy denso, mientras el harinoso esta lleno de espacios vacíos de aire presentando menores densidades (Watson y Ramstad, 1987).

La densidad promedio del maíz se encuentra entre 1.18-1.4 g/cm³ expresada como densidad verdadera, además la densidad está estrechamente relacionada con la dureza y la textura del grano de maíz. Los maíces más duros presentan mayores densidades porque el endospermo córneo se encuentra más apretado y con menores espacios de aire, en el caso del endospermo suave, los gránulos de almidón presentan muchos espacios vacíos de aire presentando menores densidades (Rooney y Ameida, 1995).

La densidad volumétrica o peso de prueba, es la medición de densidad más ampliamente usada y representa una medida de la densidad volumétrica expresada en libras por bushel ó kg/HL, y se obtiene por el pesado de un volumen específico del grano de maíz. Esta determinación es muy importante en el almacenamiento y transportación de maíz porque determina el tamaño del contenedor requerido para el lote dado de maíz. En los Estados Unidos, el peso de prueba es medido en libras por bushel, pero en el sistema métrico, se determina en kilogramos por hectolitro. El mínimo peso de prueba para el grado U.S.No. 1 es 56 lb/bu (72.08 kg/HL) ; (L.W, Rooney, 1995; Serna- Saldivar, 1993).La densidad volumétrica se considera una medición útil debido a la combinación de densidades de los granos y a la manera como se empacan en un contenedor. Se considera relativamente independiente del tamaño del grano.

La densidad volumétrica representa el peso del grano dentro de un contenedor con capacidad de 1 litro (67.2 pulgadas cúbicas en la de peso bushel), y el peso registrado se expresa en kg/HL. Los requerimientos de densidad volumétrica son de 77.2 kg/HL (60 lb/bu). Granos con menor densidad volumétricas frecuentemente tienen un menor porcentaje de endospermo duro, mayores pesos de prueba indican que el maíz tiene granos perfectamente rellenos con una mayor proporción de endospermo duro. Por lo tanto el tamaño, forma y suavidad del endospermo afectan la densidad volumétrica del grano de maíz.

1.2 Composición química del maíz

1.3.1 Lípidos

El contenido total de lípidos presentes en el maíz varía desde 1.2-5.7% del peso total del grano, siendo el germen la parte del grano donde se localiza la mayor parte de éstos (Inglett, 1970; Watson *et al.*, 2003). Se encuentran como triglicéridos principalmente y en segundo lugar, fosfolípidos. En el germen se encuentra el 70-86% de los tocoferoles totales. También se encuentran ácidos grasos insaturados en grano de maíz como: el principal ácido graso presente en el maíz es el linolénico con 50%, oleico 35%, palmítico 13%, esteárico 4% y linoleico > 3%.

1.3.2 Carbohidratos

El carbohidrato de mayor importancia en el maíz es el almidón con un 73% del peso del grano. Otros azúcares presentes en el grano, en forma de glucosa, sacarosa y fructosa; un 3% en conjunto (FAO,1992). El 75 % de la sacarosa total se encuentra en el germen y 25% remanente en el endospermo. Los granos de maíz contienen 2.1-2.3% de fibra cruda, el pericarpio proporciona 41-46% de hemicelulosa por extracción alcalina (Inglett, 1970).

El gránulo de almidón está formado por una cadena α -glucosídica. Los constituyentes principales del almidón son la amilosa y la amilopectina, en proporción aproximada de un 27% de amilosa y un 73% de amilopectina dependiendo del tipo de cereal y de la variedad, ambas moléculas son polímeros de alto peso molecular formadas por unidades de D-glucosa (Inglett,1970).

1.3.2 Proteínas

El contenido proteico está influenciado por la disponibilidad del nitrógeno del suelo y por la genética, este puede variar desde un 4.4- 26.6 % (Watson y

Ramstad, 1987). La principal proteína en el grano es una prolamina llamada zeína que se encuentra alrededor de un 50% contenida en el endospermo, además están presentes gluteínas 28% y albúminas con 5% respectivamente (Tortosa,1982). El maíz es deficiente en lisina y triptófano y la relación leucina/isoleucina es elevada (Badui,1993).

1.3.2 Vitaminas

El color amarillo del maíz resulta por el contenido de los pigmentos carotenoides, los cuales suelen desaparecer durante el almacenamiento en una escala logarítmica debido a que se descompone con la presencia de luz y oxígeno.

Durante la molienda húmeda , la proteína del endospermo es concentrada como gluten, el cual posee entre 60-65% de proteína y de 300-400 mg de pigmentos carotenoides por kilogramo.

La vitamina E, se encuentra principalmente en el germen y suele permanecer estable durante el almacenamiento del grano.

Todas las vitaminas hidrosolubles están presentes en el grano de maíz a excepción de la vitamina C , la cual es sintetizada durante la germinación. La niacina esta presente en forma limitante (Watson y Ramstad , 2003).

1.3.5 Minerales

El germen es el principal deposito de elementos (ceniza), el cual contiene 78% del total de minerales contenidos en el grano, esto se debe a que son necesarios para el desarrollo del embrión. El mineral más abundante es el fósforo, el 72% de mineral en forma de filatos (fitina). Los filatos son almacén del mismo fósforo, el cual es liberado por enzimas fitasas cuando se inicia el desarrollo embrionario (Watson y Ramstad, 2003).

El contenido de potasio es abundante mientras que el sodio es bajo. La fitina, potasio, y magnesio son muy abundantes en la capa de aleuronas. El

sulfuro, es el mineral más abundante, y está unido a los aminoácidos metionina y cisteína (Watson y Ramstad, 2003).

La acumulación de hierro, cobre, magnesio, níquel, zinc y ácido fítico durante el ciclo de maduración del grano, está correlacionado con el incremento de materia seca, ceniza y proteína (Watson y Ramstad, 2003).

1.3.6 Humedad

Gran parte de las propiedades físicas del grano son influenciadas por los niveles de humedad. Dichos cambios ocurren debido a la absorción y desorción del vapor de agua, lo cual produce cambios en la densidad, volumen y el peso. El germen es la parte que absorbe mayor cantidad de agua. (Watson y Ramstad, 2003).

1.3.7 Trazas de otras sustancias

El grano de maíz también contiene otras sustancias esenciales para el desarrollo del embrión. Una de estas es el ácido indolacético (IAA), el cual es una hormona importante en todas las plantas para la división celular. El IAA está presente como ésteres de azúcar. También se ha encontrado valores de adanina, adenosina, uridina, y uracilo, así como compuestos cuaternarios, tales como betanina, trigonelina y colina en niveles de microgramos, principalmente en el germen.

1.4 Importancia del maíz en México

El cultivo de maíz tuvo su origen en América central, especialmente en México, donde se ha difundido hacia el norte hasta Canadá y al sur hasta Argentina. La evidencia más antigua de la existencia del maíz, hace unos 7000

años , que se encontró por arqueólogos en el valle de Tehuacan (Puebla), pero es posible que hubiese otros centros secundarios de origen en América (Watson Ramstad, 2003). El maíz era un artículo esencial en las civilizaciones maya y azteca y tuvo un importante papel en sus creencias religiosas, festividades y nutrición; ambos pueblos afirmaba que la carne y la sangre estaban formados por maíz.

El maíz es el cereal de mayor importancia en México. Aproximadamente el 65 % del área cultivada con cereales se destina al maíz. Además todavía se siembra como cultivo de subsistencia por campesinos y pequeños agricultores con rendimientos muy bajos de 2.3 ton/ha. Los estados más productores de maíz son: Guadalajara, Veracruz, Estado de México, Zacatecas, Guanajuato y recientemente Sinaloa, en donde se han registrado rendimientos que se aproximan a 10 ton / hectárea.(Barros y Buenrostro, 1997).

México consume actualmente unos 23.7 millones de toneladas métricas de maíz , 18.3 de las cuales son producción nacional. Se estima que el 40% de la producción nacional de maíz se destina a la tortilla (incluyendo a la pequeña industria) (Granados, 1999). La industria de la tortilla aporta el 0.94% del PBI (producto interno bruto) mexicano y ocupa el cuarto lugar a escala nacional con valor de 43,500 MDP (millones de pesos). Sin embargo, esta es una industria altamente fragmentada, con establecimientos que procesan menos de 250 kg diarios (el 60%) hasta grandes consorcios como Gruma que anualmente consumen más de 3 millones de toneladas métricas de maíz (González *et al*, 2004). La industrialización en la producción de tortillas no ha estado acompañada de innovación tecnológica en el proceso de nixtamalización en si, el cual continua siendo, en esencia, el mismo desde tiempos precolombinos.

Sin embargo, el consumo de tortillas y de otros productos elaborados a partir de maíz nixtamalizado esta desbordando las fronteras de México. En Estados Unidos, por ejemplo, el mercado anual de la tortilla fue en 1996 de 2870 millones de dólares y había unas 3000 compañías operando en esta industria. En los últimos 20 años las tortillas, tostadas y tortillas–chips han pasado a ser productos consumidos solamente por hispanos al ser alimentos con alta aceptación en

todos los Estados Unidos y las ventas crecen en 8-10% cada año (Rooney y Almeida, 1995).

En Europa el crecimiento también es significativo, con ventas anuales que en 1999 superaron los 700 millones de dólares . En Inglaterra, por ejemplo , Gruma S.A de C.V invertía en 1999 10 millones de dólares en una planta para producir tortillas y tortillas-chips (González *et al*, 2004).

Estos datos ilustran que la industria de los productos de maíz nixtamalizado tiene una perspectiva y futuro de rápido crecimiento y expansión. Parece lógico pensar que siendo México la cuna del proceso de nixtamalización del maíz, es allí donde puedan darse las condiciones de innovación tecnológica en este proceso para acceder al mercado interno y externo en plenitud de posibilidades competitivas. El proceso de innovación tecnológica tiene necesariamente que transitar por un conocimiento profundo de los cambios físicos y químicos que ocurren en el interior del grano durante su cocción en un medio alcalino. Conocer lo que allí ocurre para contarlo a voluntad debe sustentar tecnologías más eficientes y que proporcione productos de calidad creciente y con nuevas cualidades nutricionales.

1.4.1 Transformación industrial de los granos de maíz

Hay un gran número de productos alimenticios del maíz que pasan por un proceso industrial y que son manufacturados y comercializados en escala comercial. Algunos de los productos mencionados anteriormente son ahora industrializados en mayor o menor escala y su variedad se puede apreciar en los estantes de los supermercados. En los Estados Unidos de América se encuentran más de 1 000 productos derivados total o parcialmente del maíz (Juárez, 1997). Estos productos incluyen tortillas, harinas de maíz, masa, varios bocadillos, cereales para el desayuno, espesantes, pastas, jarabes, endulzantes, aceite de maíz, bebidas sin alcohol, cerveza y wiskey, alimentos humanos o para los animales domésticos y productos industriales por mencionar algunos de ellos.

Una de las industrias molineras que está creciendo a alto ritmo es la productora de harinas nixtamalizadas. En nuestro país se manufacturan actualmente alrededor de 3.0 millones de toneladas de harina nixtamalizada de las cuales el grupo más importante es MASECA, que procesa aproximadamente 2.0 millones de toneladas de maíz, sin contar con los productos obtenidos de masa fresca. El consumo per cápita de harina nixtamalizada es de 37 kg / año, lo que equivale a 58 Kg de tortillas al año (Barros y Buenrostro, 1997).

El proceso de molienda húmeda se usa para la producción de almidón puro, endulzantes, dextrosa, fructosa, glucosa y jarabes, incluyendo jarabe de fructosa con proteínas, almidón industrial, fibras, etanol y aceite de maíz a partir del germen. El subproducto más importante son los alimentos para animales. Los maíces duros y dentados son los mas apreciados por la industria para ser molidos. Los maíces especiales tales como los maíces cerosos se usan para la extracción de almidón de alta calidad similar al almidón de tapioca y el maíz de alto contenido de amilosa para la extracción del importante almidón industrial llamado almidón de amilo-maíz los que también son extraídos por el proceso húmedo. El almidón de maíz es el producto más importante del procesamiento húmedo y es usado en numerosas aplicaciones alimenticias e industriales (Watson y Ramstad, 1987).

La extracción del almidón y el aceite comprenden cerca del 70% de los productos; y el 30% restante esta principalmente en forma de fibras sobre todo celulosa y hemicelulosa, las cuales son convertidas en alimento para animales.

El maíz como alimento, se puede utilizar todo el grano, maduro o no, o bien se pueden elaborar con técnicas de molienda en seco para obtener un numero relativamente amplio de productos intermedios. El procesamiento del grano tiene un cambio físico. La aplicación de molienda húmeda de maíz puede ser utilizada como una mezcla compleja de químicos para separar los componentes mayoritarios del grano; almidón, gluten, fibra y aceite (Munro, 1994).

El maíz es quizás el cultivo que aprovecha todas sus partes, desde los tallos que al secarse y molerse se utilizan para alimentar al ganado, los elotes tiernos que al cocerse en agua o en brazas se consumen como elotes tiernos o para hacer esquites. Los ocotes que son los residuos de la mazorca al quitarle los

granos, se utilizan como combustible y alimento para moscas en estudios recientes, los cabellitos de elote que sirven para preparar tees, o bebidas con fines diuréticos para los bebés o con fines medicinales para los adultos.

En medicina tradicional se utilizan los cabellos del elote como diurético para problemas de riñón. En combinación con otras plantas, se usa para contrarrestar males hepáticos y biliares y aumentar la secreción de la leche de las lactantes. La raíz tiene algunos usos medicinales.

Todas las partes obtenidas en la molienda del maíz son aprovechables como se describe en la Figura 1.2 para usos del maíz.

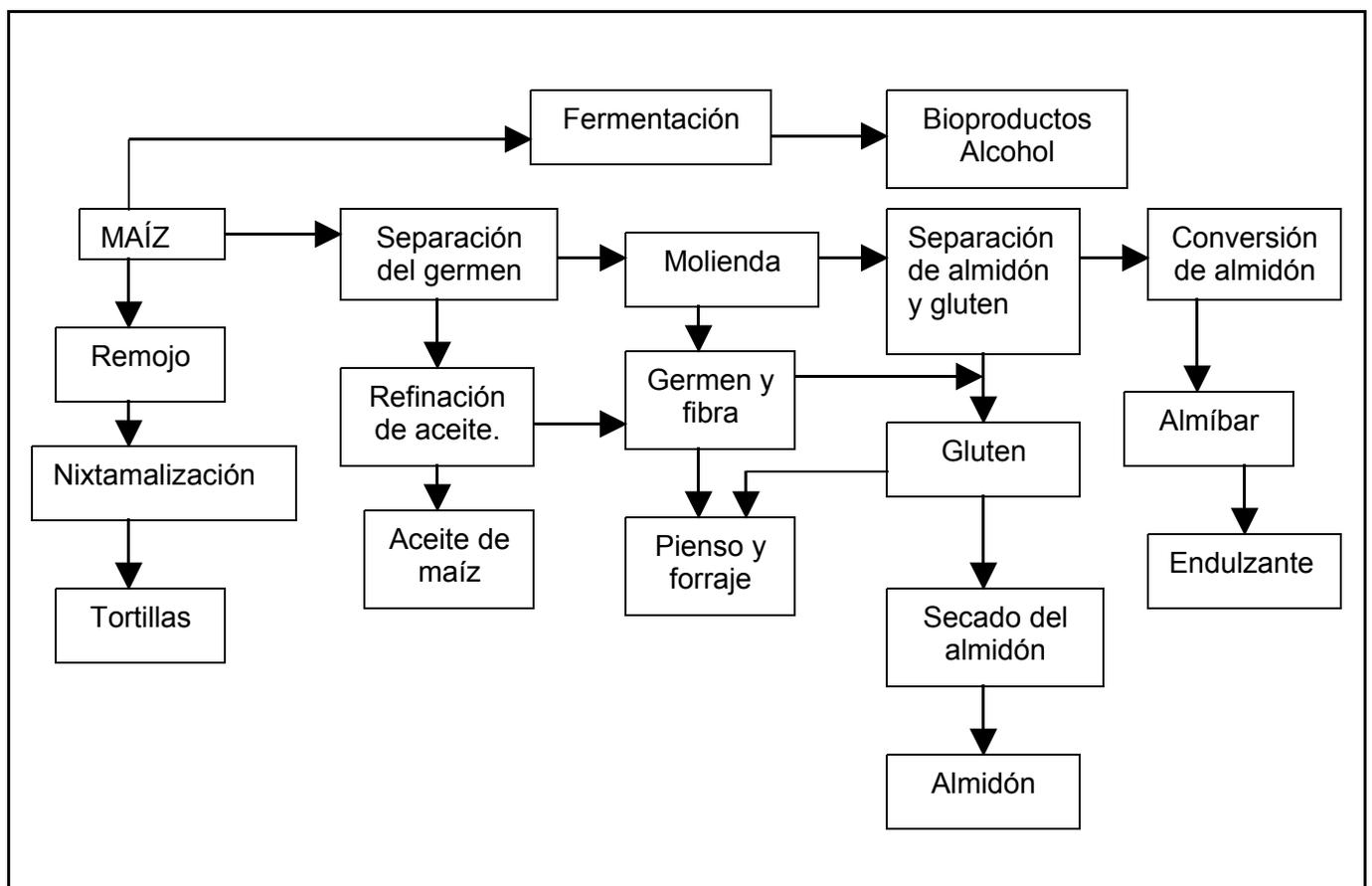


Figura 1.2 Usos industriales del maíz (Villagrana, 2000)

Las raíces y los rastrojos se utilizan como abono integrados como materia orgánica; las hojas secas de mazorca (totomoxtlés) se emplean para hacer papel y cigarrillos, para crear artesanías o bien para envolver tamales, requesón o mantequilla. De la planta de maíz se obtiene un jugo de su caña verde que se utiliza como golosina para preparar bebidas fermentadas, con sus espigas se preparan tamales; los elotes en la mazorca semi-secos sirven para elaborar tamales, galletas, alfajores, gorditas, pemoles, cerveza de maíz, tesgüino (hecho de maíz germinado, cocido y molido después fermentado en ollas de barro, se considera como bebida ritual), pozoles, pozol ordinario, pozol agrio, palomitas y una gran variedad de atoles; del endospermo del grano se extrae el almidón que sirve para fabricar alcohol, las mazorcas desgranadas (elotes) se emplean como combustible (Barros y Buenrostro, 1997).

El maíz también produce un hongo llamado huitlacoche que es comestible y se apreciado en muchos guisos.

Los granos de elote son sometidos a nixtamalización y molienda con la que se forma una masa para elaborar tortillas a partir de las cuales se preparan diversos platillos y antojitos mexicanos como enchiladas, quesadillas, tacos, huaraches, flautas, memelas, panucho, tostadas, enfrijoladas, entomatadas, totopos, tlayudas, gorditas, tostadas, galletas, tlacoyos, etc.

En lo que respecta a la industrialización del maíz se obtiene aceite y jarabe, de la fécula, la miel y del germen se obtiene productos como anticorrosivos, adhesivos, pinturas, medicamentos, solventes, limpiadores y muchos productos más (Barros y Buenrostro, 1997).

1.4.2 Proceso de nixtamalización tradicional

La palabra “nixtamal” es un derivado del náhuatl que se compone de las palabras “*nextli*” cenizas o cenizas de cal, y “*tamalli*” masa de maíz. La “nixtamalización” es el tratamiento alcalino con cal, el cual es una técnica de lixiviación prehispánica empleada para cocer el grano de maíz y obtener una masa apta para la elaboración de tortillas y otros productos derivados tradicionales

(López y Segurajáuregui, 1996). La nixtamalización es el proceso de cocción, remojo y lavado del grano de maíz para producir el nixtamal el cual es entonces molido para formar una masa húmeda y suave para la obtención de diversos productos tales como: tortillas, frituras, harina etc., (Serna-Saldívar *et al*, 1990).

El proceso artesanal de nixtamalización se presenta en la Figura 1.3 y consiste en mezclar una parte del grano de maíz con 2 a 3 partes de agua y 0.8 a 2.0% de cal en base al peso del grano, esta mezcla se cuece durante 5 a 45 minutos a temperaturas que oscilan entre 75 y 100 °C, se suspende la cocción y el nixtamal obtenido se deja en reposo en la solución caliente con cal de 8 a 16 horas. Posteriormente el licor de cocimiento conocido como nejayote es drenado y el nixtamal es lavado con la finalidad de remover la mayor parte del pericarpio y el exceso de cal hasta que el pH del agua de lavado decrece a 8.5. El nixtamal lavado se muele en molino de piedras; durante la molienda el nixtamal es triturado hasta obtener un granulado (Rooney, 1995; Serna-Saldívar, 1990).

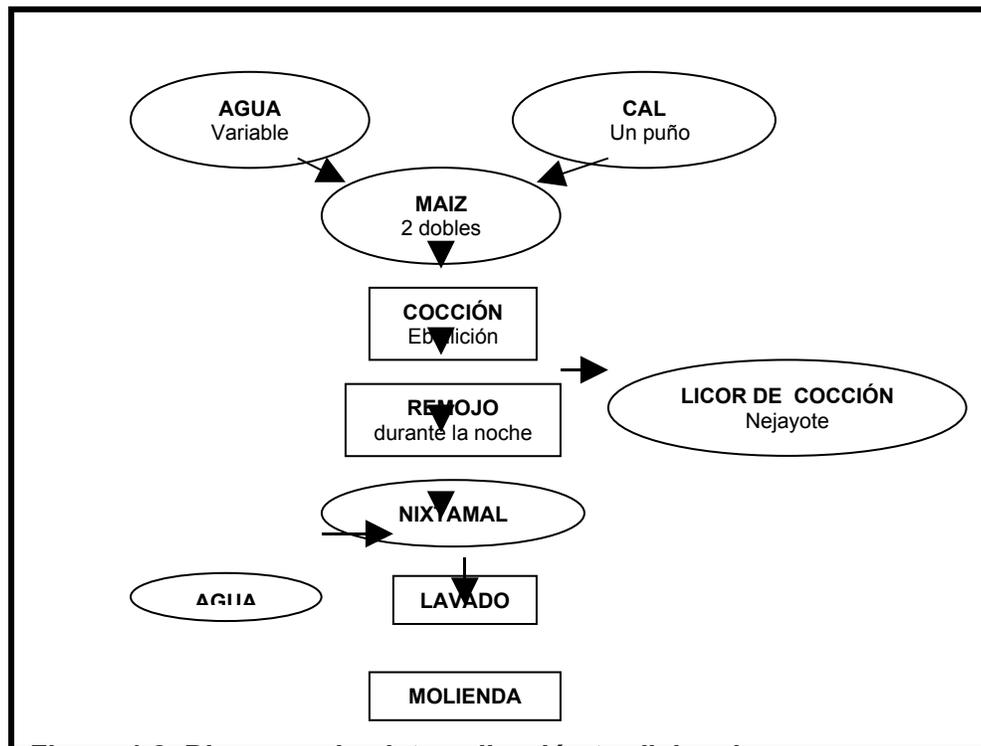
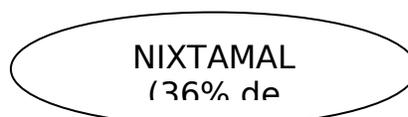


Figura 1.3. Diagrama de nixtamalización tradicional (Gravioto, 1945)

1.4.3 Tratamiento térmico-alcálico



El tratamiento térmico-alkalino, es una técnica a la que se someten los granos de maíz, corresponde a la primera etapa del proceso de nixtamalización tradicional, contempla el cocimiento y reposo. Durante este tratamiento la estructura que resulta más afectada es el pericarpio (Gutiérrez *et al*, 2007).

○

Cocimiento

El cocimiento de los granos de maíz ocurre durante el calentamiento y el reposo de la mezcla de maíz, cal y agua. El grano se adiciona al agua caliente o el agua se calienta con el grano adentro para después sostener la temperatura de la mezcla, eliminar la fuente de calor y dejar reposar (Rooney y Almeida , 1995).

El cocimiento aplicado al maíz tiene la función de hidratar al grano, suavizar el pericarpio, desnaturalizar proteínas y gelatinizar parcialmente el almidón. Estos cambios físicos y químicos aumentan en la medida que los granos son más pequeños, están más quebrados y/o fracturados, la cal es más activa y soluble, y se aplica mayor temperatura arriba de aproximadamente 60-70 °C por más tiempo. A nivel piloto se lleva acabo como se ilustra en la figura 1.4.



Figura 1.4. Nixtamalización a nivel laboratorio (Figueroa, 2004)

- **Reposo**

El período del reposo debe permitir la difusión de agua dentro de las estructuras más internas, el germen y el endospermo, para producir granos de nixtamal hidratados homogéneamente. En estas condiciones, el nixtamal es blando prácticamente libre de pericarpio.

Parte de la cal se absorbe principalmente en el germen del grano. Los granos se hinchan debido al efecto combinado de la gelatinización del almidón, a la degradación parcial de la estructura del endospermo, a la degradación / solubilización parcial de la pared celular y a la solubilización parcial de la matriz proteica (Gutiérrez *et al*, 2007).

1.4.4 Proceso industrial de harina de maíz nixtamalizado

La harina de maíz nixtamalizado según la NOM 147-SSA1-1996 es el producto deshidratado que se obtiene de la molienda del maíz nixtamalizado. La harina para tortillas es un polvo fino, seco, blanco o amarillento que tiene el olor característico de la masa de maíz. Dicha harina mezclada con agua proporciona una masa adecuada para elaborar tortilla, tamales, atoles y otros alimentos. En México todas las harinas de maíz deben fabricarse conforme a las instrucciones dictadas por el Departamento de Normas y Reglamentos. Las harinas con un contenido de humedad del 10 al 12%, son estables frente a la contaminación microbiana. Si la humedad supera el 12%, la atacan con facilidad los mohos y las levaduras. El problema del ataque por bacterias es casi inexistente dado que el mínimo de humedad que esos microorganismos necesitan para desarrollarse es tan elevado que, de alcanzarlo la harina, ya se habría transformado en masa. Otra cuestión conexas con la estabilidad de la harina es la ranciedad, que normalmente no constituye un problema salvo que se empaquete a altas temperaturas. La calidad de las harinas nixtamalizadas está en función del color, granulometría, absorción de agua, grado de gelatinización del almidón, textura de la masa hidratada, flexibilidad de la tortilla, etc. Los factores más importantes son la absorción de agua y distribución de partículas. Las harinas para elaboración de tortillas tienen una mayor absorción de agua y menor granulometría que las contrapartes que se emplean para elaborar frituras. Un kilogramo de harina para

tortillas generalmente se hidratan con 1 o 1.1 litros de agua. (Almeida y Rooney, 1995). Las harinas nixtamalizadas para tortillas generalmente están aciduladas (pH 5.5-6.0) y suplementadas con gomas, emulsificantes y conservadores para prolongar la vida de anaquel y textura en la tortilla. La harina necesita acidulante para que el conservador sea eficaz en su actividad antifungica (Serna-Saldívar, 1996).

La harina de maíz nixtamalizado debe cumplir con lo las especificaciones físicas y químicas en base seca como muestra la tabla 1.1, según la norma oficial NOM-F-S-1980,

Tabla 1.1. Especificaciones físicas y químicas de harinas de maíz nixtamalizado

ESPECIFICACIONES	MINIMO (%)	MAXIMO (%)
Humedad	10	12
proteínas (Nitrógeno x 6.25)	8.0	
Cenizas	1.0	1.5
Fibra cruda	1.5	2.0

(Klaus y Karel, 1991)

El uso de las harinas nixtamalizadas se ha incrementado notablemente debido a que tiene una vida de anaquel larga, de hasta un año, requiere solo agua y una mezcladora para regresar al estado de masa que puede fácilmente transformarse en tortillas o frituras. Los productores de tortillas a partir de masa fresca requieren programar el cocimiento del maíz cuando menos 12 horas antes de obtener el

producto, mientras que los que utilizan harina nixtamalizada necesitan menos de una hora para obtener productos terminados. La fabricación de harina ahorra compra de equipo necesario para cocinar (marmitas, generadores de vapor, etc.) y lavar el maíz, además del molino de piedras para producir la masa. Esto representa ahorro de energía, mano de obra y espacio en planta. Las principales ventajas de utilizar harinas nixtamalizadas es que prácticamente se reduce a cero la contaminación ambiental y da mucha flexibilidad a la planta ya que existen harinas comerciales de diferentes colores y aplicaciones. El nejayote o agua de cocimiento es uno de los efluentes mas difíciles de tratar por su alto pH y demanda biológica o química de oxígeno. Esto es especialmente importante en pequeñas factorías donde debido al volumen de producción no es prácticamente redituable invertir en una planta tratadora de nejayote. Otra de las ventajas del uso de harinas nixtamalizadas es que el producto tiene pocas fluctuaciones en calidad dándole al productor la facilidad de ofrecer un producto terminado de calidad consistente para el consumidor. Las desventajas de utilizar las harinas nixtamalizadas es que los productos no tienen el sabor como cuando se elaboran con masa fresca (Serna-Saldívar, 1996).

Descripción del proceso tecnológico de harinas de maíz nixtamalizado

1- Recepción: El maíz se recibe, generalmente a granel, en camiones, furgones o trailers, y es seleccionado, según su calidad, tomando muestras y analizándolas. En este paso se eliminan los vehículos que contienen un maíz con alto porcentaje de daños, humedad e impurezas, ó en su defecto se aplican multas de acuerdo a la NOM-FF-34. (Del Valle, 1974).

2- Pre limpia y limpia: La pre limpia y limpia del maíz se realiza generalmente mediante un cribado (Báez, 1982) las operaciones necesarias para la limpieza del maíz son :

- Separación, por cribado previo (prelimpia), de materiales extraños grandes (piedras, hojas de elote, paja, olotes, etc).

- Separación por cribado final, de cuerpos extraños pequeños (piedras, arena, restos de elote, etc).

- Separación por vía magnética de materiales ferrosos que podrían perjudicar la maquinaria sucesiva.
- Separación, por aspiración, de polvos e impurezas livianas (lavado por aire).
- Selección del maíz (separación de granos quebrados, grandes o pequeños).

Para la pre limpia se pueden utilizar cribas vibratorias, a la salida de los cuales se conectan ductos y/o transportadores para enviar el grano al almacenamiento; de donde es extraído conforme a las necesidades de producción. La limpieza final se puede realizar en cribas o en separadores (Báez, 1982).

3- Almacenamiento: El maíz seleccionado y limpio se envía al almacenamiento en silos ó bodegas (Del Valle, 1974), secos y ventilados (CODAI), para posteriormente ser nixtamalizado.

4- Cocimiento-Lavado-Reposo: En esta parte es importante mencionar que una unidad de producción completa consiste de las siguientes operaciones: nixtamalización, molienda, secado y cernido (Del Valle, 1974). El cocimiento del maíz puede realizarse por 4 métodos: cocimiento tradicional, cocimiento con vapor, cocimiento a presión y cocimiento por extrusión (Bedolla y Rooney, 1984). Antes del cocimiento puede haber una molienda suave, para disminuir la dureza del pericarpio y hacerlo más susceptible al disgregamiento y luego un precalentamiento del maíz a 67-70 °C con vapor directo (Baez , 1982).

El cocimiento con vapor puede ser tipo batch o continuo, en ambos casos se utiliza 0.6-1% de cal (en base al peso del maíz) y partes iguales (en peso) de maíz y agua (Serna-Saldívar *et al*, 1988).

En un cocimiento continuo con vapor, la cal se mezcla con maíz y el agua en un transportador de rosca, equipado con entradas de vapor. El maíz pasa lentamente a través del transportador y se va cociendo en su recorrido, debido a la inyección de vapor (Serna-Saldívar *et al* , 1988).

En un proceso tipo batch se utiliza un tanque de cocimiento de acero inoxidable, con entradas de vapor, y con medidores de temperatura, el cual se llena con agua y cal. El agua se calienta (85-94 °C) dependiendo de la temperatura ambiente con vapor directo, a la vez que se agita para disolver la cal, pudiéndose adicionar una agitación mecánica. Posteriormente se agrega el maíz al tanque, donde permanece el tiempo necesario para alcanzar el punto de cocimiento. Esta mezcla se mueve durante 3 minutos, por lo menos cada 20 minutos, para que floten granos dañados y pedazos de olote no eliminados en la limpieza y sean retirados manual o mecánicamente (Baez , 1982).

El tiempo de cocimiento debe variar, para una temperatura constante, de acuerdo a las características del maíz, relación maíz-agua, de tal manera que no sea afectado el sabor de la tortilla obtenidas con la harina (Baez , 1982). Una vez terminada la cocción, se drena el nejayote caliente del tanque y se agrega agua fría, mezclando por 25-30 minutos para remover el pericarpio y el calcio. Luego se drena el agua de lavado y se envía el maíz lavado a otro tanque con agua para realizar el reposo del nixtamal.

5- Molienda: La molienda del nixtamal se puede realizar en algunos tipos de molinos; de martillos, de discos de piedras (Serna-Saldívar *et al*,1988; Baez , 1982), por un efecto de fuerzas de impacto y cizalla (Mc Cabe, 1981).

Por otro lado, un molino de nixtamal trabaja en circuito abierto (molienda húmeda). En la molienda seca cuando se recircula el material molido al molino, trabaja en circuito cerrado, las partículas gruesas molidas son eliminadas en un separador para recircularlas al molino (Mc Cabe, 1981).

6- Secado: La masa del molino se descarga en una tolva de alimentación múltiple (Baez, 1982) que la distribuye a un sistema de secadores de tambor o tipo flash (Paredes y Saharopulos, 1982), donde se reduce su humedad al 10% (CODAI).

Bedolla y Rooney. (1984) afirman que el cocimiento del maíz debe ser a menos de 100 °C, hasta que este alcance una humedad del 35 %, y el secado de una masa con esta humedad debe ser a una temperatura menor a la temperatura de gelatinización del almidón del maíz, ente 60-72 ° C (esta es variable según el tipo de maíz), ya que el secado causa una gelatinización adicional en la masa.

7- Cernido: El material secado pasa a los cernedores para separar las partículas gruesas de las finas. Las gruesas retornan a los molinos, y las finas constituyen el producto final o harina (Del Valle, 1974). De las harinas obtenidas de varios cernedores se pueden hacer mezclas para obtener un producto con propiedades homogéneas (Serna-Saldívar et al, 1988).

8- Envasado: La harina se envasa en México, en 2 presentaciones básicas: paquetes de 1 kg en ventas al menudeo para el consumo domestico y sacos de 20 y 40 kg en ventas al mayoreo. El material de empaque empleado, en todos los casos, es papel en forma de doble envase. Una tercera presentación es la de los paquetes consistentes de 10 a 20 unidades de 1 kg. (Del Valle, 1974; Baez, 1982).

La nixtamalización origina un conjunto de efectos benéficos sobre la masa y/o harinas elaboradas de maíz nixtamalizada. Inhibe la actividad microbial por tanto ayuda a la conservación de estos productos, reduce significativamente la concentración de aflatoxinas, mejora parámetros como el olor, el sabor y el color; e incrementa el nivel nutricional de las tortillas a través de la biodisponibilidad de calcio, niacina y triptófano.

1.4.5 Cambios fisicoquímicos durante el proceso de nixtamalización

Algunos análisis químicos muestran que durante el proceso de nixtamalización se pierde un cierto valor nutricional del maíz. Sin embargo, el balance nutricional es definitivamente positivo y los resultados indican un aumento de lisina (2.8 veces), de triptófano y las relaciones de isoleucina a leucina se incrementan 1.8 veces. por tanto, la nixtamalización claramente incrementa el balance de aminoácidos esenciales y libera niacina que de otra manera permanecería sin ser aprovechada. Además, el proceso de nixtamalización provee beneficios como son la destrucción de aflatoxinas en el maíz contaminado por *aspergillus flavus*. La alta disponibilidad de calcio en la tortilla es importante porque evita el desarrollo de pelagra y la osteoporosis que se manifiesta como fragilidad de los huesos por pérdida de masa del sistema óseo (Villagrana y Villareal , 2000).

Cada una de las estructuras mayoritarias del maíz se afecta de distinta forma, puesto que sus componentes químicos interactúan por mecanismos diferentes con el calcio, como a continuación se describe: durante la cocción y el reposo en el pericarpio hay absorción de agua, suavizando y ablandando tejidos celulares, provocando el hinchamiento y por tanto un cambio de volumen del grano (Bakshi y Singh, 1980). El álcali actúa sobre los componentes de la pared celular modificándola y degradándola, cambia la permeabilidad del pericarpio facilitando la entrada del agua y de la solución alcalina hasta que la estructura se percola. Cuando se degrada el pericarpio, primero se presenta en la disolución de sólidos solubles como son las pectinas de la capa más externa del pericarpio, después las fracciones de hemicelulosa y lignina se desprenden, estos sólidos insolubles se depositan en el nejayote, modificando su viscosidad al formarse una suspensión, que con el tiempo sedimenta fracciones de calcio y de otros componentes del grano. Los grupos ácidos urónicos de la hemicelulosa son neutralizados por el hidróxido de calcio, se retiene calcio en forma de sales con el ácido poliurónico enlazados con grupos fenólicos derivados de la lignina, los cuales se oxidan en el medio básico, otorgándole un color no deseable a los productos tratados (Serna-Saldívar *et al.*, 1988; González *et al.*, 2004; Gutiérrez, 2006). Una alta concentración de calcio forma compuestos amarillentos, la intensidad del color

está relacionada con los pigmentos carotenoides y flavonoides (Rooney y Almeida-Domínguez, 1995).

Al hincharse el grano y procesarse se afecta a la matriz fibrosa formada de hemicelulosa-lignina. Por último hay una lixiviación parcial del pericarpio en el nejayote, licor donde se llevó a cabo la cocción, por lo tanto existe una pérdida importante de materia que incluye fracciones de componentes estructurales del maíz, pericarpio, germen, endospermo, fibra dietética, carotenoides y calcio. Las pérdidas de materia pueden variar de 2.0 hasta 14% en peso en el grano, dependiendo de la temperatura en que se coció el grano, de la concentración inicial de hidróxido de calcio, del tiempo en que reposa el grano en su solución, de la variedad de maíz y de la técnica de lavado utilizada (Serna-Saldívar *et al.*, 1990; Sahai *et al.*, 2000; Zazueta *et al.*, 2002; González *et al.*, 2004). Se ha reportado que el pericarpio es la estructura que retiene la mayor cantidad de calcio, sin embargo representa una fracción muy pequeña del total del grano 5 a 7 %. Una parte de esta estructura, junto con el calcio quedan en el nejayote durante la etapa de reposo y finalmente son eliminados durante la etapa de drenado.

Durante la nixtamalización las proteínas de más bajo peso molecular, localizadas en el germen, alteran los patrones de solubilidad y parcialmente pasan una parte al nejayote. Otro de los componentes del germen más susceptible a sufrir transformaciones durante el proceso de nixtamalización y que al mismo tiempo pueden fijar calcio, son los lípidos.

En un medio alcalino como en la nixtamalización ocurre la hidrólisis de las grasas a través del mecanismo conocido como saponificación, es decir la formación de sales de ácidos grasos y glicerina. Se ha reportado que el germen retiene 4 veces más calcio que el endospermo, la razón calcio-fósforo se incrementa significativamente, lo cual favorece el valor nutricional de la tortilla y se acerca a la proporción requerida 1:1 de estos macro elementos (Figuroa *et al.*, 2001; Figuroa *et al.*, 2007; González *et al.*, 2004).

En el endospermo se presentan gránulos de almidón que pueden estar parcialmente gelatinizados, sin gelatinizar o bien completamente gelatinizados. Estos cambios suceden durante la nixtamalización del maíz en sus etapas de

cocimiento, reposo y molienda. Se ha reportado que la temperatura en que inicia la gelatinización del maíz durante el proceso de nixtamalización es 68 °C (Bello *et al.*, 2002).

Los gránulos gelatinizados funcionan como pegamento en la masa. El pericarpio remanente, que ha sido transformado en gomas solubles, es el componente que da cohesividad a la masa; el pH alcalino y el calor provocan rompimientos de algunos puentes de hidrógeno, además de la disociación de los grupos hidroxilo en las unidades de glucosa de las cadenas de amilosa y de amilopectina, lo que lleva a obtener polímeros con una carga negativa y que puede formar puentes de calcio, formándose una red continua que permite que la masa desarrolle flexibilidad, con lo que disminuye la retrogradación del almidón (Bello *et al.*, 2002) Un almidón completamente gelatinizado durante el proceso es ocasionado por un tiempo de cocimiento excesivo y producen masas pegajosas, que son difíciles de manejar. Por otro lado, tiempos de cocimientos menores producen masas que no presentarán la característica de cohesividad. Se libera niacina y se disuelve parte de las proteínas que rodean a los gránulos de almidón que están contenidas en forma de cuerpos proteicos discretos en una lámina o matriz (Fernández-Muñoz *et al.*, 2002).

La proteína prolamina, o zeína, es típica en esta zona, tiene poca solubilidad en agua y sus puentes disulfuro no se rompen en condiciones alcalinas, lo cual puede explicar que esta proteína no es determinante para que desarrolle la flexibilidad (Badui, 1993). En cuanto a las proteínas, hay una desnaturalización, particularmente en las glutelinas, lo que las hace más digeribles; el tratamiento térmico–alcalino acrecienta también la disponibilidad biológica de la lisina y el triptófano, dado que la mayor parte de estos aminoácidos esenciales están contenidos en la fracción de glutelinas.

La susceptibilidad enzimática del almidón se incrementa ligeramente conforme se va cocinando el maíz con la cal, pero el mayor incremento se presenta durante la molienda y en el horneado. Por otro lado, el pH de las cadenas de glucosa de la amilosa y la amilopectina aumenta, lo que ayuda a ser más lenta la retrogradación (recristalización del almidón) y a mantener las tortillas frescas. Han sido

examinados los gránulos de almidón en microscopio con luz polarizada y la mayoría de ellos exhiben una birrefringencia, sin embargo la cruz de malta es menos clara y más ancha que la de los gránulos de almidón naturales. Así pues, la estructura del gránulo de almidón nativo se descompone parcialmente durante la cocción del maíz, lo cual queda confirmado por alteraciones en la cristalinidad según un patrón de rayos X establecido, es decir menos organizado comparado con el maíz crudo o nativo. No obstante las alteraciones en la cristalinidad del almidón ocasionada por la cocción, se restaura parcialmente por una recristalización o recocido durante el remojo. La reasociación de las moléculas de almidón puede afectar en forma considerable las propiedades reológicas subsecuentes de los productos elaborados con la masa obtenida del proceso de nixtamalización (Gómez *et al*, 1991).

Durante el proceso de nixtamalización tradicional, también en el endospermo se saponifican los lípidos presentes en la periferia, en la capa de la aleurona, formando sales de calcio con los ácidos grasos. Esta presencia de sales disminuye la temperatura a la cual inicia la gelatinización. Hay un hinchamiento de las regiones amorfas (amilosa) del almidón, debido a la difusión y absorción de agua, luego una ruptura de las estructuras granulares debido a la hidratación a medida que también aumenta la gelatinización, después ocurre una disolución de las moléculas de amilosa. Se forman compuestos de inclusión con ácidos grasos y la amilosa gelatinizada se cristaliza como amilosa tipo V, el progresivo hinchamiento de los gránulos de almidón produce la desintegración total de la estructura granular, este desorden estructural genera la exudación de la amilosa, ocasionando la gelación (Rooney y Almeida-Domínguez, 1995; Bryant y Hamaker, 1997).

En este complejo sistema disperso que se formó dentro del endospermo, la reasociación de la amilosa y la amilopectina depende del tiempo y de la temperatura, lo que constantemente repercute en el cambio del contenido y la distribución del agua. Esto se refleja en las propiedades reológicas y texturales de los productos elaborados a partir de masa o harina lo que se le llama capacidad de absorción de agua; por lo tanto, la distribución uniforme de agua en el nixtamal

se consigue durante la etapa de reposo que es cuando ha llegado mayor cantidad de agua a las primeras capas del endospermo y se ha generalizado el fenómeno de gelatinización (Biliaderis,1990; Biliaderis, 1991).

Durante la molienda húmeda del nixtamal para producir masa, los gránulos de almidón también se gelatinizan debido a la fricción que se genera en las dos piedras moledoras de el equipo de molienda húmeda como se muestra en la Figura 1.5. En algunos casos la molienda puede incrementar la temperatura de la masa en un rango de 26 a 52 °C. Aproximadamente del 4 al 7 % de los gránulos de almidón pierden completamente la birrefringencia durante la cocción con cal, el reposo y la molienda. Muchos de los gránulos de almidón tienen una forma irregular y con frecuencia sólo parte (menos del 60 a 70 %) de un gránulo individual presenta birrefringencia. Estos cambios pequeños pero importantes en la fracción del almidón de maíz modifican las propiedades de pasta del almidón, promueve que exista una masa con características reológicas y mecánicas necesarias para ser manejable por un operario o por un equipo a nivel semi o industrial (Biliaderis *et al.*,1990).

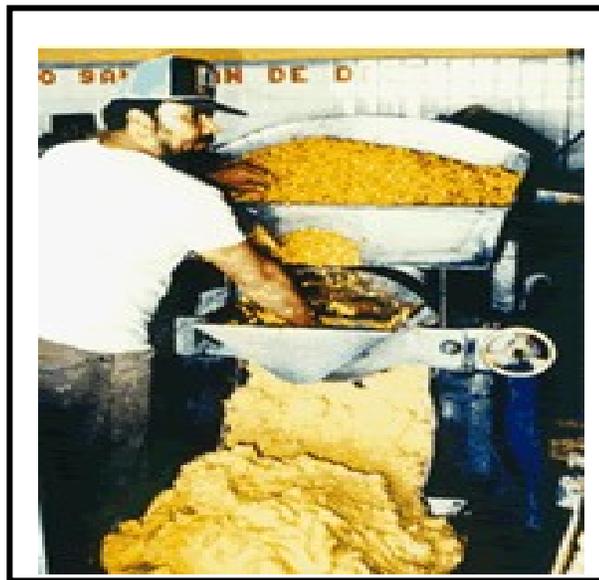


Figura 1.5. Manejo del grano de maíz en la molienda (Figueroa, 2004)

El 5-9 % del almidón gelatinizado forma el pegamento que ayuda a que exista una red continua entre los gránulos de almidón libres y el resto de los componentes que forman la masa, puesto que muchos gránulos no han sido afectados (Bello *et al.*, 2002).

La mayor parte de la birrefringencia y la cristalinidad del almidón se pierden cuando los discos de masa son cocidos para formar tortillas. La combinación de calor (280 a 310 °C) y un alto contenido de humedad (52 a 54%) facilitan una mayor gelatinización del almidón. Sin embargo aún continúan gelatinizándose en el corto tiempo de cocido de las tortillas (20 a 40 segundos), el resultado de estos cambios es una típica tortilla con una textura semiplástica y plegable. El color de la tortilla puede mejorarse mediante las reacciones de Maillard que se presentan mientras se reducen los azúcares, los péptidos y los ácidos grasos insaturados. Por otro lado al freír las tortillas, la humedad se evapora, siendo sustituida por aceite y los gránulos de almidón pierden por completo lo que les quedaba de birrefringencia y cristalinidad. Los geles de almidón son menos del 5% de gránulos birrefringentes y con un patrón amorfo de rayos X (Khan *et al.*, 1982; Rooney y Almeida-Domínguez, 1995; Serna-Saldívar *et al.*, 1993).

El uso de Ca(OH)_2 es fundamental para conseguir las propiedades mencionadas en las masas. Con otros álcalis como hidróxido de sodio ó potasio que contienen iones monovalentes, no se obtienen buenos resultados en cuanto a propiedades plásticas de la tortilla y de otros productos (Trejo-González *et al.*, 1982; Badui, 1993; Fenema, 2000).

Durante las etapas críticas de cocción y reposo del proceso de nixtamalización tradicional, los cambios físicos que se provocan en el maíz facilitan la molienda y con eso un menor gasto de energía en los molinos, porque se suaviza el grano por la entrada de agua y la difusión de iones de calcio. Esto promueve cambios químicos como ya se mencionó, la desnaturalización de las proteínas del germen, del endospermo y de la matriz proteica, así como la gelatinización del almidón, lo que da como resultado un producto o masa obtenida fácil de manipular (Pflugfelder *et al.*, 1988).

Una adecuada hidratación de los componentes del maíz, un cuidadoso perfil térmico y una buena técnica de lavado van a proporcionarle las características reológicas necesarias a la masa como son viscosidad, pegosidad, cohesión, elasticidad, etc, y muchos de estos cambios tienen una marcada influencia sobre las propiedades texturales de los productos finales como son la rollabilidad de la tortilla, textura, color, olor y sabor, entre otros (Bello *et al.*, 2002). Como puede verse se en la Figura 1.6.



Figura 1.6. Manejabilidad de la masa en elaboración de tortillas.(Figuroa, 2004)

La nixtamalización favorece algunos parámetros nutricionales de este cereal y afecta otros. Entre los efectos negativos de la nixtamalización se encuentran la pérdida de vitaminas que van desde un 30 hasta un 70 %; durante la cocción, reposo y lavado de maíz. Se pierde tiamina, carotenoides, proteínas, grasas, minerales y parte de la fibra dietética localizada en el pericarpio que es muy importante para darle propiedades mecánicas a la masa y necesaria para la digestión en el organismo humano.

Entre los efectos positivos de la nixtamalización puede citarse, además del mejoramiento de las características reológicas, un aumento en la relación isoleucina-leucina, que son dos aminoácidos indispensables en la alimentación

humana. Durante la cocción alcalina se rompe la ligadura de niacina a la estructura del grano y este importante nutriente se hace biodisponible. Este hecho se ha empleado para explicar la ausencia de la enfermedad conocida como Pelagra en los pueblos prehispánicos que emplearon éste método para el proceso de maíz. La nixtamalización es responsable también de la disminución de contaminación por micotoxinas como fumonisinas (producidas por varias especies de hongos *Fusarium*) y de la reducción significativa de los contenidos de aflatoxinas (agentes tóxicos y hepatocarcinogénicos, producidos por los hongos *Aspergillus parasiticus* y *A. flavus*) (Bressani *et al.*, 2001).

Existe también un notable incremento de calcio en el maíz nixtamalizado, unas 20 veces mayor que el no tratado; éste macroelemento es indispensable en la nutrición humana, que además es la única fuente de este mineral en zonas marginadas, donde una insuficiente ingestión puede dar lugar a raquitismo, osteomalacia, osteoporosis, cáncer de colon y de la glándula mamaria, así como hipertensión arterial, además de que es un constituyente fundamental de los huesos y dientes. Por otro lado el calcio iónico participa en funciones tales como relajación-contracción del corazón, contracción muscular, coagulación sanguínea, entre otras (Ortega *et al.*, 1991; Ocegüera , 1999).

1.4.6 Importancia del calcio y fósforo en la nutrición humana

El calcio es un mineral esencial para la formación y desarrollo del esqueleto humano, contribuyendo a la salud ósea, por lo tanto, una ingestión adecuada de calcio en las primeras etapas de la vida, tienen un efecto decisivo en la forma en la que se desarrollará el esqueleto en la vida adulta. Otras de las funciones son la transmisión de los impulsos nerviosos, mecanismos de contracción muscular, coagulación de la sangre, vasodilatación y una variedad de reacciones enzimáticas básicas (Cashman, 2002). El fósforo es otro mineral abundante en el hueso; dentro del organismo contribuye a la regulación del equilibrio ácido-base el cual es necesario para la actividad nerviosa y muscular, así como parte del almacenamiento y la utilización de energía en forma de trifosfato de adenosina

(ATP), también participa en la estructura del ácido desoxirribonucleico (DNA), ácido ribonucleico (RNA) y otros intermediarios del metabolismo (Moreno, 1984).

La biodisponibilidad del calcio se define como la fracción de Ca^{2+} proveniente de la dieta, que es absorbido por el intestino delgado a partir de los alimentos ingeridos y que puede ser empleado para diversas funciones fisiológicas, éste macro elemento es indispensable en la nutrición humana, que además es la única fuente de este mineral en zonas marginadas, donde una insuficiente ingestión puede dar lugar a raquitismo, osteomalacia, osteoporosis, cáncer de colon y de la glándula mamaria, así como hipertensión arterial, además de que es un constituyente fundamental de los huesos y dientes. Por otro lado el calcio iónico participa en funciones tales como relajación-contracción del corazón, contracción muscular, coagulación sanguínea, entre otras. Particularmente su mayor importancia es la mineralización de los huesos, o bien limitar la pérdida de la masa ósea. (Ortega *et al.*, 1991; Ocegüera, 1999).

La ingestión diaria recomendada (IDR) de calcio se encuentra en un rango comprendido entre 1000 a 1300 mg en el caso de los adultos, el cual se modifica dependiendo de la edad y el género. En el caso del fósforo la IDR es de 700mg a partir de los 18 años en adelante, incrementándose en la adolescencia y el embarazo (Gottschlich *et al.*, 2001).

1.4.7 Relación calcio / fósforo

La relación calcio / fósforo es importante en una dieta orientada a la prevención y control de enfermedades asociadas con anomalías en la estructura ósea (Gueguen *et al.*, 2000). Shah *et al.*(1967) reportaron que los huesos de fémur en ratas alimentadas con una dieta cuya relación Ca/P se mantuvo de 2:1 comparado con los huesos provenientes de ratas alimentadas con dietas cuya proporción de Ca / P fue de 1:1, fue la misma. Sin embargo, hubo investigadores que recomendaron una ingesta de Ca/ P en la dieta mayor a 1:1 para que el calcio pudiera ser asimilado y evitar de esta manera la pérdida de masa ósea (Anderson *et al.*, 1972).

El trabajo publicado por Nnakwe *et al.* (1985) señala que las dietas altas en fósforo incrementaron el riesgo de fractura de los huesos.

Spencer *et al.* (1988) en un estudio similar, demostraron que las dietas ricas en fósforo tienen un efecto negativo en la disposición de calcio en el hueso.

Algunos trabajos realizados con animales de experimentación, los cuales fueron alimentados con dietas a base de tortillas, indicaron que cerca del 90% del calcio en la tortilla es biodisponible (Poneros *et al.*, 1988; Reguera, 2003).

En un estudio realizado por Anderson. (1996), determino que una ingesta baja en calcio y alta en fósforo, es un elemento potencial para el desarrollo deficiente de una masa ósea. En el mismo año otros investigadores mencionan que el fósforo podría alterar el metabolismo de calcio (Spencer *et al.*, 1988).

Whiting *et al.*(2002) en investigaciones recientes han demostrado que la relación Ca / P ideal en la dieta de los humanos es de 1: 1.5, para mantener la densidad mineral ósea de los varones adultos. Con base en lo anterior, se destaca que la relación Ca / P tiene influencia en la absorción del calcio por parte del organismo y por lo tanto, en la formación de los huesos.

Martínez *et al.* (2001) realizaron un estudio en donde se evaluó la absorción de calcio en ratas sometidas a dietas elaboradas a base de maíz crudo, tortillas preparadas con masa extrudida con hidróxido de calcio y con masa extrudida sin álcali, además de tortillas elaboradas por el método tradicional de nixtamalización; Los resultados indicaron que los huesos de fémur de ratas alimentadas con las tortillas elaboradas con masa extrudida con cal y con el método tradicional, fueron más compactos, más gruesos, más largos y presentaron una mayor calidad cristalina, resistencia a fracturas y un contenido de calcio mas alto, con respecto a los huesos provenientes de las ratas alimentadas con tortillas preparadas con masa extrudida sin cal y con maíz crudo. Así mismo, señalaron que las dietas de maíz extrudido con hidróxido de calcio presentaban una mejor relación calcio / Fósforo (1.18) y nixtamalizado por el método tradicional (1.24), que las dietas preparadas con maíz crudo (0.77) y maíz extrudido sin cal (0.79).

Wyatt *et al.* (2000) estudio el crecimiento y composición de los huesos de fémur de ratas alimentadas con dietas elaboradas con diferentes contenidos de Ca y P, tal como se encuentran presentes en la dieta tradicional mexicana, detectándose que el contenido de calcio en las dietas tiene un efecto significativo en la formación de masa ósea y en la deposición de calcio en el hueso.

Realizando una comparación en el contenido de calcio, presente en harinas de maíz de la variedad Toluca elaboradas por medio del proceso tradicional de nixtamalización (Fernández *et al.*, 2002), harinas de maíz nixtamalizado elaboradas por el proceso industrial de una marca comercial de mayor consumo entre la población mexicana (Palacios, 2004), harinas de maíz nixtamalizado de alta calidad proteínica (QPM) elaborada por el proceso tradicional (Gutiérrez *et al.*, 2006), la relación de un vaso de leche (250 ml) considerado como referencia con mayor biodisponibilidad de calcio, el grano de maíz nativo, es decir, sin ningún proceso y finalmente, la tortilla como un producto final de la nixtamalización, se tiene que en cuanto a la relación calcio / fósforo a excepción de las harinas elaboradas por el proceso industrial, el método tradicional incrementa hasta en un 400% el contenido de Ca en los productos nixtamalizados, mientras que el contenido de fósforo no se modifica, lo cual repercute en la relación Calcio / Fósforo). La harina de maíz QPM nixtamalizada por el proceso tradicional, es la que presenta un mayor incremento en la relación Ca / P muy similar al de la leche (Palacios, 2004).

1.5 Pérdidas de la materia seca durante el tratamiento térmico-alkalino

En las últimas décadas ha existido un mayor interés científico por entender los cambios fisicoquímicos de compuestos orgánicos, tales como biopolímeros y sistemas de alimentos, no únicamente por su importancia en la dieta, sino también debido a la necesidad de conocer su evolución durante los procesos de transformación, para poder disponer de su manufactura, manejo y almacenamiento.

Una característica distintiva de la ingeniería en alimentos y de otras disciplinas afines es que se ocupan de la transformación de materiales orgánicos para obtener otros con diferentes propiedades, que resultan de utilidad para la industria y el consumidor. Esta transformación de materia prima a productos elaborados durante los procesos tecnológicos, está conformada por una secuencia de operaciones unitarias donde están inmersos fenómenos de transferencia de masa, de calor y de momentum, o una combinación de ellos (Lobo, 1997). Por lo tanto, el ingeniero y el tecnólogo deben ser muy cuidadosos con las condiciones de proceso que manejan para que pueda existir un equilibrio entre las pérdidas de nutrimentos durante cualquier tratamiento y las propiedades que se desean obtener del alimento.

El pericarpio representa aproximadamente el 5% en peso del grano total, es la primera estructura del maíz que tiene contacto con la solución alcalina, cubre por completo al germen y al endospermo (Baez, 1982). Durante el proceso de nixtamalización, se pierde una importante cantidad de pericarpio y esto representa perder también una considerable cantidad de calcio biodisponible que se fijó durante el proceso, así como de fibras naturales que son necesarias para una adecuada digestión del organismo humano. Por lo tanto, el tratamiento al que se somete el cereal requiere de un equilibrio entre la pérdida y la conservación del pericarpio, hasta una adecuada precolación de la estructura que permita el paso de la difusión de agua y calcio al interior, es decir que la degradación de la estructura sea parcial (Gutiérrez *et al*, 2007).

Originalmente se recomendaba que durante el tratamiento térmico-alcalino, se eliminara el pericarpio debido a que también está relacionado con los pigmentos carotenoides y flavonoides, que son los que le dan el color indeseable (amarillo intenso) al nixtamal, hoy se sabe que la harina que se produce de maíz, no necesariamente debe ser blanca, que esto depende de la variedad y color de el maíz, por otro lado el pericarpio es la única fuente de fibra en el grano y su eliminación total durante el proceso ocasiona que los productos intermedios como la masa y harinas requiera de mayores aditivos para mejorar sus propiedades

mecánicas y reológicas, lo cual va a repercutir en la textura y flexibilidad de las tortillas (Martínez *et al.*, 2001).

Aproximadamente el 50 % del consumo de maíz en México es en forma de tortillas, las cuales son preparadas a través de un proceso conocido como nixtamalización. Durante este tratamiento térmico-alcalino, se presenta una pérdida de las estructuras del grano de maíz principalmente pericarpio, a estas pérdidas en la literatura se le conoce como materia seca pérdida. A nivel industrial esto representa importantes sumas de dinero y una manera de conocer cuanta materia se ha perdido es realizar balances de materia durante todo el proceso de nixtamalización.

1.5.1 Pérdidas de materia seca

A partir de estudios sobre la cocción de maíz por amas de casa del campo que aplicaban sus propios métodos tradicionales, Bressani y Scrimshaw. (1958) determinaron una pérdida de sólidos (17.1% en maíz blanco 15,4 % en el maíz amarillo) durante la transformación del maíz en masa. Bedolla y Rooney.(1984) determinaron 13.9 % y 10 % respectivamente en el maíz blanco y amarillo aplicando el procedimiento tradicional, y del 7 y 5,7 % en la cocción a vapor. Otros evaluaron variaciones de la técnica de elaboración, Khan *et al.* (1982) encontraron pérdidas del 7 al 9% en la elaboración comercial, del 9 al 11% en la cocción a presión y del 11 al 13% aplicando el método tradicional. Según estos investigadores, las pérdidas de materia seca aumentaban en proporción al aumento del tiempo de cocción. De igual modo, la integridad del grano de maíz influye en las pérdidas. Según Jackson *et al.* (1998), las pérdidas de materia seca con el procedimiento tradicional de cocción eran mayores en los granos quebrados (10.8–12.1%) que en los enteros (6.3–8.9%). Además de la integridad del grano y del método de cocción empleado, otros factores como la duración del remojo influyen en las pérdidas de materia seca; las pérdidas son mayores cuanto más prolongado sea éste. Bressani *et al.* (1990) encontraron pérdidas del 17.1% en la variedad Nutricta, frente al 17.6% en un maíz blanco. Sproule *et al.*(1988)

constataron una pérdida de materia seca del 9.6% frente al 10.2% en el maíz común. Pérdida de sólidos mostrados en la Figura 1.7.

Las pérdidas de materia seca dependen de diversas variables, como el tipo de maíz (endospermo duro o blando), la integridad del grano (granos enteros o quebrados), el método de cocción (tradicional, al vapor, bajo presión o comercial), la cantidad de hidróxido de calcio empleado en la cocción, el tiempo de reposo de los granos, como el tratamiento para eliminar la cubierta seminal durante el lavado de los granos.



Figura 1.7. Pérdidas de sólidos en el nejayote (Foto tomada en la nave 2000 de Ingeniería en Alimentos)

Este tratamiento también elimina otras partes del grano: la cofia y posiblemente la capa de aleurona, así como, pequeñas cantidades de germen. Paredes y Saharopulus (1982) utilizaron un microscopio electrónico con barrido para mostrar que la superficie exterior del maíz tratado con cal presentaba un considerable deterioro estructural. Indicaron que la capa de aleurona y algunos estratos del pericarpio se conservan y que el germen permanecía sujeto al endospermo. Gómez *et al.* (1991) observó que se producen importantes cambios

estructurales en el maíz en el curso de la «nixtamalización», notaron que en este proceso la cal debilita las paredes celulares, facilitando así la eliminación del pericarpio; así mismo solubiliza la pared celular del endospermo periférico, da lugar a una hinchazón y destrucción parcial de los granos de almidón y modifica la apariencia de los cuerpos proteicas. La masa obtenida contiene fragmentos de germen, pericarpio, aleurona y endospermo, así como almidón libre y lípidos disueltos.

CAPÍTULO II METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Para dar solución al problema que se planteó para esta investigación: Establecer la influencia de las condiciones de proceso durante la nixtamalización en la materia seca perdida y la relación calcio/ fósforo.

Objetivo general :

Evaluar el efecto de como influyen las condiciones del proceso de nixtamalización en las pérdidas de materia seca y la relación calcio-fósforo en granos de maíz, mediante balances de materia y técnicas espectroscópicas.

Objetivos Particulares:

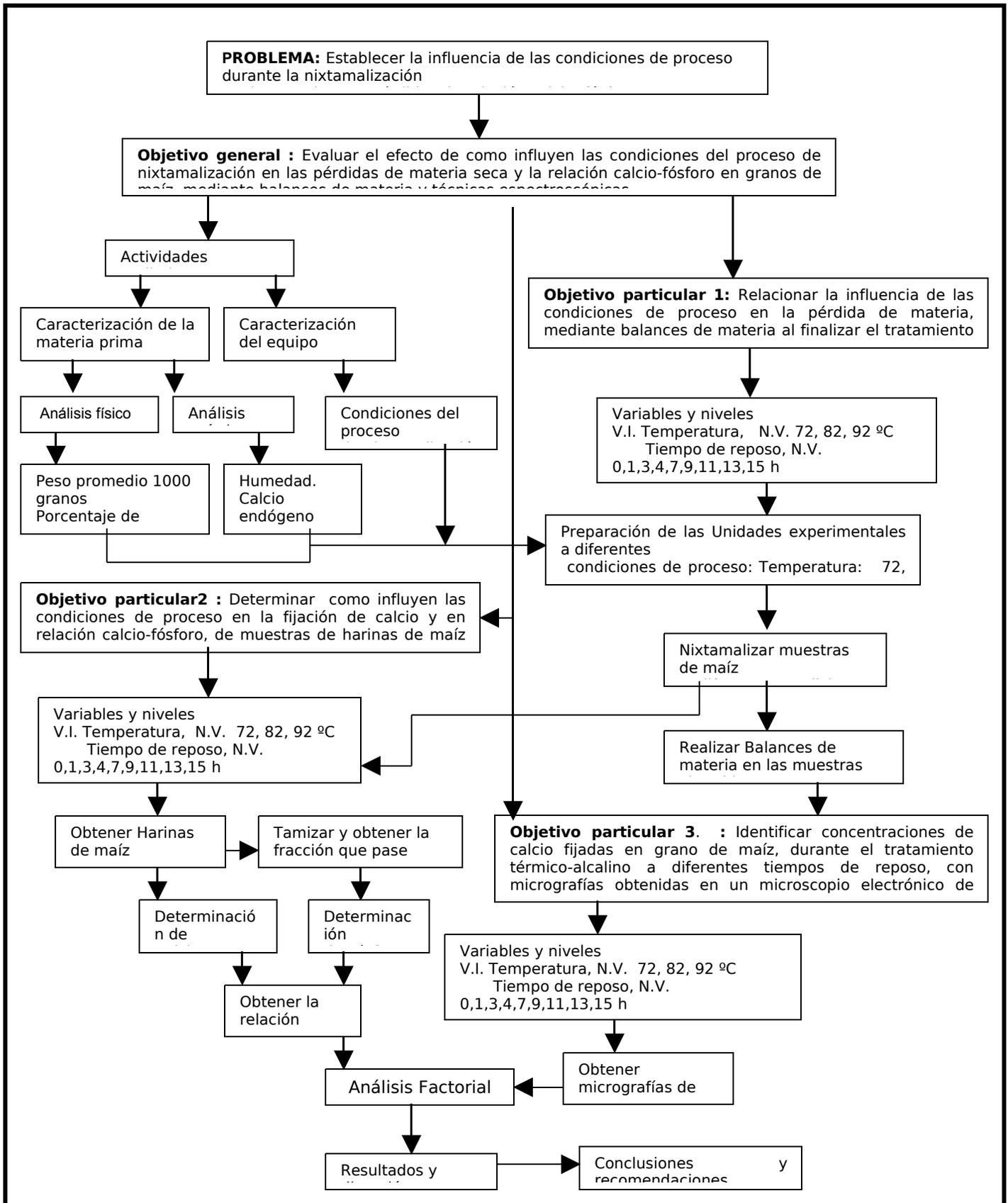
Objetivo particular 1: Relacionar la influencia de las condiciones de proceso en la pérdida de materia, mediante balances de materia al finalizar el tratamiento térmico alcalino.

Objetivo particular 2: Determinar como influyen las condiciones de proceso en la fijación de calcio y en relación calcio-fósforo, de muestras de harinas de maíz nixtamalizadas a diferentes temperaturas y tiempos de reposo.

Objetivo particular 3: Identificar concentraciones de calcio fijadas en grano de maíz, durante el tratamiento térmico-alcalino a diferentes tiempos de reposo, con micrografías obtenidas en un microscopio electrónico de barrido a bajo vacío, y correlacionarlas con la materia seca pérdida.

En la Figura 2.1 se presenta el cuadro metodológico o resumen esquemático del desarrollo experimental que se llevó a cabo para realizar las actividades concernientes a los objetivos y la contrastación de la hipótesis planteada.

2.1 Cuadro Metodológico



2 Descripción de actividades preliminares:

Las actividades preliminares que se realizaron fueron: la caracterización de la materia prima y el establecimiento de las condiciones de proceso, las cuales aparecen en el cuadro metodológico en la Figura 2.1

2.1 Caracterización de la materia prima

QPM-HV-362, fue proporcionado por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Delegación Bajío, ubicado en Celaya, estado de Guanajuato. Esta variedad es un híbrido de alta calidad proteica (QPM). Obtenido a partir del desarrollo de versiones con el gen opaco, pero con fenotipo normal o cristalino donde se obtienen poblaciones con endospermo modificado. La caracterización de la materia prima se realizó para conocer las características del grano de maíz sin haber sido procesado (crudo), para poder definir los objetivos particulares y para compararse con los cambios físicos que le provoca el tratamiento térmico-alcalino a los granos de maíz a diferentes condiciones de proceso.

2.1.1 Análisis Físico

2.1.1.1 Peso promedio de 1000 granos

Dado que es necesario el conocimiento del peso de maíz para homogenizar cantidad de granos debido a que los granos de dimensiones menores sufren menor degradación, se cuantificaron 1000 granos, de acuerdo a la metodología descrita por Dorsey-Redding *et al.*, (1991). Se registró el peso en una balanza analítica. Se realizó por triplicado y se calculó el valor promedio de los datos.

2.1.1.2 Porcentaje de estructuras del grano

Durante el proceso de nixtamalización, sobre todo en la etapa del tratamiento térmico-alkalino hay transformaciones fisicoquímicas en las principales estructuras pericarpio, germen y endospermo, lo cual provoca pérdidas de materiales, estas pueden cuantificarse con un balance de materia, a partir de la cantidad de estructuras en granos crudos o nativos.

Las variedades QPM son granos que han sido modificados, la cantidad de pericarpio presente en el grano es variable. Es necesaria la determinación de la distribución ponderal de las principales estructuras por tratarse de un híbrido QPM. La determinación se llevó a cabo de forma individual en 100 granos de maíz íntegros, los cuales se pasaron la criba de 8 mm. Estos se hidrataron con 50 ml en agua destilada por 40 minutos, después se drenó el agua. Posteriormente se separaron manualmente las estructuras anatómicas del maíz, se secaron a temperatura de 40 °C en un horno de aire forzado hasta alcanzar un porcentaje de humedad del 12 % . Los granos y sus componentes fueron pesados individualmente en una balanza analítica calibrada. Para obtener el porcentaje real. La prueba se realizó por triplicado y se calculó el valor promedio de los datos y la desviación estándar.

La determinación de la distribución ponderal de las principales estructuras anatómicas del maíz se realizó en granos individuales. Se llevó a cabo en 100 granos de maíz íntegros, hidratándolos con 50 ml de agua destilada por 40 minutos, después se drenó el agua, los componentes anatómicos del maíz se separaron manualmente, secándose a temperatura de 40 °C 12 horas;

2.1.1.3 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 existen más granos de maíz por cada 100 gramos, lo que trae como consecuencia mayor área superficial en contacto con la solución alcalina donde están inmersos los granos de maíz durante el proceso y por ende mayor fijación de calcio en una

muestra representativa. La medición se realizó en muestras de 100 granos de maíz retenidos en una criba de abertura de 8 mm, utilizando un vernier digital para semillas, para obtener largo, ancho y espesor de acuerdo a la metodología descrita por Moreno. (1984). Se realizó por triplicado y se calculó el valor promedio y la desviación estándar.

2.2.1 Análisis Químico

2.2.1.1 Humedad

El análisis químico del maíz QPM–HV362 crudo se realizó únicamente para humedad de acuerdo con las metodologías descritas por la AOAC (2000). Fue necesaria la determinación para homogenizar que todos los granos tengan la misma humedad al iniciar el proceso, dado que después de ser tratados los granos se secaron hasta alcanzar una humedad del 12.17 % y a partir de ahí se podrán establecer los balances de materia. La determinación se realizó por triplicado de acuerdo al método 925.10 AOAC. (2000). se calculó el valor promedio y la desviación estándar.

2.2.2.2 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 grano nativo, de acuerdo al método descrito por Fernández *et al.* (2002).

El aparato está equipado con una lámpara de deuterio con corrector de trasfondo y una lámpara de cátodo hueco para leer calcio. Las condiciones en que se operó el equipo fueron aire (12 psi), acetileno (70 psi), flama 422.7 nm, lámpara de uso corriente 10mA y el corte de ancho 0.7 nm.

Las determinaciones se realizaron en un laboratorio certificado, LAFGA, del instituto de Geografía de la UNAM, para análisis de calcio en materiales, utilizando un microondas para digerir las muestras, un estándar de 1000 ppm de calcio para

preparar la curva de calibración y una referencia certificada corn meal-solid, para establecer el porcentaje de recuperación en un espectrofotómetro modelo AA-110 VARIAN,

Las determinaciones se hicieron por triplicado y se obtuvo el promedio de los resultados, así como la desviación estándar (Montgomery, 2003).

2.2.2.3 Determinación de fósforo endógeno

La determinación se realizó en grano nativo para conocer la concentración de fósforo en el grano crudo y determinar si se presentaban pérdidas durante el proceso de nixtamalización. Se utilizó el método 965.17, AOAC. (2000). Los granos de maíz crudo fueron molidos para obtener harina en un molino de cuchillas marca Braun modelo KSM2, posteriormente las muestras fueron pasadas por el tamiz 60 USA, y el polvo obtenido y retenido en el tamiz 70 fue utilizado para realizar las determinaciones. 2 g de muestra fueron vertidas en tres crisoles previamente puestos a peso constante, estas fueron calcinadas en una mufla durante 4 h a 600 °C, posteriormente se enfriaron y pesaron las cenizas. En un vaso de precipitado se colocaron las cenizas, se les agregó 40 ml de ácido clorhídrico (HCl) y 10 ml de ácido nítrico (HNO₃) como se muestra en la Figura 2.2, se calentaron las muestras en una parrilla hasta punto de ebullición manteniéndolas durante 10 a 15 minutos y se enfriaron, se transfirieron a un matraz de 100 ml y se aforaron con agua, se filtraron con papel Whatman No. 541-110 nm, se tomaron 10 ml del filtrado y se colocaron en un matraz de 100 ml y 10 ml de reactivo de Molibdovanadato. Se preparó una curva estándar de fósforo.

se calibró con el estándar de fósforo, posteriormente se leyó el % de fósforo de las muestras en un espectrofotómetro UV-VIS, empleando celdas de 15 mm a una longitud de onda de 400 nm.

Calculo para obtener el porcentaje de fósforo.

$$\% P = \frac{\text{mg P en la muestra leída}}{\text{g muestra } (\approx 2\text{g}) \times 10}$$

Se llevó a cabo por triplicado y se calculó el valor promedio y la desviación estándar.



Figura 2.2 Preparación de la muestra para determinación de fósforo (fotos tomadas en CFATA-UNAM Juriquilla, Querétaro)

2.3 Establecimiento de las condiciones de proceso

Se establecieron las condiciones de trabajo de acuerdo a los puntos de mayor importancia durante el proceso, a fin de estandarizar el proceso térmico alcalino con el que se elaboran las unidades experimentales Maíz variedad QPM–HV362

Materiales:

- Agua destilada
- Hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ grado analítico, pureza 66%
- Concentración de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ de 1 %, 66 % de grado de pureza
- El maíz QPM HV-362, 200 g por muestra
- Parrilla eléctrica
- Termómetros de bulbo de mercurio.
- Computadora
- Estufa con circulación de aire forzado
- Latas con capacidad de 600 ml
- Parrilla eléctrica
- Balanza granataría
- Balanza analítica
- Vasos de precipitado
- Probeta graduada de 100 ml
- Tamices 60-70 USA.
- Charolas de aluminio
- Temperaturas 72, 82, 92 °C
- Tiempos de reposo: 0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 y 15 h

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**

Niveles de variación (3) : T = temperatura :72, 82 y 92 °C

Se decidió trabajar con estas temperaturas en base a que 92 °C es la que corresponde a la temperatura a la que se procesa de manera artesanal, 82 –72 °C, es la que reportan la mayor parte de las investigaciones para la etapa de

cocción a nivel industrial, con esto justificamos los niveles de estudio se puede considerar un punto de comparación.

❖ Variable independiente : **Tiempo de reposo**

Niveles de variación (9) $t = 0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13$ y 15 horas.

Los tiempos de reposo fueron elegidos en base a la revisión de los antecedentes. Puesto que esta variable es considerada crítica para la mayoría de los investigadores relacionados con esta área, se eligieron nueve niveles que se han trabajado por separado en la mayor parte de las investigaciones. Los intervalos se establecieron considerando que exista un nivel de significancia estadística.

• **Parámetros a mantener constantes :**

Los parámetros que se controlaron fueron los siguientes:

- Nivel de variación: 72, 82, 92 °C
- No. de muestras: 10 por temperatura
- Velocidad de calentamiento: 2.5 grados por minuto
- Tiempo de mezclado: 5 segundos cada 10 minutos
- No de repeticiones: 6 , total 60
- La cantidad de agua de lavado: 1L por 1kg de maíz
- No. De lavados: 2
- Tiempo de lavado: 5 segundos
- Por cada muestra se colocó otra charola con muestra para ir sacando granos donde se cuantificaba la humedad pérdida durante el secado, hasta llegar a un 12 % de humedad. Esto porque cada muestra permanecía en su licor de cocimiento diferentes tiempos, es lo que se conoce como tiempo de reposo, esto quiere decir que cada muestra tenía diferente humedad.

2.4 Preparación de las Unidades experimentales a diferentes condiciones de proceso

Se pesaron veinte recipientes metálicos de 600 ml de capacidad y se pusieron a peso constante en una estufa a temperatura de 100 °C durante 3 horas . Se pesaron 200 gramos de maíz, se vertieron en el recipiente con 400 ml de agua destilada y 2 g de $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

El recipiente se cerró con una tapa metálica previamente perforada con dos orificios , donde se insertaron un termómetro y en el otro un mezclador de paleta. El recipiente se colocó en una parrilla eléctrica y se cubrió con una camisa aislante desmontable como muestra la Figura 2.3.

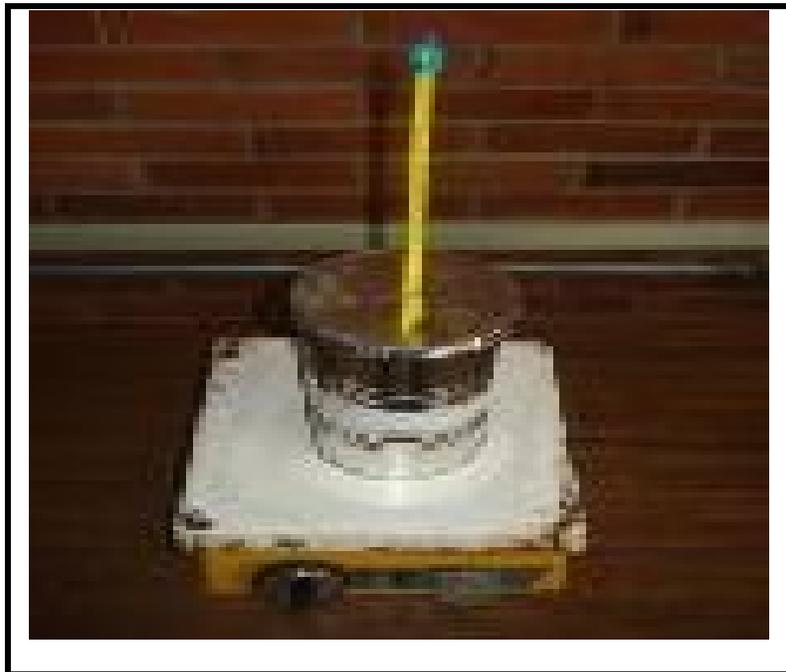


Figura 2.3 Procedimiento de la nixtamalización de las muestras (Foto tomada en la nave 2000 de Ingeniería en Alimentos)

La primera rampa inició a temperatura de 22.5 °C, se fue calentando hasta alcanzar 92 °C, la segunda rampa es de mantenimiento de 92 °C, durante 25 minutos , después se suspendió el calentamiento y los granos se dejan reposar en

su licor de cocimiento por 1, 3, 5,7,9,11,13,15 horas respectivamente dependiendo de la muestra, como aparece en la Figura 2.4.

Desde el inicio hasta el término de la rampa de calentamiento se mezcló cada 10 minutos para evitar la sedimentación del Ca(OH)_2 , pero no se mezcló en tiempo de reposo, al finalizar el tiempo de reposo previamente establecido el contenedor se pesó, posteriormente las muestras se drenaron por 5 minutos, se obtuvo el nejayote o licor de cocción, el cual se cuantifica en un probeta graduada.



Figura 2.4 Muestra nixtamalizada (Foto tomada en la nave 2000 de Ingeniería en Alimentos)

A continuación se realizaron dos lavados del grano, en un vaso de precipitado con 200 ml de agua destilada para 200 g de maíz se vierten los granos y se mezclan 3 veces con un mezclador de paleta por 5 segundos y luego se drena el agua por 5 minutos, el segundo lavado se realiza con el mismo procedimiento, y las aguas de lavado se juntan con el nejayote.

El nixtamal o granos hidratados tenían diferente humedad dependiendo del tiempo en que reposaron en su licor de cocimiento, se colocaron en charolas de aluminio, se pesaron dos muestras, una para el balance de materia y otra para extraer granos cada 5 minutos y cuantificar su humedad, se secaron a 40 °C en periodos mayores de 8 horas dependiendo de la hidratación adquirida durante el proceso de nixtamalización hasta que el grano alcanzó una humedad del 12% como muestra la Figura 2.5 este procedimiento, se realizó para todas las muestras. Una de las charolas con granos, se utiliza para ir monitoreando la pérdida de humedad. Al finalizar el secado la muestra se pesó y se realizaron los balances de materia.



Figura 2.5 Muestras procesadas cuando alcanzan el 12 % de humedad (Foto tomada en la nave 2000 de Ingeniería en Alimentos)

Los recipientes metálicos fueron perfectamente lavados y enjuagados con agua destilada, volvieron a utilizarse para la temperatura de 82 °C, con las mismas

condiciones y materiales, pero variando el tiempo de cocimiento en la rampa de mantenimiento de 40 minutos, después se repitió el procedimiento pero para 72 °C y con una rampa de mantenimiento de 64.5 °C (los tiempos fueron previamente obtenidos por Gutiérrez *et al.*, 2007).

Descripción de actividades por objetivos

2.5 Descripción de actividades para realizar los balances de materia

Los balances de materia se realizaron con las muestras obtenidas a diferentes condiciones experimentales. La Figura 2.6 muestra el ejemplo de cálculo de los balances.

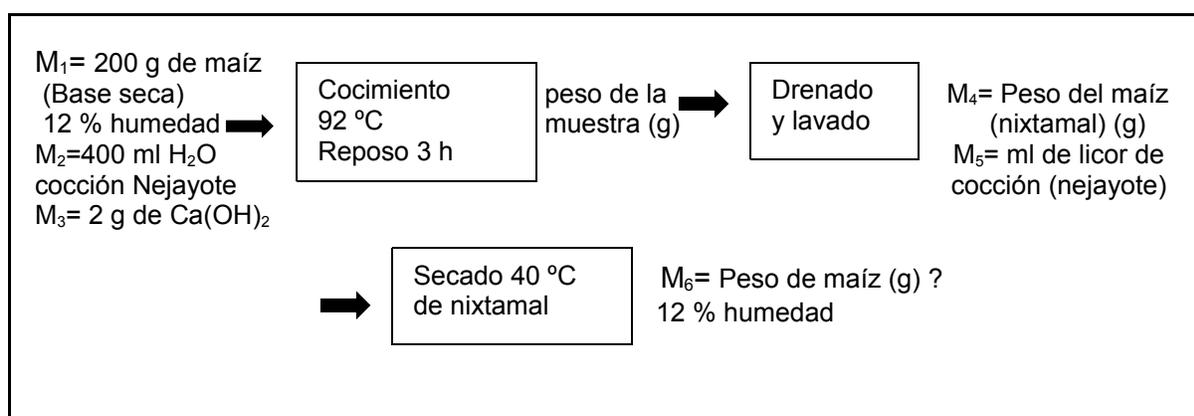


Figura 2.6 Ejemplo de balance de materia después del proceso

Los balances se realizaron por triplicado para cada temperatura y todos los tiempos de reposo, se calculó el valor promedio y la desviación estándar. Con estos datos se obtendrá la cantidad de materia seca pérdida.

2.6.- Determinación de calcio fijado para las muestras procesadas

Se realizó por espectroscopía de Absorción atómica con el Método 974.24 AOAC (2000). Con modificaciones a esta metodología de acuerdo a las sugerencias de la Técnica en determinaciones de minerales: Dra. María del Pilar

Fernández del Instituto de Geografía (UNAM). Las sugerencias se mencionan a continuación:

Las muestras de maíz fueron digeridas en ácido para dejar sólo los minerales, ya que estas contienen residuos orgánicos que pueden influir en las mediciones.

La digestión de las muestras de granos se llevó a harina, se realizó utilizando 0.25 g de muestra, agregando 10 ml de ácido nítrico con alto grado de pureza; para esto se utilizó un microondas a tres rampas de calentamiento: la primera de temperatura ambiente hasta 130 °C en 4:30 minutos, la segunda de 130 °C, hasta 150 °C en 4:00 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 filtró, se le adiciono óxido de lantano y se aforó a 50 ml. Se analizó la muestra con adición de lantano porque forman compuestos más estables con el fosfato y liberará mejor el calcio. La lectura se realizó en un equipo de espectroscopía de absorción atómica. La absorción de energía y la concentración del analito están cuantitativamente relacionadas con la ley de Lambert-Beer (Skoog *et al.*, 1995; Amezcua, 2000).

La determinación fue realizada por triplicado y se calculó el valor promedio y la desviación estándar.

2.7 Determinación de fósforo para las muestras procesadas

Los granos de maíz nixtamalizados a diferentes condiciones, fueron molidos para obtener harina en un molino de cuchillas marca Braun modelo KSM2, posteriormente las muestras fueron pasadas por dos tamices 60-70 USA, y el polvo obtenido y retenido en el tamiz 70 fue utilizado para realizar las determinaciones. Las determinaciones de fósforo en muestras procesadas se realizaron de acuerdo al método 965.17, AOAC. El procedimiento utilizado fue el mismo que el mencionado en el punto **2.2.2.3**

2.8 Obtener la relación calcio / fósforo

Una vez obtenida la concentración de los minerales calcio y fósforo se obtendrá la relación entre estos, debido a que si el fósforo es mayor, compite para la absorción de calcio en el organismo. Una mayor concentración de fósforo en los huesos incrementa el riesgo de fracturas, debido a que el fósforo tiene un efecto negativo en la deposición de calcio en el hueso, es decir altera su metabolismo del calcio en el cuerpo humano. Trabajos realizados con ratas, los cuales fueron alimentados a base de tortillas, indicaron que el 80 % del calcio en la tortilla es biodisponible (Spencer *et al.*, 1988; Anderson, 1996)

2.9 Identificación de compuestos de calcio

Las micrografías de granos de maíz nixtamalizado fueron obtenidas para las muestras tratadas a 92 °C. Se realizó mediante la técnica de microscopía electrónica de barrido a bajo vacío (LV-SEM). El análisis se realizó con granos de maíz nixtamalizados en un microscopio electrónico de barrido de bajo vacío modelo JEOL JSU-5600, según la Figura 2.7 con metodología de Arenas (1999).

Los granos de maíz nixtamalizados se colocaron en un portaobjeto, que se introdujo al microscopio. Después se enfocó la muestra, cambiando los aumentos.



Figura 2.7 Microscopio electrónico de barrido a bajo vacío (Foto tomada en el Instituto de Física, en el laboratorio de microscopia electrónica)

2.10 Análisis Estadístico

El análisis estadístico que se planteó para los resultados del balance de materia fue un factorial, para comparar la influencia de dos factores: temperaturas de proceso y tiempos de reposo de los granos de maíz . Estos balances de materia se realizaron a muestras de maíz obtenidas a diferentes condiciones.

CAPÍTULO III ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El tratamiento térmico al que se somete el maíz, promueve cambios físicos y químicos en el grano, cuya magnitud depende de las variables críticas que intervienen en el proceso, es decir, la temperatura, el tiempo de cocción, la concentración inicial de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y del tiempo en que se deja reposar el grano.

Durante el proceso de nixtamalización tienen lugar transformaciones en cada una de las estructuras anatómicas y en sus componentes químicos, modificando sus propiedades estructurales, fisicoquímicas, reológicas y ópticas, mismas que se manifiestan en sus características nutrimentales y organolépticas de los productos finales elaborados con maíz nixtamalizado. En este mencionado proceso se presentan pérdidas de las partes del grano que son de suma importancia ya que esto se ve reflejado en disminuir las ganancias en la industria nixtamalera. En virtud de lo anterior, el propósito de este trabajo consistió en conocer la materia seca pérdida de granos de maíz sometidos al proceso de nixtamalización, mediante balances de materia realizados al término de cada evento.

Resultados de actividades preliminares:

3.1 Caracterización de la materia prima de maíz QPM–HV362

3.1.1 Análisis Físico

3.1.1.1 Peso promedio de 1000 granos QPM–HV362

La determinación se realizó con la finalidad de mantener la mayor aproximación de la cantidad de granos por muestra, el peso promedio de 1000 granos fue de $377.12 \text{ g} \pm 0.27$, cabe mencionar que es mayor de los valores reportados para granos convencionales con calidad nixtamalera, el cual se encuentra en un rango de 240-370 g (Serna-Saldívar, 1996).

3.1.1.2 Porcentaje de estructuras del grano

Se obtuvieron los pesos promedio de cada una de las partes anatómicas del grano de maíz objeto de estudio. La distribución ponderal de cada uno de los componentes mayoritarios para la variedad QPM-HV362, se reportan en Tabla 3.1 y se analizan con la norma oficial mexicana NMX-FF-034/ 1-SCFI-2002 reporta para la cofia < 2 %, para el pericarpio < 5.5, para el germen <12 % y el endospermo ≥ 78 %

Tabla 3.1 Porcentaje de pericarpio y de estructuras de maíz

Partes del grano	Porcentaje (%)
Cofia	1.75± 0.10
Pericarpio	7.10 ± 0.40
Germen	11.90 ± 0.50
Endospermo	79.15± 0.80

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

El valor reportado para el pericarpio fue mayor en el grano de maíz QPM-HV362 que el de otros granos con calidad nixtamalera, en concordancia con lo que reportan estudios realizados por Serna-Saldívar *et al* (1992) y también es mayor que el señalado por la norma, lo cual resulta significativo.

Durante el tratamiento térmico-alcalino hay una pérdida de la estructura provocada por el proceso, lo que trae como consecuencia también una merma de calcio que se había fijado durante la nixtamalización. Esto representa una ventaja para la variedad de grano, puesto que al presentar mayor porcentaje en peso del pericarpio, no todo es eliminado, quedando un importante cantidad de fibra y Ca necesarios para el buen funcionamiento del organismo humano.

Para la cofia, su valor encontrado es menor que el de la norma, el germen ligero y el endospermo se encuentran dentro del rango.

3.1.1.3 Dimensiones promedio de los granos

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 el Tabla 3.2 se muestran los valores obtenidos de largo, ancho y espesor de 100 granos de maíz variedad QPM-HV362. Los granos de esta variedad corresponden a granos de dimensiones menores, que los de variedades comerciales para uso del proceso de nixtamalización (Serna-Saldívar *et al.*, 1992). Los granos de maíz de esta variedad no se encontraron dentro de los rangos establecidos con calidad nixtamalera 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).

Tabla 3.2 Dimensiones del grano de maíz QPM- H362

Medidas del grano QPM-HV362	Dimensiones (mm)
Largo	10.16± 1.04
Ancho	8.37 ± 1.04
Espesor	5.59 ± 1.04

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

En el caso de los granos de maíz QPM-HV362 esta característica significa que existen más granos de maíz por cada 100 gramos, lo que trae como consecuencia mayor área superficial en contacto con la solución alcalina donde están inmersos los granos de maíz durante el proceso y por ende mayor fijación de calcio en una muestra representativa y una posible pérdida de materia menor.

3.1.2 Análisis Químico

3.1.2.1 Humedad

Los resultados de la determinación de humedad en granos de maíz nativos de la variedad QPM-HV362 se realizó por el método 925.10 AOAC. (2000). En la Tabla 3.3 se reportan los datos, el valor es un indicativo de las condiciones en que el grano se encuentra después del almacenamiento, ya que si es mayor a lo

indicado por la norma, pueden producirse pérdidas importantes por infestación de hongos y contaminación a todo el material.

Tabla 3.3 Humedad en el maíz nativo

Componente	Valor (%)
Humedad ¹	12.17± 0.30

¹ porcentaje en base seca

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

El contenido de humedad del grano fue del 12.17± 0.30%, este valor es inferior al límite establecido por la NMX-FF-034/1-SCFI-2002 que es el 15 %, 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 (Méndez *et al.*, 2005). Además de que se aprovechó la determinación para conocer la cantidad de agua presente en el grano, esto es necesario debido a que después del proceso se seca y se estableció la humedad del 12.17% para poder realizar los balances de materia, que es uno de los objetivos de el trabajo.

3.1.2.2 Calcio endógeno

La concentración de calcio endógeno se realizó en granos enteros, por la técnica de espectrofotometría de absorción atómica. El valor en grano de maíz fue (0.054 ± 0.10). Esta determinación fue necesaria, ya que el maíz nativo tiene su correspondiente calcio endógeno, al cual se va a sumar el calcio que el grano retiene durante la cocción y el reposo en la nixtamalización, para tener la cantidad de calcio total que se fijo durante el tratamiento térmico a diferentes condiciones de proceso (temperaturas de cocción 72, 82, 92 °C).

3.1.2.3 Determinación de fósforo endógeno

La concentración de fósforo endógeno se realizó para ser comparado con el

de granos procesados y comprobar si se presentaban pérdidas.

El valor del fósforo endógeno fue de 0.32 %. El contenido de este elemento es de poca relevancia, sin embargo la relación de calcio: fósforo es determinante en el organismo humano debido a su importancia en la formación de masa ósea.

3.4 Establecimiento de las condiciones de proceso

Las condiciones en que se obtuvieron las unidades experimentales se resumen en la Tabla 3.4 Las muestras se nombraron como serie I, II, III, para las temperaturas 72, 82 y 92 °C, respectivamente, la concentración utilizada de Ca(OH)_2 fue del 1%.

Y la muestra C, que corresponde a la que únicamente se le hizo tratamiento térmico (sin utilizar hidróxido de calcio), y la muestra 0, si tiene hidróxido de calcio pero no tiene horas de reposo, corresponde al término de el cocimiento de los granos. De acuerdo en lo que se presenta en el punto 2.4 en el capítulo de metodología.

Tabla 3.4 Condiciones de trabajo con las que se proceso el maíz

Temperatura (°C)	Serie	Tiempo de reposo (h)
72	I	C ^a , 0 ^b , 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15
82	II	C ^a , 0 ^b , 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15
92	III	C ^a , 0 ^b , 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15

^aC. Control, muestra sin calcio y sin reposo.

^b0, muestra sin reposo

Resultados por objetivo

3.5 Resultados de Balances de materia seca pérdida

Los resultados de los balances de materia se muestran en la Tabla 3.5, los cuales corresponden a las muestras obtenidas a diferentes condiciones de proceso; temperaturas de 72, 82, 92 °C y diferentes tiempos de reposo; control, cero horas de reposo, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15 horas

Tabla 3.5 Materia seca pérdida a diferentes condiciones de proceso 72, 82, 92 °C

Tiempo de reposo (h)	Pérdida de materia (g) 72 °C	Pérdida de materia (g) 82° C	Pérdida de materia (g) 92° C
*C	0.660± 0.02	0.820± 0.01	1.023± 0.07
0	0.521± 0.04	1.176± 0.04	1.410± 0.02
1	0.640± 0.07	1.613± 0.07	1.930± 0.04
3	1.136± 0.03	1.980± 0.06	2.263± 0.01
5	1.330± 0.05	2.106± 0.03	2.633± 0.06
7	1.720± 0.02	2.366± 0.02	3.146± 0.03
9	1.960± 0.01	2.756± 0.07	3.810± 0.02
11	2.183± 0.04	2.946± 0.09	4.226± 0.04
13	2.416± 0.07	3.176± 0.02	4.870± 0.09
15	2.683± 0.10	3.303± 0.03	5.716± 0.05

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

*C Valor de muestra control (tratamiento térmico)

En la Tabla 3.5 se puede observar que a mayor temperatura y a mayores tiempo de reposo se presenta una mayor cantidad de materia seca pérdida.

Por lo que se puede decir que hay una dependencia de los tiempos de reposo con la pérdida de estructuras de los granos y con ello aumenta la cantidad de materia perdida durante el tratamiento térmico-alkalino.

En la Figura 3.1 se muestra el comportamiento de la cantidad de materia seca pérdida en porcentaje.

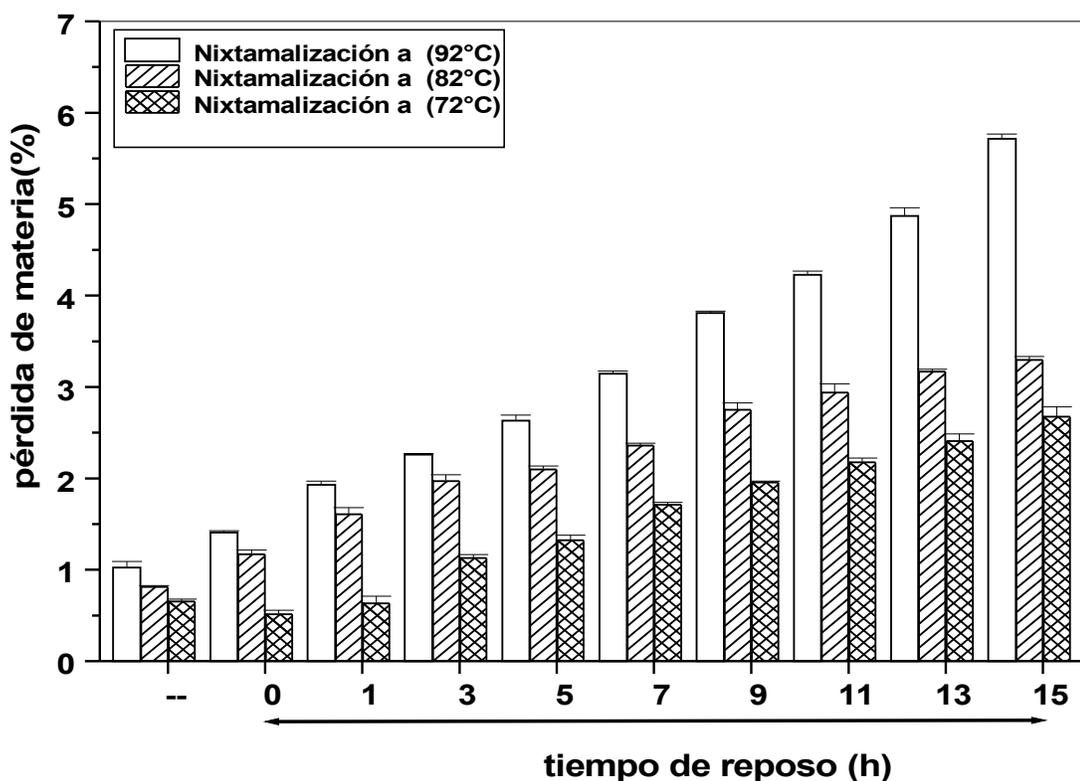


Figura 3.1 Porcentaje de pérdida de materia con respecto a la temperatura y tiempo de reposo

La Figura 3.1 muestra el porcentaje de pérdidas de material al concluir el proceso de nixtamalización tradicional, que se llevó a cabo a diferentes temperaturas y tiempos de reposo de los granos de maíz.

Se puede observar que la pérdida de materia incremento al aumentar la temperatura de proceso. Las mayores pérdidas ocurrieron a 92 °C, aún a la temperatura más alta se presume que esta variedad QPM presenta pérdidas menores que los granos convencionales utilizados para el proceso de nixtamalización que pueden ser hasta del 18.79 % utilizando temperaturas por arriba de 80 °C (Almeida-Domínguez *et al.*,1998). Sin embargo Serna-Saldívar *et al.* (1993) proceso a temperaturas de 80 °C con variedades QPM's y encontró que las pérdidas de materia como promedio se encontraban en un 4.42 %. La explicación para esto es que esta variedad de maíz híbrido, presenta mayores

espesores de pericarpio, lo que permite que no se remueva por completo durante la etapa de cocción-reposo del proceso de nixtamalización y por lo tanto exista más calcio residual en el grano.

3.6 Resultados de calcio fijado para las muestras procesadas

Los resultados de las determinaciones de calcio residual en grano total, es decir el calcio que permanece en el grano después del proceso de nixtamalización se registran en la Tabla 3.6 . Esta determinación se realizó para las temperaturas de 92, 82, y 72 °C

Tabla 3.6 Resultados de calcio residual en grano total

Tiempo de reposo (horas)	% de calcio 92 °C	% de calcio 82 °C	% de calcio 72 °C
*C	0.0586 ± 0.10	0.0586 ± 0.12	0.0586 ± 0.14
0	0.1321 ± 1.03	0.1201± 0.13	0.1102± 0.13
1	0.1463± 1.56	0.1327± 0.19	0.1173 ± 0.17
3	0.8153± 1.12	0.1615± 1.12	0.1258± 1.12
5	0.2024± 1.62	0.1723± 0.13	0.1332 ± 0.11
7	0.2387 ± 1.84	0.2126± 0.09	0.1456± 0.22
9	0.2103± 0.29	0.2023± 0.11	0.1807± 0.13
11	0.1911± 0.07	0.1911± 0.13	0.1657± 0.10
13	0.2043 ± 0.89	0.1771± 0.13	0.1569± 0.00
15	0.2176 ± 0.32	0.1963± 0.10	0.1612± 0.02

*C Valor del calcio endógeno

Esta determinación fue necesaria para sacar la relación de calcio fijado y fósforo del grano de maíz. En la Tabla 3.5, el primer punto es el valor del calcio endógeno, que es el que corresponde al grano nativo o sin procesar 0.0585 %. Después se obtiene un incremento de calcio en la hora cero, que corresponde a la primera etapa o cocción del grano, que tampoco tiene reposo, pero si fue sometida a tratamiento térmico-alcalino durante la cocción. Durante esta etapa se deposita calcio principalmente en la estructura más externa o en el pericarpio. La fijación de iones de calcio se ve favorecida por la alta temperatura y un medio alcalino como se puede apreciar en la tabla. Existe una dependencia del contenido de

calcio con la temperatura de proceso, en la tabla se puede corroborar que a temperatura de 92 °C, la fijación de calcio es mayor a los mismos tiempos de reposo que a 82, y 72 °C. En cuanto al tiempo de reposo también existe una dependencia. Inicialmente la concentración de calcio aumenta en la hora cero, o término de la cocción, posteriormente hay un descenso en el calcio, que probablemente se debe a pérdidas de materia, principalmente del pericarpio, después vuelve haber un aumento hasta que llega un máximo de concentración de calcio, luego vuelve haber un descenso y finalmente un aumento en el porcentaje de calcio. Estos efectos son más pronunciados a temperatura de 92 °C.

El porcentaje mayor de calcio fijado también es a la temperatura de 92 °C, a las siete horas, el valor es 0.2387 ± 1.84 . El último incremento de calcio probablemente se debe a que existe una entrada y fijación de calcio al endospermo y al germen.

Al aumentar el tiempo de reposo mayor es la ganancia, en la concentración de calcio, después del valor máximo a 92 °C, 82 °C y 72 °C, los valores máximos son a las siete horas, a las ocho y nueve horas correspondientemente.

3.7.- Resultados de la determinación de fósforo para granos de maíz

En la Figura 3.2 se presenta la concentración de P en las harinas de maíz nixtamalizadas a las temperaturas de 72, 82 y 92 °C en función del tiempo de reposo. Esta determinación fue necesaria para poder obtener la relación calcio-fósforo en todas las unidades experimentales procesadas a diferentes tiempos de reposo.

El fósforo no se absorbe durante el proceso de nixtamalización, pero se pierde al desprenderse fracciones de germen de maíz, el calcio se absorbe durante el tratamiento térmico alcalino, algunos factores que afectan la velocidad de absorción y el depósito de compuestos de calcio son: la temperatura de cocimiento, la variedad del grano, el tiempo en que reposan los granos en su licor de cocción, el grosor y las características del pericarpio.

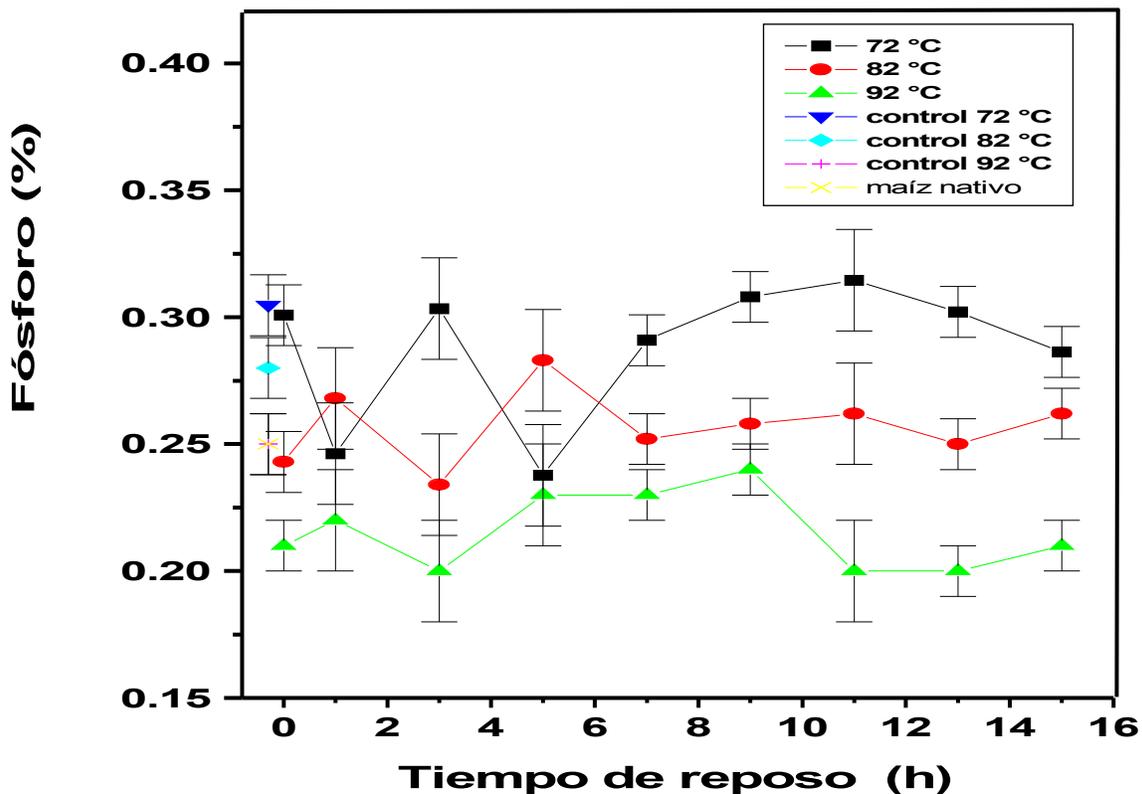


Figura 3.2 Gráfica de fósforo en grano de maíz a diferentes temperaturas y tiempos de reposo

En la Figura 3.2 se ven diferencias entre los tratamientos a distintas temperaturas. Se percibe que el contenido de fósforo en las harinas fue menor a 92 °C, y presenta mayores valores a 72 °C, lo que significa que se presentó mayor porcentaje de pérdidas de el germen y en el pericarpio, que son las estructuras que contiene al fósforo. En la primera y quinta hora de reposo a 72 °C se observaron los valores más reducidos con respecto a los demás tratamientos. Se puede observar con relación a los tiempos de reposo, que es variable, la concentración de fósforo, esto probablemente debido en que algunas horas se pierde más pericarpio y en otras más germen, lo que modifica el resultado total de la concentración de fósforo en el grano.

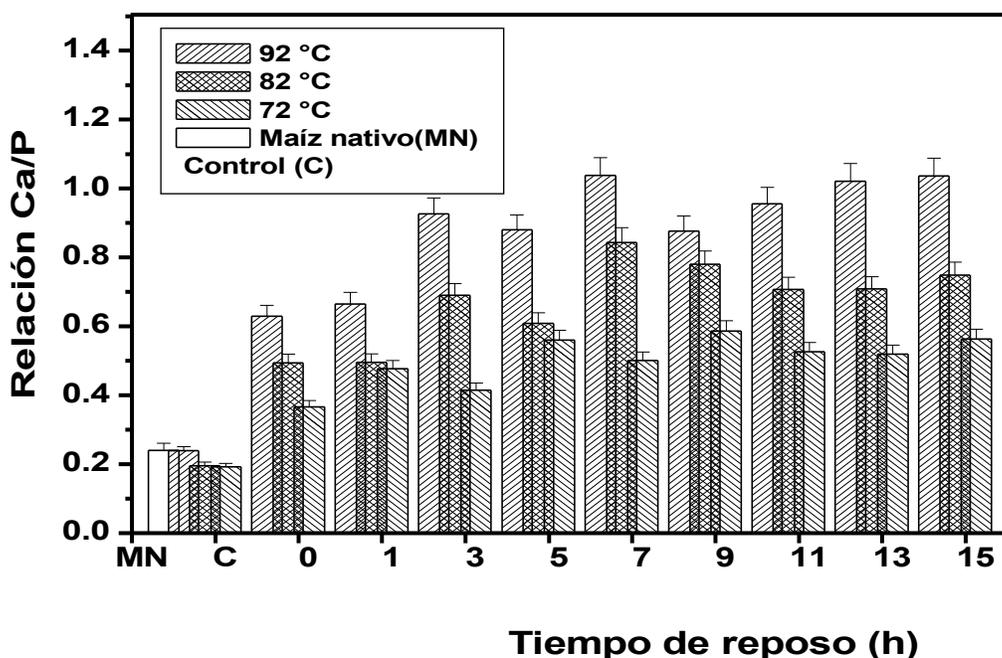


Figura 3.3 Relación Ca : P en harinas de maíz elaboradas a 72, 82 y 92 °C (1% de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ w/v), muestras control y maíz nativo

El contenido de fósforo en un alimento no tiene tanta relevancia como la relación calcio / fósforo, ya que esta última desempeña un factor determinante en la formación de la masa ósea, tal como se presenta en la siguiente sección. En la Figura 3.3 presenta la relación calcio fósforo de las unidades experimentales procesadas.

Bressani *et al.* (1990) realizó un estudio analizando diversos minerales incluidos el fósforo, como se modifican del maíz a la tortilla, en donde la relación calcio / fósforo en el maíz es de 1:20, pasando a ser casi de 1:1 como resultado del tratamiento térmico-alcalino que se le da al maíz.

En la gráfica se puede observar que las harinas instantáneas elaboradas a 92 °C presentaron una mayor relación Ca / P con respecto a las obtenidas a temperaturas 72 y 82 °C con diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). El

valor promedio de la relación Ca / P en las harinas elaboradas a 72, 82 y 92 °C fue de 0.55 ± 0.04 , 0.63 ± 0.06 y 0.83 ± 0.08 respectivamente. También es importante mencionar que para cada temperatura se detectaron tiempos de reposo en donde la relación Ca / P es mayor, lo que indica que deben emplearse condiciones específicas durante el proceso tradicional de nixtamalización para obtener productos cuya relación calcio / fósforo sea similar a la recomendada. Los valores más elevados para la relación Ca / P, a la temperatura de 92, 82 y 72 °C fueron de 1.04 ± 0.05 (7 h de reposo), 0.84 ± 0.02 (7 h de reposo) y 0.59 ± 0.04 (9 h de reposo) respectivamente. El valor promedio obtenido para la relación Ca : P en las tres temperaturas fue de 0.25 ± 0.03 .

En la literatura científica Whiting *et al.* (2002) indica que esta relación Ca / P interviene en la formación de masa ósea, el valor óptimo se encuentra en un rango de 1 a 1.5, y esto tiene influencia en la absorción del calcio en el organismo y en la formación de los huesos, así también otros autores recomiendan que la relación se mantenga 1:1 (Mendez *et al.*, 2000; Rojas *et al.*, 1997). También en estudios realizados en ratas, en los cuales se les ha dado dieta a base de tortillas, indicaron que cerca del 80 % del calcio es biodisponible (Braham *et al.*, 1996; Poneros *et al.*, 1988; Reguera, 2003) y se ha dado a conocer que una ingesta baja en calcio y alta en fósforo es un elemento potencial para el desarrollo deficiente de una masa ósea (Anderson, 1996), por lo tanto siendo la tortilla la base de la alimentación de la población mexicana es muy importante cuidar este aspecto.

3. 8 Identificación de compuestos de calcio

La Figura 3.4 a, 3.4 b, 3.4 c, 3.4 d, 3.4 e, 3.4 f, 3.4 g muestra micrografías obtenidas en un microscopio electrónico de barrido a bajo vacío, con resolución de 400X y barrido horizontal, debido a que este aumento permitía observar mejor la concentración de calcio depositado después del tratamiento térmico alcalino en las muestras. Estas imágenes únicamente se obtuvieron a 92 °C. Se presenta la secuencia de micrografías tomadas en el grano a diferentes tiempos de reposo.

La micrografía **3.4 a** corresponde al patrón, es la micrografía del grano nativo o sin procesar, fue utilizada como referencia para comparar el efecto de los tratamientos sobre el pericarpio durante el proceso de nixtamalización.

La imagen fue tomada a 400 X debido a que en ese aumento se mostró la mejor resolución de la morfología de esta estructura externa del grano de maíz. en la imagen se puede observar la integridad de la estructura, los paneles (p) alargados y direccionados están perfectamente bien definidos, la capa cerosa (e) epidermis presente le da brillo a la estructura y la hace casi impermeable al agua.

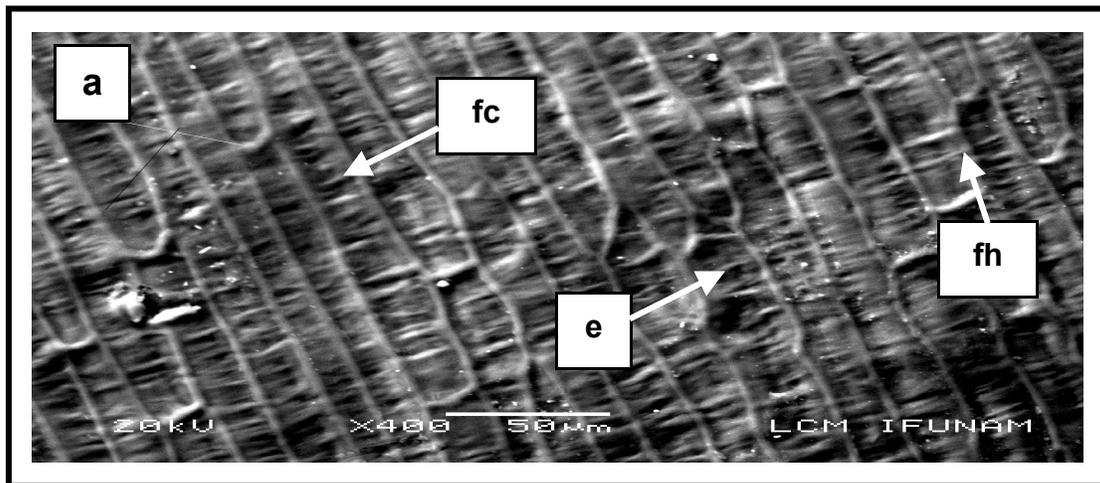


Figura 3.4 a Micrografía tomada al grano nativo o crudo

Estas micrografía fueron tomada en el pericarpio que cubre al endospermo ya que representa la parte mayoritaria del pericarpio total, se puede apreciar un brillo en la superficie, el cual se lo proporciona la capa cerosa o epidermis, las líneas más definidas alargadas y direccionadas verticales corresponden a las microfibrillas de celulosa (fc), los pliegues horizontales son las microfibrillas de hemicelulosa (fh).

La micrografía **3.4 b** se obtuvo al término del cocimiento de los granos y sin reposo en su licor a 92 °C, se observan pequeñas fracciones de calcio (Ca) depositados en el pericarpio, estructura más externa del grano de maíz.

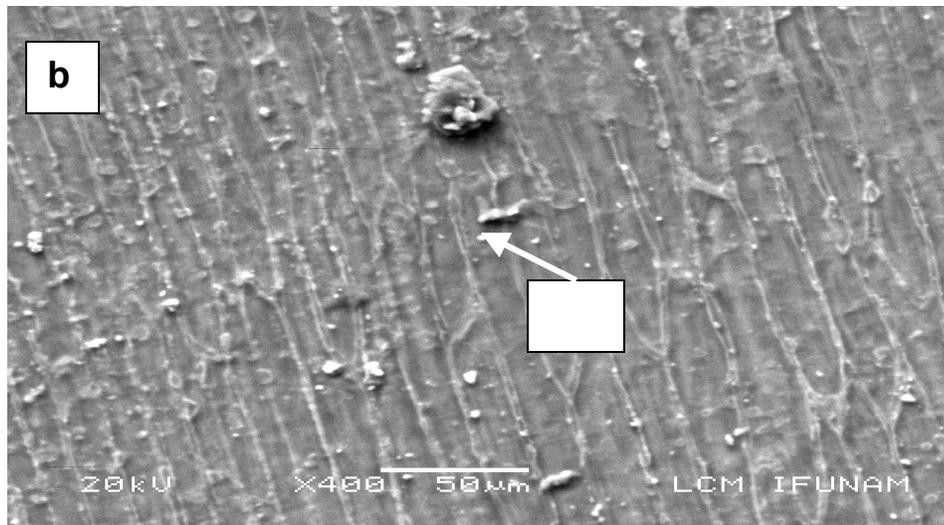


Figura 3.4 b Micrografía tomada al grano a las 0 horas de reposo

Los primeros cambios en el pericarpio se presentan durante la etapa de cocción de los granos de maíz. La Figura 3.4 b corresponde a la micrografía de pericarpio tomada al termino de la etapa. Los eventos que tienen lugar en ese periodo son; las fibras de celulosa y hemicelulosa absorben agua y se ablandan los tejidos del pericarpio, se disuelven los componentes solubles del pericarpio específicamente se trata de una disolución de las péctinas presentes en el pericarpio que representan un porcentaje mínimo de esta estructura; sin embargo los cambios que sufre han podido ser identificados para tiempos cercanos a 10 minutos después de iniciada la cocción de los granos de maíz. Inmediatamente después se presenta una hidrólisis alcalina de sus componentes, ya que la hemicelulosa tiene carácter ácido debido a los ácidos urónicos y fenólicos localizados en los extremos de su cadena principal, los cuales son neutralizados por el licor de cocción o álcali, según lo reportado González et al (2004).

El análisis de las imágenes consiste en mostrar el grano, después de ser tratado, desde la cocción, hasta la séptima hora de reposo. En la novena hora fue imposible obtener la micrografía debido a que el grano ha reposado muchas horas y sólo quedan trazas de pericarpio o estructura más externa donde se ha depositado el calcio. La fijación de calcio en el pericarpio se presenta de manera

gradual, también se puede observar en las micrografías cuando comienza a perderse o separarse de la estructura.

La micrografía **3.4c** fue obtenida a la 1h de reposo, también con el mismo cocimiento que la anterior.

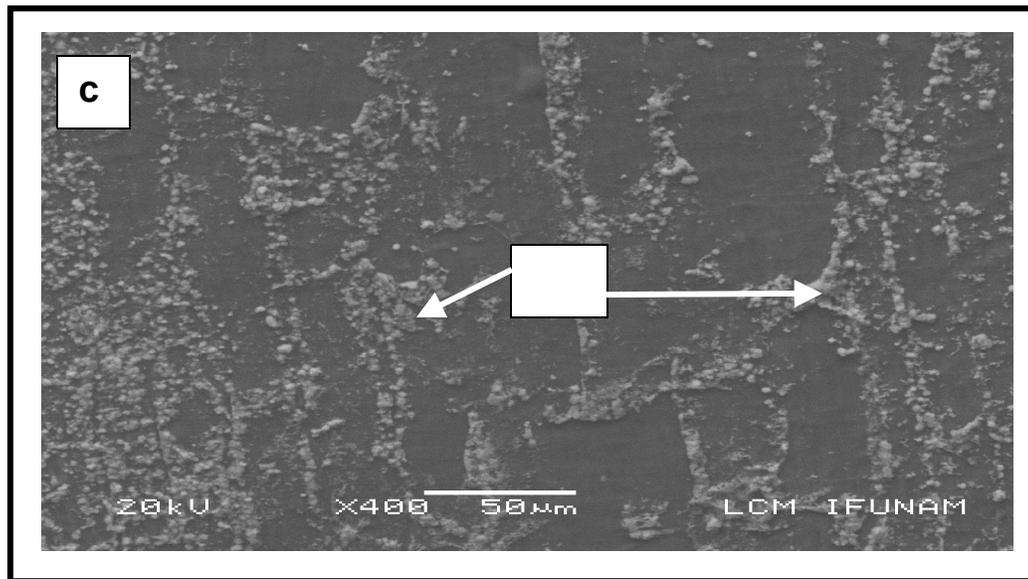
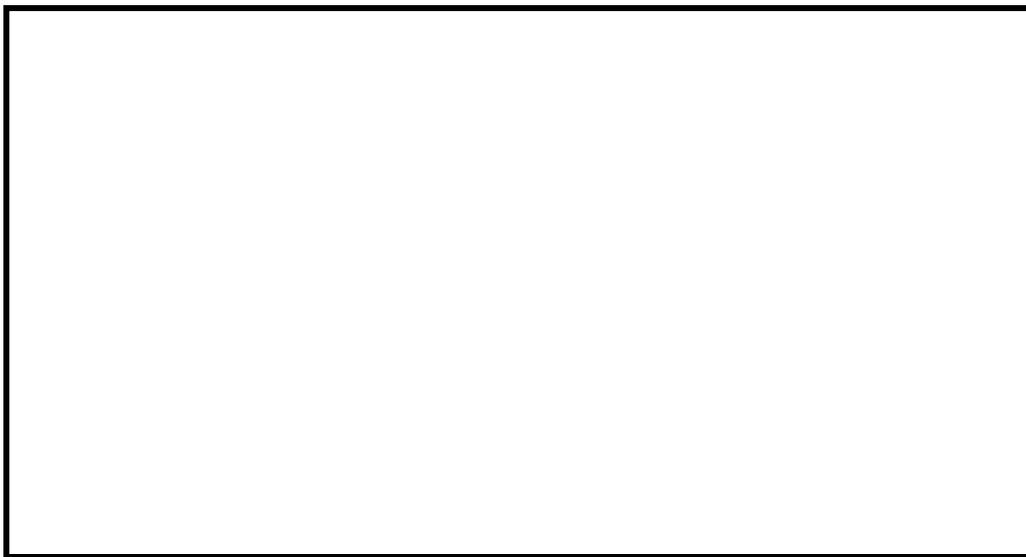


Figura 3.4 c Micrografía tomada al grano a las 1 hora de reposo

Se puede observar mayor concentración de calcio en la superficie de la estructura del grano, lo que significa que a mayor tiempo de reposo el mineral va aumentando en el grano. La Figura **3.4 d** fue tomada a las 3 horas de reposo de los granos en su licor de cocción y con las mismas condiciones de cocimiento.



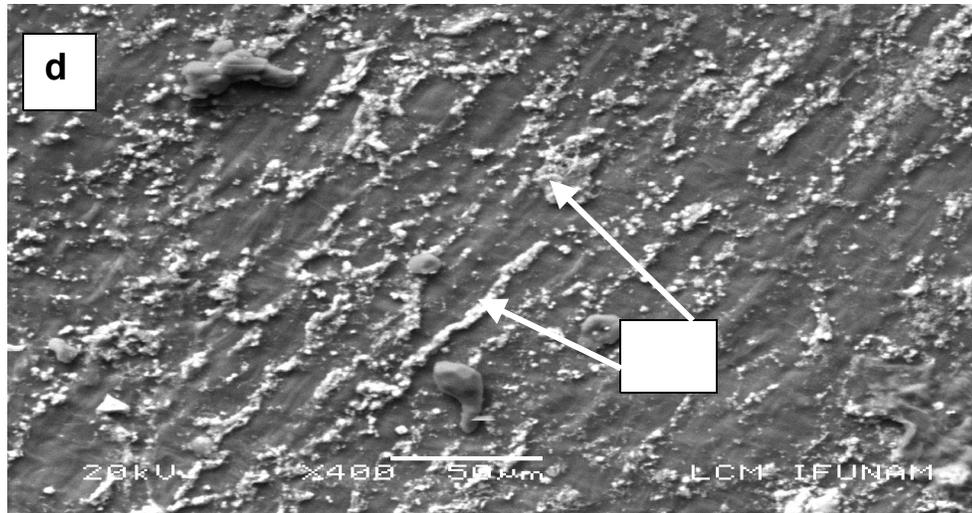


Figura 3.4 d Micrografía tomada al grano a las 3 horas de reposo

En la Figura 3.4 d se puede apreciar aún mayor concentración de calcio fijado en la superficie del grano, pero además se ve que existen acumulaciones mayores del mineral, debido a que es mayor el tiempo en que los granos permanecieron en su licor de cocción o nejayote.

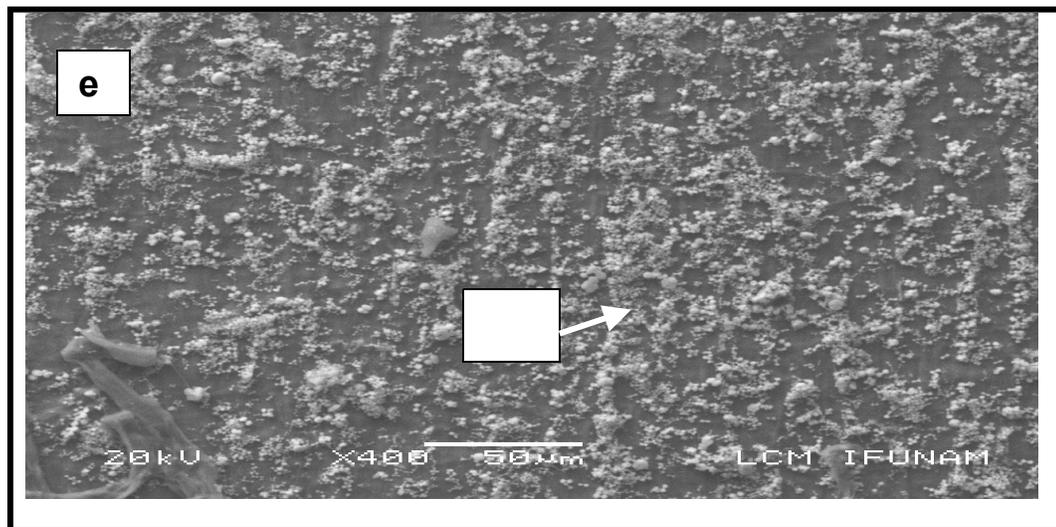


Figura 3.4 e Micrografía tomada al grano a las 5 horas de reposo

En la Figura 3.4 e se puede apreciar que es donde se muestra la mayor cantidad de calcio en toda la superficie de el grano, aquí el grano ha reposado en su licor de cocción cinco horas, esto implica que ha estado expuesto al álcali

muchas horas y ha fijado una importante cantidad de calcio, lo cual se puede corroborar en la tabla 3.5 mostrada anteriormente en la Tabla 3.6.

La micrografía **3.4 f** fue tomada a las 7 horas de reposo de los granos y con las mismas condiciones de cocción, aquí se puede apreciar que el calcio que se había depositado ahora se ha comenzado a perder.

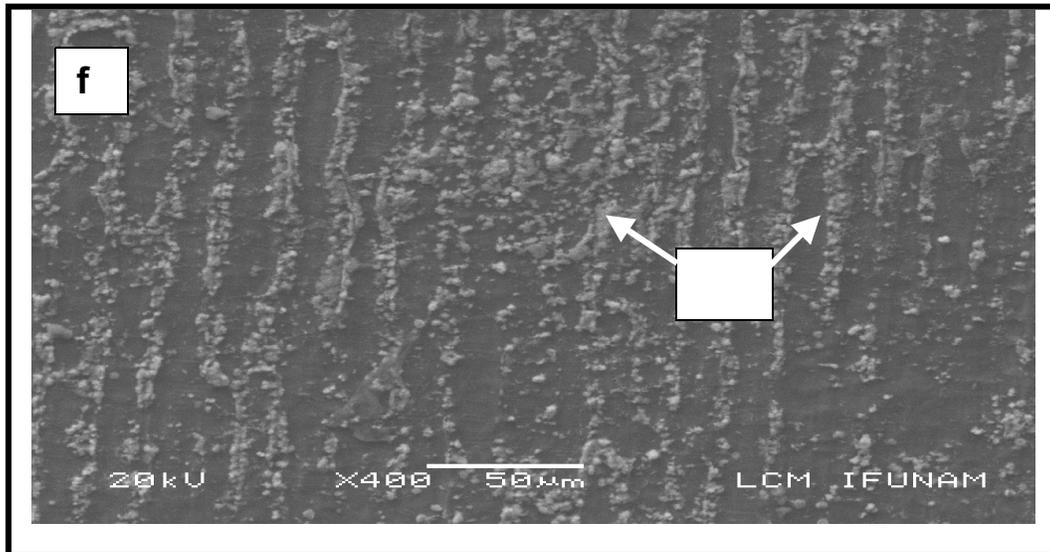


Figura 3.4 f Micrografía tomada al grano a las 7 horas de reposo

Esto significa que hay una pérdida de estructuras que se deposita en el nejayote, al perderse estructuras principalmente pericarpio, que es la estructura más externa y que es la que entra en primer contacto con el licor de cocimiento, En el nejayote se depositan fracciones de esa estructura, llevándose una importante cantidad de calcio que se había fijado, lo que puede corroborarse en el balance de materia en grano total que se mostró en la Tabla 3.7.

La micrografía a las 9 horas no fue posible obtenerla ya que el pericarpio (pe), ya no es representativo en el grano, sólo quedan trazas, como se muestra en la Figura **3.4 g** donde sólo aparece la capa de aleurona (al), que es la estructura que donde se encuentra adherido el pericarpio

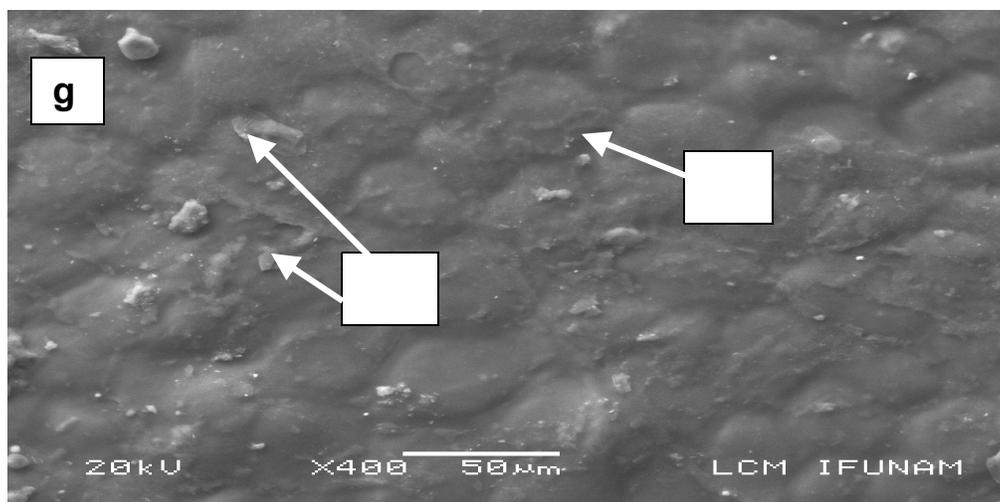


figura 3.4 f Micrografía tomada al grano a las 9 horas de reposo

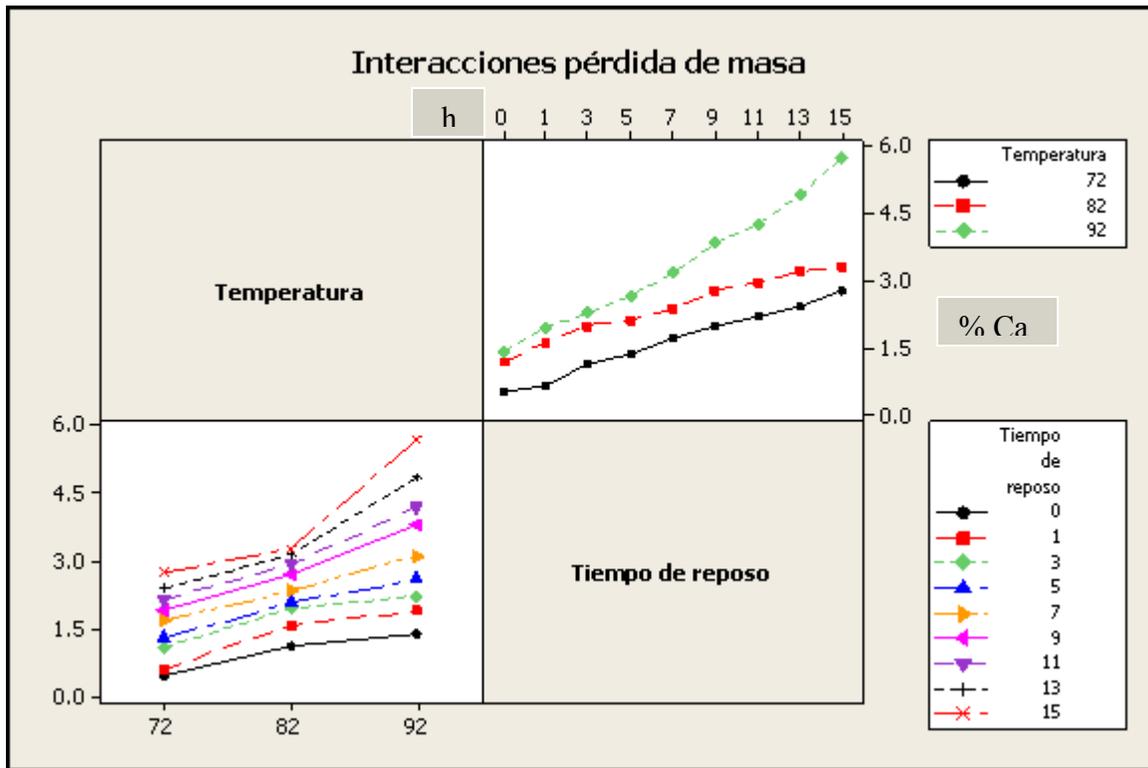
En la Figura 3.4 g observamos que se trata de otra estructura, lo que corrobora que ha desaparecido la estructura externa o pericarpio, ya no existen ni traza, por esa razón las pérdidas de materia son mayores a las nueve horas de reposo como se puede apreciar en la Tabla 3.7.

3.9 Análisis Estadístico

El análisis estadístico que se aplicó fue un factorial, para comparar la influencia de dos factores estudiados, temperaturas y tiempos de reposo; así como, encontrar cual de ellos presento mayor influencia en la pérdida de materia, durante el proceso de nixtamalización. Los resultados del análisis se presentan en las figuras donde se puede apreciar considerablemente el efecto de las variables mencionadas.

En la Figura 3.5 se observa la influencia de la temperatura y el tiempo de reposo en la pérdida de materia, según el análisis podemos apreciar que al aumentar la temperatura de proceso, aumenta la pérdida de materia. A temperatura de 92 °C, la materia seca perdida en todos los tiempos de reposo fue mayor comparado con la temperatura de 82 °C y aun menor en 72 °C. En cuanto al tiempo de reposo, al ser mayor el tiempo en que reposan los granos, mayor es la pérdida de materia en

una muestra. Se puede apreciar que los factores muestran la misma tendencia, pero no existe interacción entre los factores estudiados porque ninguna de las graficas se cruzan en ellas.



En la figura 3.5 Resultados estadísticos de la influencia de la temperatura y el tiempo de reposo

CONCLUSIONES

- Las características físicas de las nuevas variedades de granos de maíz o de híbridos son determinantes en el proceso de nixtamalización, debido a que son afectadas por el tratamiento térmico alcalino. La determinación de las características físicas del maíz QPM-HV-362, demostró que tiene un porcentaje mayor de pericarpio y menor en el germen, lo cual significa que tendrá mayor fijación de calcio en el pericarpio, pero su degradación será más tardía que en un grano convencional. El que exista menor porcentaje de germen, indica que hay menor concentración de fósforo endógeno y esto va a favorecer la relación calcio-fósforo.
- El balance de materia demostró que la materia seca perdida esta directamente influenciada por la temperatura, a mayor temperatura 92 °C se presentó mayor pérdida del material, por otro lado al aumentar el tiempo en que reposan los granos de maíz en su líquido de cocción, aumentan las pérdidas. La mayor pérdida se presento a las 15 horas para todas las temperaturas 72, 82, 92 °C en que los granos de maíz permanecían en la solución alcalina.
- Las pérdidas de materia para este híbrido QPM-HV-362 resultaron ser un 25 % menores que las de granos convencionales utilizados para la nixtamalización a las mismas condiciones, por lo que se puede decir que es una variedad con un buen potencial para producir productos nixtamalizados.
- Los granos fueron nixtamalizados a diferentes condiciones de proceso, el contenido de calcio se incremento al ir aumentando los tiempos en que reposa el grano en su licor de cocimiento o nejayote. Con respecto a la temperatura también se observó que la serie I, obtenida a temperaturas de 92 °C fue la que reportó mayor concentración de calcio fijado que en las serie II y III, correspondientes a 82 y 72 °C. Sin embargo a la novena hora también se presentaron pérdidas para las temperaturas de 92 y 82 °C y en la hora 11 para 72 °C, lo que significa que al perderse materia, se lleva consigo una cantidad de calcio que ya se había fijado en el grano.

- La concentración de fósforo en muestras nixtamalizadas fue siempre menor en las muestras procesadas a 92 °C, esto es debido a que la mayor pérdida de materia se presentó a esa temperatura, lo que indica que se perdieron fracciones del germen y con ello cantidades de fósforo. Este hecho es de gran importancia, ya que al disminuir el fósforo, el calcio está en mayor proporción y la relación calcio-fósforo es mayor, por esa razón es conveniente utilizar esa temperatura para procesar.
- La relación calcio fósforo también fue mayor a temperatura de 92 °C, en las horas; 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, pero el máximo valor se presentó a la hora 7, por lo que se recomienda reposar los granos en su licor de cocción 7 horas después del tratamiento térmico alcalino o cocción, antes de que se pierda exceso de calcio, de pericarpio y germen, según lo que mostraron las micrografías obtenidas en microscopía electrónica de barrido a bajo vacío.
- Las micrografías de microscopía electrónica de barrido a bajo vacío de granos nixtamalizados, tomadas a diferentes horas en las que los granos fueron reposados, después del tratamiento térmico-alcalino, dieron clara evidencia de que hay una pérdida de materia de la estructura más externa y que con eso también se pierde calcio del que ya se había fijado durante el proceso de nixtamalización.
- El análisis estadístico demostró que la variable con mayor influencia en la pérdida de materia fue el tiempo de reposo, pero la temperatura también tiene una importante contribución, lo cual indica que la interacción entre ambas variables juega un rol importante en la materia seca perdida durante el proceso de nixtamalización.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda Nixtamalizar a temperaturas de 92 °C, para obtener mejores relaciones de Calcio: Fósforo en los granos nixtamalizados y entre la siete y nueve horas para evitar pérdidas mayores de materia, es decir de estructuras del grano y con ello de calcio residual.
- Es importante considerar estudios de textura para los productos elaborados con maíz nixtamalizado con el híbrido QPM-HV-362, ya que se trata de una nueva variedad que puede ser utilizado en la nixtamalización.
- Una continuación de este trabajo pudiera ser estudios de granulometría y gastos de energía durante la reducción de tamaño para producir harinas de maíz nixtamalizado con esta variedad.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AOAC.(2000). *Official Methods of Analysis*. 17th Ed. Official methods 965.17 Association of Official Analytical Chemists: Gaithersburg, M. D.
- AACC.(2000). American Association of Cereal Chemists. *Approved Methods of AACC*, 10th Ed. The Association: St. Paul, M. N. USA.
- Araya, J. Monografías. com. El Maíz, Historia del maíz. Acuña Verrugo Sebastián. 18 junio 2007. www.monografias.com/trabajos16/maiz-harina/maiz-harina.shtml .
- Amézquita, L. F. de J. (2000). *Fundamentos de espectroscopía aplicada a la instrumentación química*. Ed. UAG. p .13-140.
- Almeida-Domínguez, H. D.; Ordoñez–Duran, G. G.; y Almeida, N. G. (1998). Influence of kernel damage on corn nutrient composition, dry matter losses , and processability during alkaline cooking . *Cereal Chem.* **75**. (1):124-128.
- Anderson, G.H.; y Draper, H.H. (1972). Effect of dietary phosphorus on calcium metabolism in intact and parathyroidectomized adult rats. *J. Nutr.* **102**: 1123-1132.
- Anderson, J. J. (1996). Calcium, phosphorus and human bone development. *J. Nutr.* **126**:1153 -1158.
- Arenas, A. J. A. (1999). *Microscopía electrónica de barrido de bajo vacío*. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ). Ed. UNAM. México, D. F. p.1-23.
- Aguirre B.D. Ilustrados.com. Maíz y tortilla, el Maíz y su transformación en harina, subproductos de molienda y elementos nutritivos. Domínguez Rodríguez Ofelia. 14 de junio 2007. www.ilustrados.com/documentos/maizharina.doc.
- Badui, D. S. (1993). *Química de los Alimentos*. Ed. Alambra. México, D. F. p.70-96.
- Baez, M. F. (1982). Fibra vegetal en la dieta . *Revista de tecnología en Alimentos* . **17** (5): 22-23.
- Barros, C.; y Buenrostro, M. (1997). El Maíz, nuestro sustento. *Arqueología Mexicana*. **25**: 6-15.
- Baskin, C.C. (1981). Accelerated aging test. En Perry. (Ed) Handbook of vigor Test Methods. International Seed Testing Association. p. 43-48.
- Bakshi, A. S.; y Singh, R. P. (1980). Kinetics of water diffusion and starch gelatinization during rice parboiling. *Journal Food Sci.* **45** :1387-1394.
- Bedolla, S. y Rooney, L.W. (1984). Characteristics of U.S. and Mexican instantant maize flours for tortilla and snack preparation. *Cereal Foods. World* **29** (11):732-736.
- Bello, P. L. A.; Osorio, D. P.; Amaga, A. E.; Núñez, S. C. y Paredes-López, O. (2002). Chemical, physicochemical and rheological properties of masa and nixtamalized corn flour. *Agrociencia* **36**:319-326.
- Biliaderis, C. G. (1990). Thermal analysis of food carbohydrates, En: *Thermal Analysis of Food. Elsevier applied Sci.* London. p. 169-220.
- Biliaderis, C. G. (1991). The structure and interactions of starch with food constituents. *Canadian. J. of phys. and Pharm.* **69**: 60-78.
- Braham, J.E.; y Brezan, B.(1996). Utilization of calcium from home treated maize *Nutr Bromatol Toxic.* **5**: 14-19.

- Bressani, R.; Turcios, J. C.; Reyes, L. C.; y Mérida, R. S. (2001). Caracterización física y química de harinas industriales nixtamalizadas de maíz de consumo humano en América Central. *Arch. Lat. Nutr.* **51**(3):309-313.
- Bressani, R. y Scrimshaw, N. S. (1958). Effect of lime treatment on in-vitro availability of essential amino acids and solubility of protein fractions in corn. *Journal Agric. Food Chem.* **6**:770-774.
- Bressani, R.; Benavides, B.; Acevedo, E.; y Ortiz, M. A. (1990). Changes in selected nutrient contents and in protein quality of common and quality-protein maize during rural tortilla preparation. *Cereal Chem.* **67**: 515-518.
- Bryant, C. M.; y Hamaker, B. R. (1997). Effect of lime on gelatinization of corn flours and starch. *Cereal Chem.* **74**: 171-175.
- Cashman, K. P. (2002). Calcium intake, calcium bioavailability and bone health. *Brit. J. Nutr.* **87**:169-177.
- Castillo M.J. FAO . Alimentación y nutrición, origen del maíz y estructura. Herrera Corredor Julian Alonso. 18 junio 2007. www.fao.org/docrep/003/X76505/X7650508.htm-5J.
- Dorsey-Redding, C.; Hurburg C. R.; Thomson, L. A. y Fox, S. R. (1991). Relations hips maize quality factors. *Cereal Chemistry.* **68** (6) 602-605.
- Del Valle, F. R.; Pérez .V. J.; y Selene, M. M. (1974). Enriquecimiento de las tortillas con proteínas de soya por medio de la nixtamalización de mezclas de maíz y soya. *Tecnología de Alimentos.* Enero-Febrero. p. 24- 27.
- Duvick, D. N. (1961).Protein granules in maize endosperm cells. *Cereal Chem.* **38**: (2) 374-385.
- FAO. (1992). Anuario de Producción. superficie cosechada, rendimiento de maíz y usos. Reporte técnico. Roma Italia. **52**:17-32.
- Fennema, O. R. (2000). *Química de los alimentos.* Ed. Acribia. Zaragoza España. p. 34-52.
- 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**: (4) 162-166.
- Figueroa, C. J. D.; Acero, G. M. G.; Vasco, M. N. L.; Lozano, G. A.; Flores, A. L. M.; y González-Hernández, J. (2001) Fortificación y evaluación de tortillas de nixtamal. *Arch. Nutr.* **51**(3): 293-299.
- Figueroa, Cárdenas J. D. Maiz y tortilla. *Origen de la nixtamalización.* Cinvestav, Unidad Queretaro. Barcenas Guerrero.Araceli. 22 de junio 2007. www.maiztortilla.com/es/introduccion/evolucion-tecno.htm.
- Granados. G. L. (1999). Estructura de la demanda y oferta. Asociación de industriales de la Tortilla. México DF. p 23-32.
- Gravioto, R.O., Anderson, E.K. Lockhort, E. e., Miranda, F. de P and Harris (1945) Nutritive value of the Mexican tortilla. *Sci.* **102** : 91-93.
- Gómez, M. H.; Waniska, R. D.; y Rooney, L. W. (1991). Corn starch characterization of nixtamalized corn flour. *Cereal Chem.* **68**: 578-582.

- González, R.; Reguera, E.; Figueroa, J. M.; y Sánchez-Sinencio, F. (2004). On the nature of the Ca binding to the hull of nixtamalized corn grains. *Food Sci. and Tech.* **10**:1016-1020.
- Gottschlich, M.M.; Fuhrman, M. D.; Holcombe, K. A. y Seidner, D. L. (2001). The science and practice of nutrition support. A case based core curriculum . Kendal Hunt Publishing Co. American Society for Parenteral and Enteral Nutrition. Iowa, USA. **52** (2) 716-720.
- Guégen, L.; y Pointillart, A. (2000). The bioavailability of dietary calcium. J. American College of Nutrition. **19**(2): 1195-1365.
- Gutiérrez, C. E. ; Rojas-Molina, J. I.; Pons-Hernández, J.L; Guzmán, H. ; Aguas-Angel, B.; Arenas, J. A.; 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): 196-194.
- Gutiérrez, C. E. (2006). Cambios físicos en pericarpio de maíz durante la nixtamalización y su influencia en la cinética de difusión de calcio. Facultad de Química .Universidad Nacional Autónoma de México. Tesis Maestría. México.
- Hosney, R.C. (1992). Principios de ciencia y tecnología de los cereales. Ed. Acibia. Zaragoza, España. p.32-76.
- Inglett, G.E. . (1970). Kernel ,estructura, composition, and quality, cap 7 Corn , culture, processing products. Major feed and Food crops in agriculture and food series” . Inglett G.E. Ed. The Ava Publissing Co. Inc. Westport. C.T. EUA. p.123-137.
- Jackson, D.S.; Rooney, L. W.; Kunes, O. R.; Y Waniska, R .D. (1998). Alkaline processing properties of stress-cracked and broken corn(*zea mays* L.). *Cereal Chem.* **65**: 133-137.
- Juárez, C. R. del C.(1997) .Caracterización física de 10 variedades de maiz (*Zea Mays*) y su influencia en la nixtamalización. Tesis de Licenciatura en Ingeniería en Alimentos. UNAM . FES Cuautitlán .
- Katz, S. H.; Hediger, M. L. y Valleroy, L. A. (1974). Traditional maize processing techniques in the new world. *Sci.* **184**: 765-773.
- Khan, M. N.; Desrosier, M. C.; Rooney, L. W.; Morgan, R. G. y Sweat, V. E. (1982). Corn tortillas: Evaluation of corn cooking procedures. *Cereal Chem.* **59**:2279-284.
- Klaus, J. L. y Karel, K. (1991). *Handbook of Cereal Sci. and Tech.*. **23**(2): 321-325.
- Lange, R. H. M. y Hill, G. D. (1987). *Plantas de interés Agrícola*. Botánica, Ed. Acibia. Zaragoza España. p.120-143.
- Lobo, O. R.(1997). *Principios de transferencia de masa*. Ed. UAM-I. México, D.F. Universidad Autónoma Metropolitana. p.163-218.
- López, M. y Segurajáuregui , J. (1996). Efecto de la variedad del maíz en la cinética de nixtamalización. *Tecnología Alimentaria* . **21** (5): 13-18.
- Martínez- Bustos, F.; Figueroa, J. D . C.; Sánchez- Sinencio, F.; González – Hernández, J.; Martínez, J. L. y Ruíz, T. M . (1996). Extrusión apparatus for preparati3n of instan fresh corn dough or masa. US Patent . **5**: 558, 886.
- Martínez, R.; Mendoza, S.; Reguera, E.; Ortiz, P. y Martínez, J. de la L. (2001). Kinetic approach to nixtamalization of corn pericarp. *Cereal Chem. Inc.* **78**: 107-112.

- Mc Cabe, W. L.; y Smith. J.C .(1981). Operaciones Básicas de la Ingeniería Química.(1981) Ed. Reverte. S.A. España.
- Méndez. R. O.; y Whyatt. C. J. (2000). Contenido y absorción del calcio proveniente de la dieta del noreste de México . *Arch. Lat. de Nutr.* **50(4)** 330-333.
- Méndez-Montalvo, G.; Solorza, F. J.; Vázquez, V. M ;.Gómez, M. N. ;Paredes, L. O y Bello, P. L .A. (2005). Composición química y caracterización calorimétrica de híbridos y variedades cultivadas en México. *Agrociencia.* **39(3)** .267-274.
- Mertz, E. T.; Bates, L. S. y Nelson, O. E. (1964) Mutant gene that changes protein composition and increases lysine content of maize endosperm. *Sci.* **145:** 279-280.
- Montgomery, D. C. (2003). Diseño y análisis de experimentos . Ed. Limusa Willey. México, D.F. p. 126-164.
- Moreno, M. E. (1984). *Análisis físico y biológico de semillas agrícolas*. Ed. UNAM. Instituto de Biología. México. p. 250-261.
- Munro ,E. M ;(1994). Corn refininig. A classic value-added- success story. *Cereal Food Word.* **39** (8) 552-555.
- N.L. Kent MA. Tecnología de los cereales(1971) .Ed Acribia .España .
- Nnakwe, N.; y Kies, C. (1985). Mouse bone composition and breaking strengt . In nutritional bioavailability of calcium. . *Amer. Chem. Soc.* **43 (2):** 84-104.
- Ocegüera, H. K. (1999). Interacción del Ca con los componentes del grano de maíz durante la nixtamalización. Tesis de Maestría IPN. México .
- Ortega, E. I.; Villegas, E.; Bjarnson, M. y Short, K. (1991) .Changes in dry matter and protein fractions during kernel development of quality protein maize. *Cereal Chem.* **68:** 482-486.
- Palacios .A. J. (2004). Caracterización fisicoquímica de harinas instantáneas de maíz mixtamalizado, elaboradas por procesos industriales. Tesis de Licenciatura en Nutrición. UAQ. Facultad de Ciencias Naturales.
- Paredes- López, O. y Sarharopulos-Paredes, M. E. (1982). Scanning electron microscopy of limed corn kernels for tortilla marking. *J. Food Techn.* **17:** 687-692.
- Pflugfelder, R. L.; Rooney, L. W. y Waniska, R. D. (1988)^a. Fractionation and composition of commercial corn mass. *Cereal Chem.* **65:** 262-266.
- Pflugfelder, R. L.; Rooney, L. W. y Waniska, R. D. (1988)^b. Dry matter losses in commercial corn mass production. *Cereal Chem.* **65:** 397-406.
- Pflugfelder, R. L.; Rooney, L. W.; y Wasniska, R. D. (1988). Dry matter losses in commercial corn masa production. *Cereal Chem .* **65** (2):127-132.
- Poneros , A. G.; y Erdman, J. M. 1988 .Boiavailability of calcium from tofu , tortillas, nonfat dry milk and mozzarella. Cheese in rats: Effect of supplemental ascorbic acid. *J Food, Sci.* **5 3(1)** :208-210.
- Reguera, E. H; .; González M. R.; Sánchez S. F.(2003). On the state of calcium in nixtamalized corn grains detected by moss bever spectroscopy and related techniques. *Hyperfine Interac.***23** : 333-338.
- Rojas, R. T. (1997). Las diversas maneras de cultivar maíz. Ed. Raíces. México. *Arqueología Mexicana.* **5** (25): 33-49.

- Rooney, L. W. y Almeida-Domínguez.(1995). Productos de maíz nixtamalizado y calidad de maíz. Seminario sobre tecnología de la tortilla. Asociación Americana de Soya. México. D.F. p.25-34
- Rubio Manuel .La industria de la harina y la tortilla de maíz. Industria Alimentaria Nov–Dic.1993.p 9-19.
- Sahai; D.S. I.; Urjewan; J. P.; Mua,; M. O.; Buendía, M. R.; y Jackson, D.S. (2000). Dry matter loss during nixtamalization of a white corn hybrid : Impact of processing parameters). *Cereal Chem.* **77** (2) 254-258.
- Scrimshaw. N.S. Bressani. R. Béhar, M.; y Viteri, F. (1958). Supplementation of cereal proteins with aminoacids¹. Effect of amino acid supplementation of corn-masa at high levels of protein in take on the nitrogen retention of young children. *J.Nutr.* **66** : 485-499.
- Shah, B.G., Krishnarao, G.V.; y H. H Draper. (1967). The relation ship of Ca and P nutrition during adult life and osteoporosis in aged mice. *J. Nutr.* **92**: 30-42.
- Serna Saldivar, S. O.; Knabe, D. A.; Rooney, L. W.; Tanksley, T. D. y Sproule, A. M. (1988). Nutritional value of sorghum and maize tortilla. *Journal Cereal Sci.* **7**:83-94.
- Serna Saldivar, S. O. Química. (1996). Almacenamiento e Industrialización de los cereales. AGT Editor, S.A. p. 221.
- Serna Saldívar, S. O.; Gómez, M. H. y Rooney, L. W. (1990). Technology, chemistry and nutritional value of alkaline-cooked corn products. *Cereal Sci.* **10**: 243-307.
- Serna Saldívar, S. O.; Gómez, M. H.; Islas-Rubio, A. R.; Bockholt, A. J.; y Rooney, L. W. (1992). The alkaline processing properties of quality protein maize. *En: Quality protein maize*. E. T. Mertz, Ed. American Association of *Cereal Chem.* St. Paul, MN. P. 273-294 .
- Serna-Saldívar, S. O.; Gómez, M. H.; Almeida- Domínguez, H. D.; Islas-Rubio, A. y Rooney, L. W. (1993). A method to evaluate the lime-cooking properties of corn (*zea mays*). *Cereal Chem.* **70** :603-610.
- Skoog, A. D.; Y Learly, J.J. 1995. Analysis Instrumental. Ed.Mc Graw_Hill. México D.F.p.227-295.
- Spencer, H.L.; Kramer, D. O. (1998). Protein and phosphorus cause calcium loss. *J Nutr.* **118** :657-660.
- Sproule , A.M.; Serna-Saldivar, S.O.; Brockholfb, . A . J.; Rooney, L. W.; y Kanbe. D.A. (1988). Nutritional evaluation of tortillas and tortilla chips from quality protein maize . *Cereal Foods World* . **33**: 233-236.
- Solano, O. R. R. (2001). Propiedades texturales de la masa y tortilla elaboradas con harina de maíz nixtamalizado efecto de la humedad en la masa Tesis de Licenciatura en Ingeniería en Alimentos . UNAM. FES- Cuautitlán.
- Trejo-González, A.; Feria- Morales, A. y Wild- Altamirano, C. (1982). The role of lime in the alkaline treatment of corn for tortilla production. Modifications of proteins Food, nutritional, and pharmacological aspects. *En : Advances in Chemistry*. R.E. Freney y J.R. Whitaker,(eds). Acs: Washington, D.C. 245-263.
- Tortosa, M. E. y Primo Yutera, E. Química Agrícola III de Alimentos. (1982). Ed. Alambra. 1^{er} edición. México D.F. p. 28-46, 91-102.

- Villagrana, L. L. B. y Villareal C.J. (2000). Estudio Bibliográfico de las propiedades reológicas y texturales del maíz, masa y tortilla. Tesis de Licenciatura en Ingeniería en Alimentos.. UNAM. FES-Cuautitlán.
- Watson, S. A. y Ramstad, P. E. (1987). Corn chemistry and technology. *Cereal Chem.* Inc. St Paul, Minnesota, U.S.A. p. 21-123.
- Watson, S.A , y Ramstad, P.E, (2003). Description , development, structure, and composition of the corn kernel En: Corn Chemistry and Technology. Ed. American Association of *Cereal Chemists*. White and Johnson eds. 2 ed. Ed. Minesota. USA. p. 525-527.
- Whiting. S.J.; Boyle, J. L.; Thompson, A.; Mirwald, R. L. y Faulkner, R. A. (.2002). Dietary protein, phosphorus and potassium are beneficias to bone mineral density in adul man consuming adequate dietary calcium.J. Am Coll Nutr. **21** (5): 402-409.
- 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.
- Wyatt, C. J.; Hernández, L. M.; Méndez, R.O.; y Valencia, M. E. (2000). Effect of dietary calcium and phosphorus contentin Mexican diets on rat fémur bone gorwth and composition. Nutrition Research. **20** (3) : 427-437.
- Zazueta, C.; Ramos, G.; Fernández-Muñoz, J. L.; Rodríguez, M. E.; Acevedo-Hernández, G.; y Pless, R.n C. (2002). A radioisotopic study of the entry of calcium ion into the maize kernels during nixtamalization. *Cereal Chem.* **79**: 500-503.