

Universidad Autónoma de Querétaro

FACULTAD DE QUÍMICA

Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos

**EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y
NUTRACÉUTICAS DE HARINA Y TORTILLA ELABORADAS CON UN
PROCESO DE NIXTAMALIZACIÓN ECOLÓGICA.**

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener grado de

Maestro en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Presenta:

I.Q. Lilia Irene Rodríguez Méndez

C.U. Querétaro, Qro. Enero 2013



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE QUÍMICA
MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE
ALIMENTOS

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS Y NUTRACÉUTICAS DE
HARINA Y TORTILLA ELABORADAS CON UN PROCESO DE
NIXTAMALIZACIÓN ECOLÓGICA.

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestría en Ciencia y Tecnología de alimentos

Presenta:

I.Q. Lilia Irene Rodríguez Méndez

Dirigido por:

Dr. Juan de Dios Figueroa Cárdenas

SINODALES

Dr. Juan de Dios Figueroa Cárdenas
Presidente

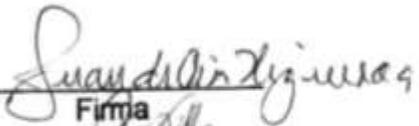
Dr. Ramón A. Martínez Peniche
Secretario

Dr. Luis Arturo Bello Pérez
Vocal

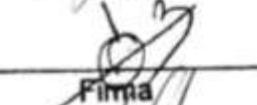
Dra. Minerva Ramos Gómez
Suplente

Dr. Héctor Eduardo Martínez Flores
Suplente


M.S.P. Sergio Pacheco Hernández
Director de la Facultad


Firma


Firma


Firma


Firma


Firma


Firma

Dr. Irineo Torres Pacheco
Director de Investigación y
Posgrado

RESUMEN

En México, el maíz se consume principalmente en forma de tortilla y productos nixtamalizados. Recientemente se ha hecho investigaciones para usar tecnología ecológica de nixtamalización, que emplea de sales de calcio para sustituir el hidróxido de calcio. El objetivo de este estudio fue evaluar las propiedades fisicoquímicas y propiedades nutracéuticas de harinas y tortillas producidas por un proceso de nixtamalización ecológica (NE). Para este estudio, se utilizaron 4 genotipos de maíz diferentes (blanco, amarillo, rojo y negro). Los tratamientos de nixtamalización ecológica fueron con sales de calcio (sulfato de calcio, cloruro y carbonato); y como control se incluyó la nixtamalización tradicional (NT) con hidróxido de calcio. Diseño experimental fue un bloques al azar. La pérdida de materia seca en la NT fue mayor (de 5 a 9%), mientras en NE fue 1 a 5%. El nejayote de NT mostró un pH=11.5, mientras la NE presentó rangos de pH de 4.3 a 7.3 que afectaron la estabilidad y detección de antocianinas y actividad antioxidante en harinas y tortillas. En las harinas se obtuvieron valores en los fenoles totales de 5441-11394 mg ácido ferúlico/Kg, mientras que en tortilla fueron de 4474-9023 mg ácido ferúlico/Kg. El contenido de antocianinas en harinas mostro diferencias significativas: para NT fue de 38 -382 mg de cianidina-3-glucósido /100g, mientras para NE fue de 14.14-410 mg de cianidina-3-glucósido /100g. La actividad antioxidante en los tratamientos NT presentaron valores de 218-274 mg ácido ascórbico/100 g, mientras para NE fue 254-300 mg ácido ascórbico/ 100g. La actividad antioxidante en tortilla obtuvo valores máximos en la NT de 202 mg ácido ascórbico/100g, mientras para la NE fue de 269 mg ácido ascórbico/100g. El pH ácido o neutro del NE permitió retener el ácido ferúlico del pericarpio y del endospermo y estabilizó las antocianinas lo que explica el incremento de actividad antioxidante de harinas y tortillas del NE comparadas con las del NT. El tratamiento que dio mejor calidad en harinas y tortillas fue el de cloruro de calcio para maíces blancos, amarillos y rojos mientras para el maíz negro fue el carbonato de calcio.

(Palabras claves: Tortilla, harina, nixtamalización, proceso ecológico, propiedades nutracéuticas.)

SUMMARY

In Mexico maize is chiefly consumed in the form of tortilla and nixtamalized products. Recently research has been done in order to use the ecological technology of nixtamalization which uses calcium salts instead of calcium hydroxide. The objective of this study was to evaluate the physicochemical and nutraceutical properties of flour and tortillas produced using a process of ecological nixtamalization (EN). For this study, 4 different genotypes of corn were used (white, yellow, red and black). The ecological nixtamalization treatments were with calcium salts (calcium sulfate, calcium chloride and calcium carbonate). As a control, traditional nixtamalization (TN) with calcium hydroxide was used. The experimental design was a randomized block analysis. The loss of dry material with the TN was greater (from 5 to 9%), while with the EN it was from 1 to 5%. The nejayote of the TN showed pH=11.5, while the EN presented a range of pH from 4.3 to 7.3 which affected the stability and detection of anthocyanins and antioxidant activity in flour and tortillas. In flours, the values of total phenols of 5441 - 11394 mg ferulic acid/Kg were observed, while in tortillas, there was 4474 – 9023 mg ferulic acid/Kg. The content of anthocyanins in flours showed significant differences: for TN it was 38-382 mg cianidina 3-glucósido /100g, while for EN it was 14.14-410.69 mg cianidina 3-glucósido /100g. Antioxidant activity in TN presents values of 217-274 mg ácido ascórbico/100g, while for EN it was 254-300 mg ácido ascórbico/100g. The antioxidant activity in tortilla has maximum values with TN of 202 mg ácido ascórbico/100g, while for EN it was 269 mg ácido ascórbico/100g. The acid or neutral pH of EN allowed retention of the ferulic acid of the pericarp and the endosperm, as well as stabilizing the anthocyanins which explains the increase in antioxidant activity in flours and tortillas from the EN compared to those from TN. The treatment that resulted in the best quality in flours and tortillas was that of calcium chloride for white, yellow and red maize; for black maize it was the calcium carbonate.

(Key Words: Tortilla, flour, nixtamalization, ecological process, nutraceutical properties)

AGRADECIMIENTOS

A Dios. Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi madre Lilia Méndez. Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mi padre Juan Rodríguez. Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

Al Dr. Juan de Dios Figueroa Cárdenas. Por aceptarme para realizar esta tesis bajo su dirección. Su apoyo y confianza en mi trabajo y su capacidad para guiar mis ideas ha sido un aporte invaluable, no solamente en el desarrollo de esta tesis, sino también en mi formación como investigador. Le agradezco también el haberme facilitado siempre los medios suficientes para llevar a cabo todas las actividades propuestas durante el desarrollo de esta tesis..

A los miembros de mi comité. Por su gran apoyo para la revisión de la tesis, por impulsar mi formación profesional y el desarrollo de este trabajo. Quiero agradecer principalmente a la Dra. Minerva Ramos, la cual me ofreció su conocimiento, amistad y apoyo en estos dos años, no solo como integrante de mi comité si no como una investigadora que me formo y dio grandes conocimientos, muchas gracias a su tiempo y comprensión estoy aquí.

A mis amigos. Que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y que hasta ahora, seguimos siendo amigos: Nataly, Isela, Yahaira, Federico. A los chicos de laboratorio del CINVESTAV Karla, Guadalupe, Rodrigo Saavedra, Areli y Rodrigo. A Irving Ortiz por su apoyo y amor, por soportarme cuando andaba de mal humor por qué no salían las cosas, por sus consejos y comprensión. Te amo

Finalmente a los maestros, aquellos que marcaron cada etapa de nuestro camino universitario, y que me ayudaron en asesorías y dudas presentadas en la elaboración de la tesis.

Al CINVESTAV unidad Querétaro, por haberme permitido realizar la parte experimental de este trabajo. A MC. Juan Vélez y Dra. Marcela Gaytán por su apoyo técnico en este trabajo.

Al consejo Nacional de ciencia y tecnología (**CONACYT**) por el apoyo económico otorgado durante mi posgrado y con lo cual fue posible la realización de este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

	Página
Resumen	i
Summary	ii
Agradecimientos	iii
Índice general	iv
Índice de cuadros	vii
Índice de figuras	viii
I. INTRODUCCION	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Maíz	4
2.1.1 Generalidades	4
2.1.2 Producción en México	6
2.1.3 Usos	9
2.1.4 Composición química y valor nutritivo	12
2.2 Nixtamalización	20
2.2.1 Generalidades	20
2.2.2 La tecnología de la nixtamalización	21
2.2.3 Procesos alternativos en la nixtamalización de maíz	24
2.2.4 Factores que influyen en el proceso de nixtamalización	28
2.2.5 Efecto de la nixtamalización sobre la biodisponibilidad de nutrientes	29
2.2.6 Cambios en el maíz inducidos por el proceso	29
2.3 Harina	37
2.3.1 Proceso industrial para obtención de harina	37

2.3.2 Descripción del proceso industrial	38
2.3.3 Factores nutrimentales limitantes	39
2.4 Tortilla	40
III. OBJETIVO	43
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	44
4.1 Ubicación del sitio experimental	44
4.2 Material biológico	44
4.3 Etapas de desarrollo experimental	44
4.4 Preparación de la muestra	45
4.4.1 Proceso de nixtamalización tradicional del grano	45
4.4.2 Proceso de nixtamalización ecológico de grano	46
4.4.3. Procesos de obtención de las harinas	46
4.4.4 Proceso de elaboración de tortilla	47
4.5 Métodos	48
4.5.1 Cuantificación de los polifenoles totales	48
4.5.2 Medición de la actividad antioxidante (DPPH)	48
4.5.3 Antocianinas totales	49
4.5.4 Humedad	50
4.5.6 Viscosidad	50
4.5.7 Índice de solubilidad en agua (ISA) e índice de absorción de agua (IAA)	52
4.5.8 pH	53
4.5.9 Pérdida de materia seca	53
4.6 Análisis estadístico	54

V.	RESULTADOS Y DISCUSION	55
5.1	Caracterización del grano de maíz	55
5.1.1	Compuestos nutracéuticos	57
5.2	Caracterización del nejayote	62
5.3	Caracterización de harinas de maíz por nixtamalización ecológica y nixtamalización tradicional	65
5.3.1	Caracterización física de las harinas	65
5.3.2	<i>Color de harinas NT y NE</i>	69
5.3.3	Viscosidad de almidones de suspensiones acuosas de harinas obtenidas por NT y NE	71
5.4	Caracterización de las tortillas	74
5.4.1	Pérdida de peso, rendimiento de tortilla y rolabilidad	74
5.4.2.	Color en tortillas	77
5.4.3	Evaluación de las características de textura en tortillas recién elaboradas con los procesos de NT y NE	79
5.5	Compuestos nutracéuticos en harina y tortilla	82
5.5.1	Contenido total de fenoles (libres y ligados) en harinas y tortillas elaboradas con nixtamalización tradicional y ecológica	82
5.5.2	Efecto del procesamiento en el contenido de antocianinas	88
5.5.3	Actividad antioxidante por DPPH	92
VI.	CONCLUSIÓN	97
VII.	LITERATURA CITADA	98

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Pág.
1	Superficie cosechada de maíz en México	7
2	Comparación de la composición del grano	13
3	Partes del grano de maíz y su composición química	14
4	Perfil de ácidos grasos del aceite de diversas variedades de maíz guatemalteco y maíz con proteína de calidad (MPC)	16
5	Fibra dietética del maíz común y maíz con proteína de calidad (MPC)	17
6	Composición de los sólidos orgánicos en las aguas de cocción (%) extraídas durante la nixtamalización	33
7	Etapas del desarrollo experimental	45
8	Distribución porcentual de la fracción anatómica del grano	55
9	Características físicas de los granos	56
10	Contenido de fenoles en g/kg ácido ferúlico y g/kg ácido gálico	58
11	Contenido de antocianinas en grano de maíz	60
12	Contenido de actividad antioxidante en grano de maíz	61
13	pH y pérdida de materia seca del nejayote	63
14	Características físicas de la harina obtenidas por NT y NE	66
15	Color de harinas NT y NE	69
16	Valores de viscosidad máxima, mínima, final y setback para soluciones harinas obtenidas por NT y NE	73
17	Variables físicas evaluadas en tortillas obtenidas a partir de distintos tipos de maíz tratados con nixtamalización tradicional y ecológica	75
18	Color en tortillas de los procesos de NT y NE	77
19	Características de textura en tortillas elaboradas con los procesos de NT y NE.	80
20	Contenido de fenoles libres, ligados y totales en muestras de harinas y tortillas elaboradas por los procesos de NT y NE.	84
21	Contenido de antocianinas en las harinas y tortillas con un proceso de NT y NE.	89
22	Actividad antioxidante en harina y tortilla utilizando el método DPPH.	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Pág.
1	Partes de la semilla de maíz	6
2	Demanda total aparente de maíz a nivel nacional	8
3	Consumo anual de maíz blanco	9
4	Uso del maíz en alimentación humana	12
5	Proceso de nixtamalización	23
6	Amilograma de los principales cambios fisicoquímicos que experimenta el almidón de maíz	36
7	Consumo de alimentos en la dieta rural	41
8	Elaboración de la harina de maíz	47
9	Compuestos fenólicos (libres, ligados y totales) en grano de maíces blanco y pigmentado (amarillo, rojo y negro).	57
10	Perfil de viscosidad de suspensiones acuosas de harinas obtenidas por NT y NE	72

I. INTRODUCCIÓN

Desde su domesticación, el maíz ha influido en el desarrollo de las grandes civilizaciones de Mesoamérica. La tecnología de la nixtamalización tradicional permite transformar el maíz en tortilla, que es el alimento básico de consumo diario en México (Figueroa *et al.*, 1994). La nixtamalización tradicional es un proceso térmico alcalino que implica cambios químicos como la selección de las proteínas del maíz y que incrementa de la disponibilidad de aminoácidos esenciales, liberando (niacina) que de otra manera permanecería sin ser aprovechada. Los cambios químicos en el contenido de nutrientes del maíz, al ser transformados en tortilla por el proceso alcalino de cocción, sugieren que la proteína de la tortilla es de mejor calidad que aquella del maíz sin procesar, a pesar de sus deficiencias de lisina y triptófano (Bressani, 1972).

Existen varios tipos de maíz en el mundo, los cuales presentan múltiples colores, como el blanco, amarillo, rojo, morado, café, verde y azul. Los maíces pigmentados se hallan en las 41 razas descritas en el país (Ortega *et al.*, 1991). Los colores negros, morados y rojos se deben a la presencia de las antocianinas y compuestos fenólicos que en el grano están en el pericarpio y en la capa de aleurona o en ambas estructuras (Wellhausen *et al.*, 1951; Salinas, 2000). El interés actual por las antocianinas se debe a sus beneficios para la salud, ya que se considera como antioxidantes naturales (Wang *et al.*, 1997) debido a su capacidad para atrapar radicales libres, los cuales ocasionan daño a biomoléculas (Lee *et al.*, 1997; Stavric, 1994). Los fenoles son compuestos químicos ampliamente distribuidos en las plantas como producto de su metabolismo secundario, que se vinculan su consumo de estos fitoquímicos con un beneficio a la salud, debido a sus propiedades antioxidantes (Gallardo *et al.*, 2006) y anticancerígenas (Zhaohui y Moghadasian, 2008).

En cereales, los fenoles se agrupan en solubles e insolubles o ligados. En el primer grupo se incluyen los fenoles libres, glucosilados y esterificados, que se

ubican en mayor cantidad en las capas periféricas de los granos (pericarpio, testa y células de aleurona), mientras que su concentración es menor en el endospermo (Yu *et al.*, 2001). El maíz contiene más fenoles totales y mayor poder antioxidante que otros cereales como trigo, arroz y avena (Adom y Liu, 2002). El principal fenol en el maíz es el ácido ferúlico, que representa alrededor de 85 % de los fenoles totales, y se concentra en el pericarpio del grano en forma libre o esterificado a las heteroxilanas que constituyen la hemicelulosa de la pared celular (De la Parra *et al.*, 2007).

En México, la tortilla forma parte de la dieta de todos los estratos sociales con un consumo *per capita* de 120 Kg/año, esto es, 328 gr por día de tortilla; y sola provee 38.8% de las proteínas, 45.2% de las calorías y 49.1% del calcio en la dieta diaria de la población en México, y en las zonas rurales proporciona aproximadamente 70% del total de calorías y 50% de las proteínas ingeridas diariamente por la población (Figuroa *et al.*, 1994). Actualmente, la falta de una dieta apropiada ha propiciado que la población sea más dependiente de la tortilla elaborada con harina de maíz, para su alimentación diaria (Figuroa *et al.*, 1994).

Desde el punto de vista de operación, uno de los mayores problemas que enfrenta la industria molinera y tortillera es en el “nejayote” (líquido de cocimiento del maíz) donde hay aún una elevada cantidad de sólidos solubles (6 a 15%), resultando en pérdidas importantes de tiamina, niacina, riboflavina, grasas, fibra y compuestos fenólicos (González *et al.*, 1997). Los cambios químicos en el contenido de vitaminas y otros nutrientes del maíz, que se pierden en su transformación a tortilla son de entre 28 y 58% de las vitaminas (Gómez *et al.*, 1996), así como de lisina y triptófano (Bressani *et al.*, 1958).

Algunas desventajas en el proceso de nixtamalización, son:

(i) La contaminación del medio ambiente debido al nejayote, contaminante que tiene un pH muy alcalino y provoca la formación de incrustaciones dentro de tubos de drenaje (Martínez-Flores *et al.*, 2002)

(ii) Los costos y espacio que se necesitan los molineros (Mensah-Agyapong y Horner, 1992)

(iii) Las grandes cantidades de agua que se desperdician durante la cocción y lavado de los granos de maíz (Martínez-Bustos *et al.*, 1996^a).

(iv) Se pierden algunos nutrientes, como grasas, proteínas, vitaminas, minerales y otros compuestos como fibra dietética (Bressani *et al.*, 1958; Martínez-Bustos *et al.*, 1996a)

Se han hecho diferentes estudios y procesos alternativos para eliminar los problemas anteriores (Figuroa *et al.*, 1994; 1997; 1999a, 1999b, 2000, 2002, 2003a, 2003b, 2003c, 2004, 2006, 2011, 2012, González *et al.* 1997, 2001, Martínez-Bustos *et al.*, 1996a, 1996b, Durán, 1979, Galicia, 2002)

Con el fin de eliminar al menos uno o más de los inconvenientes antes mencionados se ha hecho necesario encontrar nuevas alternativas o modificaciones en el proceso tradicional de nixtamalización. Por lo tanto, se han desarrollado nuevos procesos denominados ecológicos de nixtamalización que retienen la mayor parte de los nutrientes y compuestos mencionados.

El presente trabajo pretende evaluar las propiedades fisicoquímicas (pH, viscosidad entre otras) y nutraceuticas (contenido de fenoles, antocianinas y actividad antioxidante) de harina y tortilla elaboradas mediante un proceso de nixtamalización ecológica.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 MAÍZ

2.1.1 Generalidades

Maíz, palabra de origen indio caribeño, significa literalmente “lo que sustenta la vida”. El maíz junto con el trigo y el arroz, es uno de los cereales más importantes del mundo, suministra elementos nutritivos a los seres humanos y a los animales, y es una materia prima básica de la industria de transformación, con la que se producen almidón, aceite y proteínas, bebidas alcohólicas, edulcorantes alimenticios y como combustible.

Su domesticación influyó de manera determinante en el desarrollo de la cultura, las conquistas y colonizaciones americanas.

El maíz contiene casi todos los nutrimentos necesarios para la alimentación del ser humano, su concentración cambia según la variedad, y las condiciones ambientales de manejo presentes durante su desarrollo. En México se produce una gran variedad de tipos de maíz, los cuales tienen una composición promedio del 70% de hidratos de carbono, 8% de proteínas, 4% de minerales, 4% de lípidos, 3% de celulosa (Pérez 1996).

El maíz es de color blanco o amarillo, aunque también hay variedades de color negro, rojo y jaspeado. Hay varias variedades de grano que se distinguen por las diferencias de los compuestos químicos depositados o almacenados en él.

Con el consumo de maíz la población mexicana satisface entre 60 y 75 % de sus necesidades energéticas, 60% de las proteínas y 87% de calcio total cuando se consume en forma de tortilla (Paredes, 2002). Las tortillas suministran 70% de las calorías y 50% de las proteínas que se consumen en la dieta diaria y suministra 37% del calcio requerido por los adultos (Figuroa *et al.*, 1994).

El maíz, como todos los cereales, presenta deficiencia en los aminoácidos esenciales lisina y triptofano, vitaminas del complejo B y niacina. El cocimiento durante el proceso de la nixtamalización implica un tratamiento selectivo de las proteínas del maíz que incrementa el balance de aminoácidos esenciales y libera niacina que de otra manera permanece no disponible.

Botánica

Botánicamente, el maíz (*Zea mays* L.) pertenece a la familia de las gramíneas y es una planta anual alta dotada de un amplio sistema radical fibroso. Se trata de una especie que se reproduce por polinización cruzada (halógama) y, la inflorescencia femenina (elote, mazorca, choclo o espiga) y la masculina (espiguilla) se hallan en distintos lugares de la planta, por lo que se trata también de una planta monoica.

Las mazorcas, que son una inflorescencia de tipo espádice, son las estructuras donde se desarrolla el grano con un número variable de hileras (12 a 16), produciendo de 300 a 1000 granos por mazorca, que pesan entre 190 y 300 g por cada 1000 granos. El peso depende de las distintas prácticas genéticas, ambientales y de cultivo. El grano constituye aproximadamente 42 % del peso en seco de la planta.

Anatomía de la semilla

El fruto de la planta del maíz se llama comercialmente grano, botánicamente es una cariósida y agrícolamente se le conoce como semilla. En la Figura 1 se indica el diagrama de un grano de maíz y el nombre de sus partes:

Pericarpio. Cubierta del fruto, de origen materno, se conoce como testa, hollejo o cáscara.

Aleurona. Capa de células del endospermo, de naturaleza proteica.

Endospermo. Tejido de reserva de la semilla que alimenta el embrión durante la germinación. El endospermo es la parte de mayor volumen en la semilla. Hay dos regiones bien diferenciadas en el endospermo: suave o harinoso y el duro o endospermo vítreo, la proporción depende de la variedad.

Escutelo o cotiledón. Parte del embrión.

Embrión o germen. Es la estructura para originar una nueva planta, al germinar la semilla.

Capa terminal. Parte que se une al elote, con una estructura esponjosa, adaptada para la rápida absorción de humedad. Entre esta capa y la base del germen se encuentra un tejido negro conocido como capa hilar, la cual funciona como un mecanismo sellante durante la maduración del grano.

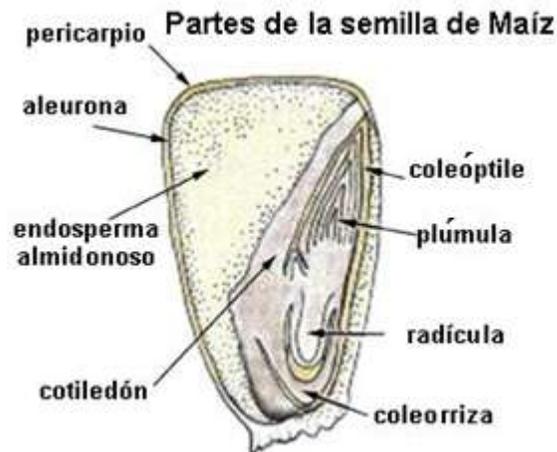


Figura 1. Partes de la semilla de maíz (Jensen y Salibury, 1988).

2.1.2 Producción en México

En México, el maíz abarca la mitad del total de la superficie destinada a la demanda de cultivos básicos juntos (7.4 millones de hectáreas).

En el cuadro 1 se presentan las superficies cosechadas de maíz en ciclos primavera-verano (PV) y otoño-invierno (OI), considerando tierras de riego y temporales del 2007 – 2009 para diferentes usos, y diferentes productos.

Cuadro 1. Superficie cosechada de maíz en México

Destino de producción	2007 (Ha)	2008 (Ha)	2009 (Ha)
Maíz forrajero	339,467	483,609	328,312
Maíz grano	6,223,047	7,344,346	7,333,277
Maíz grano semilla	3,778	1,470	896
Maíz palomero	10,066	685	596

Fuente: SIAP, 2011

Como se indica en el Cuadro 1 se observa un aumento en las superficies cosechadas del 2007-2009 del 18% para maíz de grano, mientras el grano usado para semilla se ha observado una disminución en las superficies cosechadas siendo del 76%. El maíz forrajero varía entre año y año, y no tiene una tendencia. El maíz palomero tiene una disminución en las superficies cosechadas entre 2008 y 2009.

En el país se pueden identificar dos sistemas de producción del maíz; el comercial y el de autoconsumo. El primero se caracteriza por la producción orientada al mercado. Su competitividad se basa en la producción de maíz a bajos costos, por lo que su eficiencia se fundamenta en el uso intensivo de capital. Las entidades en las que predomina este sistema de producción son Sinaloa, Sonora, Jalisco, Tamaulipas y la región del Bajío. La producción de autoconsumo, por su parte, se relaciona con el minifundio. Se basa en el uso intensivo de la mano de obra familiar. Los estados con este sistema son Chiapas, Guerrero, Hidalgo,

Morelos, Oaxaca, Michoacán, San Luis Potosí, Veracruz y Yucatán (SAGARPA, 2011).

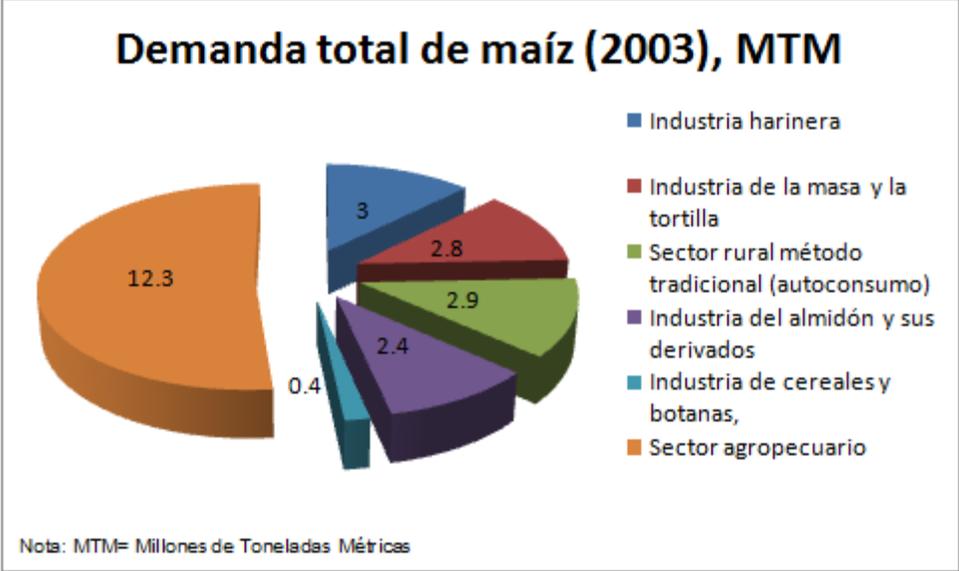


Figura 2. Demanda total aparente de maíz a nivel nacional (Cámara Nacional del Maíz Industrializado, 2003)

En la Figura 2 se muestra la demanda total aparente para maíz a nivel nacional en el 2003 la cual fue de 23.8 MTM (Millones de Toneladas Métricas) de las cuales se distribuyeron de la siguiente manera: 3.0 MTM de maíz requeridos por la industria harinera, 2.8 MTM por industria de la masa y la tortilla, 2.9 MTM por el sector rural con el método tradicional (autoconsumo), 2.4 MTM por la industria del almidón y sus derivados, 0.4 MTM por la industria de cereales y botanas, y finalmente 12.3 MTM por el sector agropecuario (Cámara Nacional del Maíz Industrializado, 2003)

El consumo anual de maíz blanco en el 2003 (Figura 3) fue de 10.5 MTM lo que representó el 45 % de la demanda total que se distribuye de la siguiente manera: 3.0 MTM se emplea en la elaboración de harinas nixtamalizadas, 2.9 MTM fueron consumidas en el sector rural (consumo doméstico), 2.8 en la

elaboración de tortillas por el proceso tradicional (consumo comercial) y finalmente 1.8 MTM fueron destinadas para la alimentación de animales del sector rural.

La mayor demanda de maíz amarillo proviene de las industrias agropecuarias con una demanda anual de 10.0 MTM de producto, 2.2 MTM de la industria del almidón y sus derivados y de 0.4 MTM de la industria de cereales y botanas. (Cámara Nacional del Maíz Industrializado, 2003).

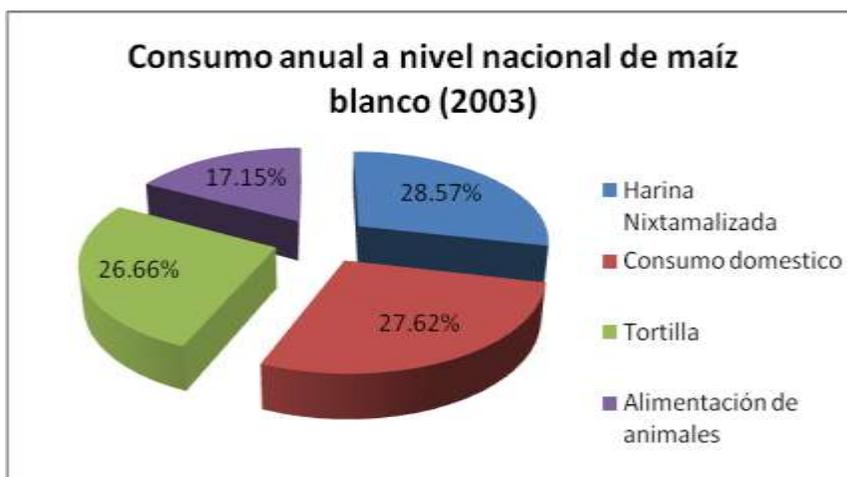


Figura 3. Consumo anual de maíz blanco (Fuente: Cámara Nacional del Maíz Industrializado, 2003).

2.1.3 Usos

El maíz se aprovecha directamente como alimento humano (tortilla, bollos, arepa, elote, etc.), o como materia prima en la industria alimentaria (harina, maicena, aceite, mieles, etc.). El maíz es materia prima en la industria básica, para producir artículos que son utilizados como insumos de la industria complementaria o como productos para consumo final (ejemplo: fábricas de harina nixtamalizada y fábricas de tortillas). El maíz tiene tres aplicaciones posibles: alimento, forraje y materia prima para la industria.

Como alimento, se puede utilizar todo el grano, maduro o no, o bien se puede elaborar con técnicas de molienda en seco para obtener un número relativamente amplio de productos intermedios, como por ejemplo sémola de partículas de diferentes tamaños, sémola en escamas, harina y harina fina, que a su vez tienen un gran número de aplicaciones en una amplia variedad de alimentos; se debe notar que el maíz cultivado en la agricultura de subsistencia continúa siendo utilizado como cultivo alimentario básico.

En lo que respecta a su aplicación como forraje, en los países desarrollados más del 60 % de la producción se emplea para elaborar piensos compuestos para aves de corral, cerdos y rumiantes; en los últimos años, aún en los países en desarrollo en los que el maíz es un alimento fundamental, se utiliza un porcentaje más elevado de la producción como ingrediente para la fabricación de piensos.

Los subproductos de la molienda en seco son el germen y la cubierta seminal, el primero se utiliza para obtener aceite comestible de elevada calidad, mientras que la cubierta seminal, o pericarpio, se emplea fundamentalmente como alimento, aunque en los últimos años ha despertado interés como fuente de fibra dietética (Earll *et al.*, 1988; Burge y Duensing, 1989).

La molienda húmeda es un procedimiento que se utiliza fundamentalmente en la aplicación industrial del maíz, aunque el procedimiento de cocción en solución alcalina empleado para elaborar las tortillas también es una operación de molienda húmeda que sólo elimina el pericarpio (Bressani, 1990).

La molienda húmeda produce almidón de maíz y subproductos entre los que el gluten que se utiliza como ingrediente alimenticio, mientras que el germen de maíz elaborado para producir aceite da como subproducto harina de germen que se utiliza como pienso; ha habido algunos intentos de emplear dichos

subproductos para el consumo humano en distintas mezclas y formulaciones alimenticias.

El aumento de los precios del petróleo ha impulsado la intensificación de las investigaciones sobre la fermentación del maíz para producir combustible (bioetanol), el cual tiene un uso muy difundido en diversas partes de los Estados Unidos. Con maíz fermentado se elaboran también algunas bebidas alcohólicas.

Por último, también tienen importancia las aplicaciones de los residuos de la planta de maíz, que se utilizan, entre otras cosas, como alimento para animales y como base para extraer diversos productos químicos de las mazorca, como por ejemplo, furfural y xilosa. Estos residuos también tienen importancia como elementos para mejorar los suelos.

El maíz tiene múltiples usos (Figura 4) que se pueden agrupar en los siguientes rubros (Kato *et al.*, 2009):

1. Grano
 - a. Alimentación humana
 - b. Alimentación del ganado
2. Materias prima en la industria
3. Semillas
4. Planta
 - a. Forraje verde
 - b. Ensilado
 - c. Rastrojo, forraje tosco
 - d. Materia orgánica al suelo
5. Mazorca
 - a. Elote - alimento humano
 - b. Forraje tosco
 - c. Olot (combustible)

6. Se estima más de 800 artículos que utiliza la humanidad obtenidos a partir del maíz.



Figura 4. Usos del maíz en alimentación humana

2.1.4 Composición química y valor nutritivo

La composición química es variable y está relacionada con el estadio, raza, variedad, tecnología del cultivo, clima y la, parte de la planta o del grano que se analice. Existe un número considerable de datos sobre la composición química del maíz, y múltiples estudios se han llevado a cabo para tratar de comprender y evaluar las repercusiones de la estructura genética del número relativamente elevado de variedades de maíz existentes en su composición química, así como la influencia de los factores ambientales y las prácticas agronómicas en los elementos constitutivos químicos y en el valor nutritivo del grano.

El endospermo comprende el 82% del grano, el pericarpio el 6% y el embrión el 12%, del grano total en la cual encontramos varios componentes

importantes en éste. En el Cuadro 2 se observa una comparación en la composición promedio de la materia seca del grano entero de diferentes autores.

La variación de cenizas y humedad entre diferentes autores no es significativa (Reyes 1990; Maya-Cortés *et al.*, 2010; Figueroa *et al.* 2001a). Reyes (1990) y Maya-Cortés *et al.* (2010) obtuvieron el porcentaje de fibra dietaría que va de 9.93% y 10.32% respectivamente en comparación con Figueroa *et al.* (2001a) que reportaron en el maíz con soya que fue de 2.23% y 3.85% de fibra cruda, respectivamente.

Cuadro 2. Comparacion de la composición del grano.

Componentes (%)	Reyes 1990	Figueroa <i>et al.</i> , 2001	Maya-Cortés <i>et al.</i> , 2010
Almidón	72.4	NR	NR
Grasa	4.70	5.92	4.19
Proteína	9.60	8.84	7.62
Ceniza	1.43	1.51	3.49
Azúcares	1.94	NR	NR
Fibra	9.93*	2.23**	10.32*
Humedad	NR	8.72	NR

Fuente: *Reyes 1990; *Maya-Cortés *et al.*, 2010; Figueroa *et al.* 2001a; * Fibra dietaría total.

**Fibra Cruda.

En el Cuadro 3 se observa la distribución de los componentes en las diferentes partes del grano.

En el endospermo. Se encuentra la mayor cantidad del almidón (el 86.6% promedio del almidón total del grano) y contiene, además las proteínas:

albúminas, globulinas, prolamina y glutelina, y en escasas cantidades grasa, ceniza y azúcares.

Cuadro 3. Partes del grano de maíz y su composición química

Partes	% Base seca grano entero	Componentes químicos (%)				
		Almidón	Grasa	Proteína	Cenizas	Azúcares
Germen	11.5 ± 1.6	8.3 ± 3.2	34.4 ± 4.5	18.5 ± 1.5	10.3 ± 1	11.0 ± 1.5
Endospermo	82.3 ± 2	86.6 ± 2.7	0.86 ± 0.24	8.6 ± 2.5	0.31 ± 0.15	0.61 ± 0.21
Capa terminal	0.8 ± 0.3	5.3	3.8 ± 0.1	9.7 ± 1	1.7 ± 0.3	1.5
Pericarpio	5.3 ± 0.9	7.3 ± 3.8	0.98 ± 0.28	3.5 ± 0.6	0.67 ± 0.38	0.34 ± 0.18
Grano entero	100	72.4 ± 4.6	4.7 ± 1.1	9.6 ± 1.9	1.43 ± 0.16	1.94 ± 0.33

Fuente: Reyes, 1990

El embrión. Contiene la mayor cantidades de grasa del grano (34.4%) y almidón, ceniza y azúcares. Biológicamente, este tiene más valor nutritivo en las proteínas: albúminas, globulinas, glutelinas y escasa zeína.

El pericarpio. Contiene almidón, grasa, proteína, cenizas, azúcares y fibra.

Almidón

El componente químico principal del grano de maíz es el almidón, al que corresponde hasta el 72-73 % del peso del grano. Otros hidratos de carbono son azúcares sencillos en forma de glucosa, sacarosa y fructosa, en cantidades que

varían de 1 al 3 % del grano. El almidón está formado por dos polímeros de glucosa: amilosa y amilopectina. La amilosa es una molécula esencialmente lineal de unidades de glucosa, que constituye hasta el 25-30 % del almidón.

El polímero amilopectina también consiste de unidades de glucosa, pero en forma ramificada y constituye hasta el 70-75 % del almidón.

Proteínas

Después del almidón, las proteínas constituyen el siguiente componente químico del grano por orden de importancia. En las variedades comunes, el contenido de proteínas puede oscilar entre el 8 y el 11 % del peso del grano, y en su mayor parte se encuentran en el endospermo.

Las proteínas de los granos del maíz se han estudiado ampliamente y, según Landry y Moureaux (1982), están formadas por lo menos por cinco fracciones distintas. Conforme a su descripción, las albúminas, las globulinas y el nitrógeno no proteico total, es aproximadamente el 18 % del total de nitrógeno, con proporciones del 7%, 5% y 6%, respectivamente.

Las cantidades de proteínas solubles en alcohol son bajas en el maíz verde y aumentan a medida que el grano madura.

Aceite y ácidos grasos

El aceite del grano de maíz (Cuadro 4) está fundamentalmente en el germen y viene determinado genéticamente, con valores que van de 3 a 18 %. La composición media de ácidos grasos del aceite de variedades seleccionadas.

El aceite de maíz tiene un bajo nivel de ácidos grasos saturados: ácido palmítico y esteárico, con valores medios de 11 % y 2 %, respectivamente. En cambio, contiene niveles relativamente elevados de ácidos grasos poliinsaturados,

fundamentalmente ácido linoléico, con un valor medio de cerca del 40 %. Sólo se han encontrado cantidades reducidas de ácidos linolénico y araquidónico.

Cuadro 4. Perfil de ácidos grasos del aceite de diversas variedades de maíz guatemalteco y maíz con proteína de calidad (MPC)

Variedad le maíz	C16:0 Palmítico	C18:0 Esteárico	C18:1 Oleico (%)	C18:2 Linoleico	C18:3 Linolénico
MPC	15.71	3.12	36.45	43.83	0.42
Azotea	12.89	2.62	35.63	48.85	—
Xetzac	11.75	3.54	40.07	44.65	—
Blanco tropical	15.49	2.40	34.64	47.47	—
Santa Apolonia	11.45	3.12	38.02	47.44	—
Maíz blanco*	12.43	2.51	30.10	37.46	0.98

Fuente: Bressani (1990). * Arámbula *et al.* (2007)

Además, el aceite de maíz es relativamente estable, por contener únicamente pequeñas cantidades de ácido linolénico (0.7 %) y niveles elevados de antioxidantes naturales.

El aceite de maíz goza de gran reputación a causa de la distribución de sus ácidos grasos, fundamentalmente ácidos oleicos y linoléico.

Fibra dietética

Después de los hidratos de carbono (principalmente almidón), la fibra dietética es el segundo componente químico del maíz que se halla en cantidades mayores seguido de las proteínas y las grasas. Los hidratos de carbono complejos del grano de maíz se encuentran en el pericarpio y la capa aleurónica, aunque

también en las paredes celulares del endospermo y, en menor medida, en las del germen.

El contenido de fibra dietética total de los granos de maíz se indica en la Cuadro 5. Las diferencias entre las muestras son pequeñas en lo que se refiere a la fibra soluble e insoluble, aunque el maíz con proteína de calidad tiene niveles más elevados de fibra total que el maíz común, fundamentalmente por tener más fibra insoluble.

Cuadro 5. Fibra dietética del maíz común y maíz con proteína de calidad (MPC)

Tipo de maíz	Fibra dietética (%)		
	Insoluble	Soluble	Total
De sierra*	10,94 ± 1,26	1,25 ± 0,41	12,19 ± 1,30
De tierras bajas*	11,15 ± 1,08	1,64 ± 0,73	12,80 ± 1,47
MPC *	13,77	1,14	14,91
Maíz blanco**	8.79	1.57	10.32

Fuente: *Bressani *et al.*, 1989. ** Maya-Cortés *et al.*, 2010

Se observa un mayor porcentaje de fibra insoluble que va del 8.79% – 13.77 % (Bressani *et al.*, 1989; Maya-Cortés *et al.*, 2010), en el cual los datos obtenidos por Maya Cortés *et al.* (2010) fueron los más bajos en el porcentaje de fibra dietética. El contenido de fibra dietética de los granos descascarados será evidentemente menor que el de los granos enteros.

Compuestos fenólicos en el pericarpio y capa de aleurona

Aunque el color del grano determina en primera instancia el color de la tortilla, existen aspectos menos estudiados que se relacionan con las características del pericarpio y que están asociadas con la intensidad con que esta estructura se colorea al ponerse en contacto con el álcali, durante la nixtamalización. Esto se puede atribuir a la presencia de compuestos fenólicos en pericarpio y capa de aleurona.

Los compuestos fenólicos comprenden un amplio grupo de sustancias que tienen en común la presencia de un anillo aromático al que se halla ligado uno o más sustituyentes hidroxilo. Entre sus características destacan la solubilidad que presentan en medio acuoso y el hecho de que se encuentran comúnmente combinados con azúcares.

En este grupo de compuestos se encuentran los flavonoides y ácidos fenólicos. Los primeros se distinguen por ser muy numerosos, se tienen reconocidas más de 10 clases de flavonoides presentes en plantas vasculares, aunque algunas de estas clases se encuentran más ampliamente distribuidas que otras. La identificación de los flavonoides está basada principalmente en estudios sobre solubilidad y reacciones de color, acompañados ambos por corrimientos cromatográficos tanto en una a dos dimensiones, dependiendo de la pureza del extracto. Su identificación individual se realiza mediante la comparación cromatográfica con estándares conocidos.

Entre los diversos compuestos fenólicos que se pueden encontrar en el maíz, se encuentran los ácidos fenólicos o hidroxicinámicos y estos están concentrados en el pericarpio y capa de aleurona del grano en un 90% (Serratos, 1993); además de algunos compuestos flavonoides como son: flavonoles, que son sustancias generalmente de coloraciones amarillas (Kirby, 1970; Coe *et al.*, 1988); leucoantocianinas, generalmente incoloras (Reddy, 1964; Coe *et al.* 1988);

antocianinas, de coloraciones rojizas-púrpuras, azules y pardas (Reddy, 1964; Kirby, 1970; Coe *et al.*, 1988) y otras sustancias derivadas.

Los ácidos fenólicos se degradan térmicamente o se descomponen por acción de microorganismos a fenoles (Belitz y Grosch, 1988). Por otro lado, los flavonoides son relativamente resistentes al calor y les afecta el pH, dando lugar a la formación de compuestos derivados u otro tipo de compuestos (Hawthorn, 1983; Belitz y Grosch, 1988; Robinson, 1991).

Los compuestos fenólicos forman complejos coloreados con iones metálicos, además de formar complejos con proteínas.

Antocianinas del maíz

En México existe diversidad genética y fenotípica entre y dentro de las razas de maíz, que incluye la variación en color del grano desde blanco, amarillo, rojo y hasta negro, con diferentes grados de intensidad (Hernández, 1985). Los granos amarillos contienen carotenoides, los rojos y negros tienen antocianinas, mientras que los blancos carecen de estos pigmentos (Ford, 2000).

Actualmente, se reconoce la relevancia nutracéutica de las antocianinas como antioxidantes, anticancerígenas y reductoras de triglicéridos y de colesterol (De Pascual y Sánchez, 2008).

El maíz contiene diferentes tipos de Antocianinas, siendo la cianidina-3- β -glucósido, su pigmento mayoritario el cual es un importante antioxidante. Además del pigmento principal cianidina-3-glucósido, se han encontrado en variedades de maíz morado: pelargonidina - 3- glucósido, peonidina-3-glucósido, cianidina-3-maloilglucósido, pelargonidina-3-malonilglucósido, y peonidina-3- malonilglucósido en extractos comerciales de maíz morado (Aoki *et al.*, 2002) y granos del mismo (Pascual *et al.*, 2002). Además, cianidina - 3-dimalonilglucósido como compuesto minoritario en algunas variedades.

2.2. NIXTAMALIZACIÓN

2.2.1 Generalidades

La palabra nixtamalización castellanizada, del náhuatl (*nextli*: cal de cenizas y *tamalli*: masa cocida de maíz), significa maíz cocido con sales de cenizas o cal (Cabrera, 1992).

López y Segurajaúregui (1986) definen la nixtamalización tradicional como el tratamiento térmico alcalino con cal, la cual es una técnica de lixiviación empleada para obtener una masa apta para la elaboración de tortillas y otros productos mexicanos tradicionales.

Durante el proceso de nixtamalización se logra la biodisponibilidad de vitaminas, proteínas y aminoácidos como: la lisina, gluteínas, triptófano y niacina, pero otros nutrientes se destruyen. En el nejayote se solubilizan minerales, grasas, globulinas y albúminas. La destrucción de la leucina hace que la relación de este aminoácido con la isoleucina mejore considerablemente.

Bressani y colaboradores (1958) evaluaron los cambios químicos del maíz durante la nixtamalización para la fabricación de tortillas y observaron el incremento en los valores de calcio y la pérdida del 10% de nitrógeno. Así mismo Pflugfelder *et al.*, (1988) y Bressani (1990) publicaron que en el proceso térmico alcalino existen pérdidas importantes de nutrientes (9.21 a 14.4%) e incluyen almidón, proteínas, aminoácidos esenciales y compuestos como fibra. Por otra parte, Gómez *et al.* (1996) observaron pérdida de vitaminas (60 a 65% de tiamina, 22- 53% de riboflavina, 31-32% de niacina) y ácidos grasos.

También, el proceso de cocimiento durante la nixtamalización provee beneficios entre los cuales se encuentra la alta disponibilidad de calcio en la tortilla, fenómeno importante para evitar el desarrollo de pelagra y osteoporosis (González *et al.*, 1997)

La absorción del calcio es favorecida por la vitamina D; la saturación del ácido fítico con cal, durante la nixtamalización, favorece la absorción de fósforo y otros minerales traza (Urizar y Bressani, 1997).

Algunos estudios indican que dietas bajas en calcio, tienen un efecto detrimento en el consumo de alimento y que esto conduce a un círculo vicioso, ya que el individuo dejará de comer, perderá peso y el organismo en su afán de mantener la homeostasis, mantendrá los niveles séricos a costa de remover minerales del tejido óseo, con la consecuente menor densidad y fragilidad de éste (Serna *et al.*, 1991; Boyd y Beerman, 1992).

La cal, en la nixtamalización tradicional, facilita la remoción del pericarpio durante la cocción y el remojo, controla la actividad microbiana, tiene un efecto en el sabor, color, vida de anaquel y el valor nutritivo del maíz.

El contenido de calcio retenido por el grano de nixtamal no es mayor de 0.25% (Rodríguez *et al.*, 1996; Rooney, 1996). Urizar y Bressani (1997) realizaron un estudio para determinar el efecto de la cal y el remojo durante la nixtamalización, los parámetros evaluados fueron el contenido de ácido fítico, calcio, además de hierro total y disponible, encontrando que hubo una reducción en la concentración de ácido fítico, por lo tanto, mejora la disponibilidad del hierro y encontraron que no existe influencia en el tiempo de remojo.

2.2.2 La tecnología de la nixtamalización

En todas las civilizaciones, la intensificación y éxito de la agricultura ha estado fuertemente ligada a su nivel de desarrollo tecnológico. Hace unos 3,500 años el cultivo del maíz ya representaba en México el principal medio de vida. Este centro de civilización, que había alcanzado un alto nivel de organización, coincide con la práctica del proceso de nixtamalización del maíz (Figuroa, 2010).

El proceso de conversión del maíz como se practicaba en las áreas de los países en donde se consume la tortilla ha sido descrito y revisado por varios investigadores (Serna *et al.*, 1990; Bressani, 1990; Universidad Autónoma de México, 1996). El proceso sigue el diagrama de flujo mostrado en la Figura 5 y las diferencias informadas están más asociadas con los niveles del agua y cal utilizados y el tiempo de cocción, que con los pasos específicos del proceso.

El tratamiento térmico alcalino al cual se somete el maíz da como producto central la masa, la masa luego se transforma en diversas formas entre la cual encontramos la totilla. La nixtamalización involucra el agregado de una parte de maíz entero y aproximadamente dos partes de solución a 1% de cal.

La mezcla se calienta a 80 °C durante 20 a 45 min con alguna agitación dejándola reposar durante la noche (8-14 h). Al día siguiente, el agua de remojo de color amarillo lechoso, se descarta y el maíz remojado se lava dos o tres veces con agua limpia, removiendo la cáscara, la cápsula y eliminando el exceso de cal y las impurezas que el grano pudiera tener. El agua de cocción y remojo se conoce como nejayote (nexayote o agua de nixtamal) y el maíz cocido se le llama nixtamal.

La adición de cal y el proceso de cocción, remojo y lavado, ayudan a la remoción de la cáscara de maíz. Los subproductos obtenidos de este proceso se descartan o se dan como alimento a los cerdos.

La conversión del nixtamal a masa se hace pasando el maíz por una piedra volcánica plana para moler. Se toma alrededor de 50 gr para formar la tortilla, que se cocinan en un plato caliente de hierro o de barro, llamado "comal". La masa contiene aproximadamente 54 a 56% de agua y la tortilla 45 a 55%.

Se hacen pequeños cambios en la cocción del maíz, puesto que cuando es de cosecha reciente, se agrega poca cantidad de cal y se disminuye el tiempo

de cocción de tortilla. Cuando el grano es viejo y seco, se agrega más cal y se aumenta el tiempo de cocción.

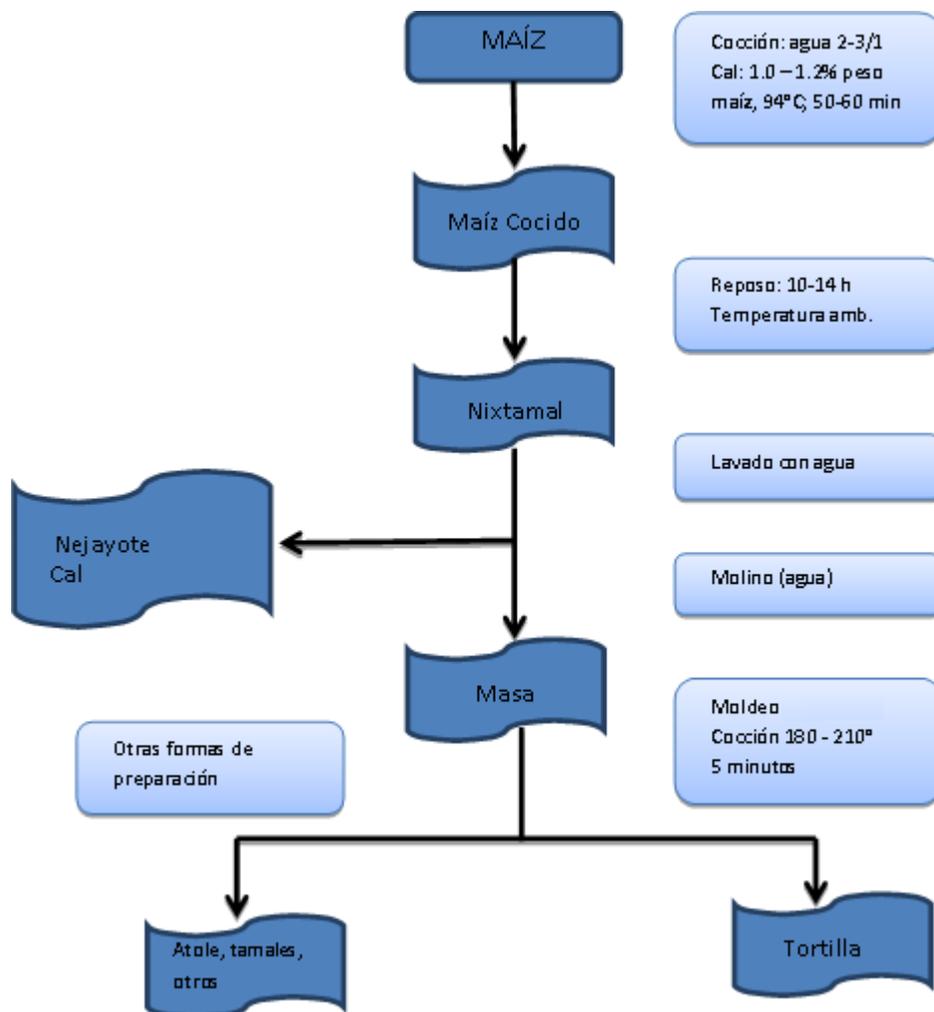


Figura 5. Proceso de nixtamalización.

Los implementos empleados en la preparación de la tortilla eran: un metate, sobre el que se molía el *nixtamal* para transformarlo en masa; la mano de piedra del metate o *metatpilli*, y el comal sobre el que se cocinaban al fuego las tortillas. Pudiera pensarse que esa tecnología de nixtamalización utilizada por sociedades altamente consumidoras de maíz es un método sin mucha

importancia, pues aparte de servir para suavizar el grano de maíz, no pareciera tener otra función. Sin embargo este simple cocimiento alcalino ha tenido implicaciones muy importantes como base del desarrollo de las culturas mesoamericanas (Figueroa *et al.*, 2010).

No obstante, el proceso de nixtamalización desarrollado por nuestros ancestros hace que la tortilla tenga una mayor calidad nutricional, comparada con el maíz crudo.

2.2.3 Procesos alternativos en la nixtamalización de maíz

Desde hace tiempo se ha estudiado y difundido en revistas nacionales (Figueroa *et al.*, 1994; 1997; 1999a; Figueroa y González 2001) e internacionales (González *et al.*, 1997; Figueroa *et al.*, 1999b; 2000) la problemática de la tecnología de la tortilla, que en México ha venido incrementándose hasta alcanzar niveles difíciles de manejar, ya que se consume 14 millones de toneladas de tortillas anualmente. Por cada tonelada de maíz se consumen de 3,000 a 10,000 litros de agua para lavar y enjuagar el nixtamal.

El nejayote (agua con cal o ceniza en la que se ha cocido el maíz) es el agua de desecho del nixtamal, y contiene altas concentraciones de sólidos solubles y cal. Si estamos consumiendo 14 millones de toneladas de tortillas anualmente, significa que hay ríos de agua contaminada con nejayote que afectan fuertemente a la ecología en nuestro país (Figueroa *et al.*, 1997).

Por otra parte, el cocimiento indirecto de nixtamal y tortilla con gas LP es muy ineficiente, pues desperdicia 2/3 del consumo energético que se disipa como contaminante hacia el ambiente.

La historia de la tortilla se remonta al origen de nuestras raíces indígenas, y las etapas básicas para la preparación de tortillas han permanecido inalteradas desde aquellas épocas (Figuerola *et al.*, 1994). Hoy en día el proceso tradicional para la producción de tortillas y harinas instantáneas de maíz requiere mucho tiempo de procesamiento y produce desechos contaminantes de nejayote o líquido de cocimiento, además de una pobre transferencia de calor que hace a este método ineficiente para nuestros tiempos. Para corregir esas limitantes tecnológicas, se han realizado pequeñas adaptaciones como las que se muestran a continuación.

Nixtamalización con vapor

Este proceso consta del mismo procedimiento que el tradicional, solo que el cocimiento se realiza con vapor, la calidad de las tortillas es similar a las obtenidas por el proceso de nixtamalización tradicional (Bedolla y Rooney, 1982; Serna, 1996). La cocción con vapor consiste en inyectar vapor a una mezcla de maíz cal agua y elevar la temperatura hasta alcanzar el punto de ebullición, donde el maíz es cocido y posteriormente enfriado hasta una temperatura de 40 °C. Finalmente, los granos de maíz cocidos se dejan en reposo, se lavan y muelen como el proceso tradicional.

Proceso de cocción en microondas

Este proceso la energía calorífica generada localmente por la vibración molecular de los constituyentes químicos excitados se emplea en el cocimiento. El proceso lleva a cabo una deshidratación excesiva, lo cual resulta en un cocimiento no característico debido a que las ondas con estas frecuencias penetran todo el interior de la muestra (Martínez–Bustos *et al.*, 1996a; Figuerola *et al.*, 2012).

Nueva tecnología de nixtamalización seca y/o ecológica

Las máquinas eléctricas o prototipos descritos anteriormente no son accesibles para el gremio de molineros y tortilleros debido a la situación económica actual. Por ello, se hizo una investigación exhaustiva sobre simplificación tecnológica, con los objetivos generales de emplear el equipo disponible en los molinos, mantener la calidad de la tortilla, reducir los costos de producción, y no producir efluentes contaminantes.

Después de años de investigación, se obtuvo las tecnologías secas (Figueroa *et al.*, 2002; 2003a; 2003b; 2003c; 2004) y/o ecológicas (Figueroa *et al.*, 2002; Figueroa *et al.*, 2011), que pueden utilizar tanto las amas de casas como los molineros, sea para obtener masa directamente a partir del maíz en cuestión de min, o harinas nixtamalizadas.

Por sus ventajas ecológicas y de ahorro de agua, se espera que en los próximos años esta tecnología sea adaptada en ciudades como Mérida, Distrito Federal, Guadalajara y Monterrey, en donde hay problemas de contaminación por *nejayote*, de suministro de agua, y falta de competitividad por lo obsoleto de los procesos actuales.

Ventajas:

- Proceso amigable con el ambiente. Produce efluentes de *nejayote* limpios.
- Puede utilizar el equipo tradicional disponible (ahorro en inversión).
- Incrementa los rendimientos.
- Buena reología y maquinado de la masa y tortilla integrales.
- Produce una tortilla de excelente calidad.
- Produce una tortilla con más fibra dietaría (tradicional 8.2 %, nuevo 14.1 %).
- Compatible con las exigencias del mercado de prevenir obesidad.
- Incrementa el valor nutricional (más proteína).

- Incrementa el valor nutricional (más vitaminas).
- Más gomas naturales que pueden incrementar la vida útil.
- Niveles de calcio similares o mayores que la tortilla tradicional.
- Mejora el color, sabor y textura (calidad reológica igual o superior que la tortilla tradicional).
- Los productos tipo botanas fritas, absorben menos grasa.
- Botanas *light*.
- Tortillas y botanas con pigmentos naturales.

El proceso de extrusión como una alternativa en la obtención de harinas nixtamalizadas

El proceso de extrusión se utiliza para manufacturar una gran variedad de alimentos como cereales, botanas, alimentos precocidos para bebés, alimentos instantáneos, harinas pregelatinizadas, proteínas texturizadas, dietas para animales domésticos, y en los últimos años en la elaboración de harinas nixtamalizadas (Durán, 1979; 1996; Martínez–Bustos *et al.*, 1996b; Galicia, 2002; Figueroa *et al.*, 2006).

Este proceso está considerado como un proceso limpio, y muy eficiente en términos de uso de energía, generalmente ahorra espacio, mano de obra, y la compra de otros equipos. Las funciones básicas de un extrusor son las de mezclar, formar, cortar la pasta de manera continua. En la extrusión termoplástica se combinan el calor y esfuerzos mecánicos que propician la gelatinización y dextrinización de los gránulos de almidón (Martínez, 1993; Serna, 1996).

Las patentes obtenidas por extrusión fueron: La patente del equipo 5,558,886 y la patente del proceso de nixtamalización 5,532,013 en EUA realizadas por Martínez-Bustos *et al.* (1996) y Figueroa *et al.* (2006), describen un

método continuo y rápido, que consiste en una molienda en seco del grano de maíz para reducir el tamaño de partícula, la harina de maíz crudo es acondicionada a una humedad del 25 a 60% con una concentración de hidróxido de calcio de 0.1 a 0.25%, la harina es extrudida en temperaturas de 60°C a 95°C donde el tiempo de residencia del material en el proceso de extrusión es de 1 a 2 min tiempo necesario para obtener una masa con buenas propiedades para elaborar tortillas.

En el proceso de nixtamalización por extrusión, a diferencia del proceso de nixtamalización tradicional, todos los componentes del grano de maíz (pericarpio, proteínas, lípidos y almidón) son retenidos en el proceso, por lo que estos posiblemente afecten la calidad de las harinas instantáneas. En el proceso de nixtamalización tradicional se pierde de 8.5 a 12.5 % (p/p) de sólidos totales en el nejayote, de los cuales 12.2-17.5 % (p/p) son lípidos (Arámbula *et al.*, 2001), los cuales afectan a la calidad y los rendimientos.

A pesar de que este proceso ofrece muchas ventajas en comparación al método tradicional, la operación del proceso requiere de un mayor estudio y conocimiento sobre los puntos críticos de control de forma de obtener una harina y productos alternativos con mejores características de calidad y almacenamiento, objeto de la presente investigación.

2.2.4 Factores que influyen en el proceso de nixtamalización

Los factores que influyen en el proceso de nixtamalización son: tiempo y temperatura de cocimiento, clase y concentración de cal, características físicas y químicas del maíz (tipo de endospermo, estructura del grano, dureza, homogeneidad en tamaño ,porcentaje de grano dañado, relación amilosa:amilopectina) frecuencia de agitación durante el cocimiento, así como

procedimientos de lavado y reposo (Trejo *et al.* 1982; López y Segurajaúregui, 1986; Rooney y Serna *et al.*, 1988; Baéz y Martínez, 1990). Asimismo, Khan *et al.*, (1982) indicaron que los factores que pueden afectar el cocimiento de maíz son la dureza y estructura del grano y edad del maíz (envejecimiento).

2.2.5 Efecto de la nixtamalización sobre la biodisponibilidad de nutrientes

A pesar de que la nixtamalización para convertir el maíz a tortilla conduce a pérdidas de nutrientes en particular de vitaminas, el proceso también induce otros cambios que desde el punto de vista nutrimental son de importancia.

El valor nutritivo de un alimento depende del contenido de nutrientes y también de su biodisponibilidad al organismo animal, tanto a nivel digestivo como a nivel metabólico. Los nutrientes en los alimentos están presentes en forma compleja con otros compuestos orgánicos y no son fáciles de liberar ni de ser absorbidos, por lo que no es garantía que puedan participar eficientemente a nivel metabólico. Los procesos de conversión de un alimento crudo a uno listo para su consumo pueden afectar la biodisponibilidad de los nutrientes y en el caso de la nixtamalización del maíz, las condiciones alcalinas, las temperaturas, el tiempo de cocción y la presencia de altos niveles de calcio, podrán interferir con la bioutilización de nutrientes en la tortilla (Contreras, 2009).

2.2.6 Cambios en el maíz inducidos por el proceso

La conversión del maíz en masa y luego en tortilla involucra un proceso en el cual además del tipo de maíz, participan la adición de agua, de hidróxido de calcio, tratamiento térmico, periodo de remojo y la acción de la molienda. Estos

factores inducen cambios en la estructura del grano, en su composición química, en sus propiedades de funcionalidad y en valor nutritivo.

Los cambios en composición química son el resultado de pérdidas de ciertas estructuras físicas del grano, también de compuestos químicos inducidos por el agua, el pH alcalino de cocción, el tiempo de cocción y remojo, y las temperaturas aplicadas en las diferentes fases del procesamiento.

Los cambios en funcionalidad inducidos por los factores indicados consisten básicamente en la pérdida de compuestos orgánicos que conforman la fibra, la gelatinización parcial de los almidones y la desnaturalización de las proteínas, mientras que los cambios en el valor nutritivo causados por los factores principales en el procesamiento, son más complejos e incluyen pérdidas en ciertos nutrientes, aumentos en otros y cambios en la biodisponibilidad de otros. Otros efectos importantes son los de control de la actividad microbiológica y los de aroma, sabor y color de producto.

Cambios estructurales en el grano de maíz

La cocción alcalina del maíz por periodos de tiempo de alrededor de 35-60 min, asociada al remojo en medio alcalino por 8–14 h, causa un rompimiento parcial del pericarpio, que se remueve fácilmente con una simple frotación y lavado del grano. La eliminación del pericarpio facilita la absorción de agua y de calcio, ya que representa la primera barrera a este proceso. Esta estructura de grosor variable entre maíces está formada por celulosa, hemicelulosa, lignina y proteínas fijadas en estos compuestos. El pH alcalino solubiliza y desintegra esa estructura, contribuyendo a darle a la masa características de suavidad y plasticidad.

La cocción alcalina induce una hinchazón y debilitamiento de la pared celular y de los componentes de la fibra, lo que permite y facilita la eliminación del

pericarpio. Esta se inicia durante la cocción, continua durante el remojo del grano y se completa durante el lavado del maíz cocido para dar el nixtamal. El peso seco del grano del maíz al inicio disminuye con el tiempo de cocción para luego aumentar a valores similares a los iniciales. Este comportamiento puede deberse a pérdidas de materiales orgánicos que salen del grano al medio de cocción. El incremento en peso deberse posiblemente a la absorción del calcio que se inicia durante la cocción y continúa durante la fase de remojo.

La capa aleurónica y sus células quedan intactas y pegadas a la superficie del endospermo, sirviendo como una estructura de retención del mismo. Posiblemente debido a la característica de semipermeabilidad de la capa aleurónica, se reduce la pérdida de proteínas del endospermo y el nitrógeno que se pierde puede ser de proteínas de muy bajo peso molecular (Paredes y Saharopulos, 1982; Serna *et al.*, 1990; Rojas *et al.*, 2007).

La lamela media y paredes celulares del endospermo externo son parcialmente destruidas y solubilizadas. Por otro lado, la mayor parte del germen se retiene durante la cocción alcalina, lo cual es importante ya que con ello se retiene la calidad proteínica del grano de maíz (Bjarnason y Palmer, 1972).

Durante la cocción alcalina los gránulos de almidón aumentan de tamaño en todo el endospermo y muestran una destrucción parcial; las proteínas de esta estructura del grano se quedan asociadas a los gránulos de almidón; sin embargo, se ha indicado que ocurren cambios en la apariencia física de los cuerpos proteicos (Serna *et al.*, 1990).

Gómez *et al.* (1989) confirmaron y ampliaron las observaciones previas de cambios estructurales en el maíz como en maicillo (*Sorghum bicolor*), sometidos al proceso de nixtamalización en el nixtamal, la masa y la tortilla. Robles *et al.* (1988) observaron que la cocción alcalina y el remojo del maíz en agua inducen aumentos significativos en la viscosidad. Asimismo, estos autores encontraron

efectos claros del tiempo de cocción sobre las propiedades de engrudo de la masa y que la nixtamalización causa una gelatinización extensa del almidón.

Absorción de agua y de calcio durante la cocción y el remojo

Durante la cocción del maíz en una solución alcalina de hidróxido de calcio, se ha observado una absorción de agua más rápida que cuando la cocción se efectúa solo con agua (Chang y Hsu, 1985). De acuerdo a Trejo *et al.* (1982) y Serna *et al.* (1988), la absorción de agua es muy rápida al inicio de la cocción y llega al máximo que se va absorber al finalizar la cocción a los 55-65 min más tarde. El contenido de agua generalmente aumenta de 12 a 14% en el grano a valores de 42 – 46% en el nixtamal. El contenido de agua alcanza a su máximo valor, entre 45-49% durante el periodo de remojo.

Los iones de calcio son acarreados por el agua al penetrar al grano; sin embargo, la absorción es más lenta que la del agua y está ocurre a través de la capa terminal, germen y perispermo (Gómez *et al.*, 1989; Serna *et al.*, 1990; Gutiérrez *et al.*, 2007). De acuerdo a los autores anteriores, el germen absorbe más que el endospermo y, en esta fracción del grano, el calcio se liga con el almidón; encontrando que el almidón de maíz nixtamalizado contenía 2.9 veces más calcio que el almidón de maíz no procesado por cocción con cal. La cantidad de calcio en el nixtamal (0.25% en grano lavado) depende también de la dureza del grano de maíz, siendo los granos duros los que absorben menos que los granos suaves. Se han confirmado mayores niveles de calcio en germen de maíz usando análisis químico (Bressani *et al.*, 2004), absorción atómica (Fernández-Muñoz *et al.*, 2001) por medio de Ca^{45} (Zazueta *et al.*, 2002).

Pérdida de material seca

La composición química de la materia seca que se pierde durante el proceso ha sido analizada por varios autores (Trejo *et al.*, 1982; Pflugfelder *et al.*,

1988). Trejo *et al.* (1982; Campechano *et al.*, 2012) informaron que las aguas de cocción tienen un pH que varía entre 10.5–11.2, con 5.7 a 8.0% de sólido totales y entre 6.4 a 7.5 % de hemicelulosa. Estos autores indican que estas aguas son un medio rico en compuestos orgánicos y que es un afluente altamente contaminante.

De acuerdo a los datos de la Cuadro 6 indicaron que alrededor del 50% de los sólidos en las aguas de cocción son sólidos que pueden ser fácilmente separados ya que están en suspensión. Estos sólidos en suspensión consisten principalmente un 64% de polisacáridos (principalmente la fibra de pericarpio), 20% de almidón y 1.4% de proteína, (Pflugfelder *et al.*, 1988 y Saldana y Brown, 1984).

Cuadro 6. Composición de los sólidos orgánicos en las aguas de cocción (%) extraídas durante la nixtamalización

COMPONENTE	RANGO (%)
Polisacáridos diferente al almidón	
Total	49.8-78.7
Disuelto	62.6-91.9
Suspendido	41.2-77.9
Almidón	
Total	6.4-32.0
Disuelto	2.4-18.8
Suspendido	9.6-40.9
Proteína	
Total	1.3-2.2
Disuelta	1.0-2.0
Suspendida	0.9-2.0

Fuente: Bressani, 2008

Se ha encontrado que las pérdidas de almidón, proteína y lípidos fueron menores pero variaron dependiendo del tipo de grano (suave o duro), grano dañado y manejo durante el transporte y lavado del grano. Asimismo, las altas

temperaturas y niveles de cal durante el remojo aumentaron los sólidos disueltos en las aguas de cocción.

Gelatinización

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría debido a que su estructura es altamente organizada y a que presenta una gran estabilidad debido a las múltiples interacciones que existen entre sus dos polisacáridos (Badui, 1999).

La gelatinización se define como el proceso de transición mediante el cual el almidón cambia de insoluble a una solución formada por sus componentes moleculares en forma individual mediante la aplicación de calor (Oosten, 1982). Este proceso va acompañado de una serie de transformaciones o cambios irreversibles como la fusión de la parte cristalina (amilopectina), pérdida de birrefringencia, solubilidad del grano de almidón (Rodríguez *et al.*, 2001). La solución de almidón al ser calentada favorece con una absorción lenta de agua en las zonas intermicelares amorfas (amilosa) de los gránulos de almidón, el gránulo retiene mayor cantidad de agua y éste comienza a hincharse aumentando su volumen hasta que éste llega al máximo, en ese momento pierde su propiedad de birrefringencia, si se administra más calor este al estar incapacitado para absorber agua se rompe parcialmente. Finalmente, la amilopectina y la amilosa fuertemente hidratadas se dispersan en la disolución, a mayor amilosa lixiviada mayor viscosidad (Seib, 1982; Jane, 1993). Los gránulos de almidón pequeños gelatinizan más rápido a menor temperatura (Banks y Greenwood, 1975).

En los rangos de temperatura en los que se realiza la nixtamalización tradicional el gránulo de almidón experimenta cambios físicos y químicos los cuales son dependientes de la cantidad de agua presente, el tiempo de cocimiento, la concentración de hidróxido de calcio y las características de dureza del grano. Estas transformaciones durante la gelatinización son irreversibles

cambiando las propiedades de viscosidad, índice de absorción y solubilidad en agua (Rodríguez *et al.*, 2001).

Durante la nixtamalización, pequeñas cantidades de gránulos del almidón son gelatinizados, la mayor gelatinización ocurren durante el proceso de la molienda donde los gránulos hinchados se dispersan para formar una matriz que actúa como un pegamento que une el resto de los componentes en la masa, una gelatinización excesiva con lleva a producir una masa pegajosa difícil de manejar. De manera contraria, una escasa gelatinización provoca una masa sin cohesividad difícil de moldear (Bello *et al.*, 2002).

La difusión del agua dentro del grano es lenta debido a la composición estructural del grano para lograr una humedad del 47% que es la necesaria para formar un buena masa que requiere de tiempos muy largos de reposo, generalmente el tiempo para alcanzar la humedad de saturación oscila entre 4 y 5 h, aunque esto depende en gran medida de la dureza del grano (Arámbula *et al.*, 2001). Las bajas concentraciones de hidróxido de calcio o la ausencia de éste disminuyen la difusión del agua hacia el interior del endospermo aún en las mismas condiciones de proceso (Martínez-Bustos *et al.*, 2001).

Setback

Este fenómeno se define como la insolubilización y precipitación principalmente de las moléculas de amilosa. De acuerdo a las características de sus cadenas, la amilosa pueden orientarse paralelamente e interaccionar entre sí por medio de puentes de hidrógeno a través de sus múltiples hidroxilos, perdiendo su capacidad de hidratación durante el enfriamiento de la suspensión formando una estructura semi organizada que trae consigo la formación de un gel rígido e irreversible (Badui, 1999).

Este fenómeno se atribuía principalmente a la amilosa por la facilidad que este polímero tiene para formar una nueva estructura parcialmente organizada; sin embargo, se encontró que la amilopectina también ejerce cierta influencia sobre este fenómeno (Osman, 1975).

La Figura 6 muestra los cambios que experimenta el almidón durante el proceso de cocimiento.

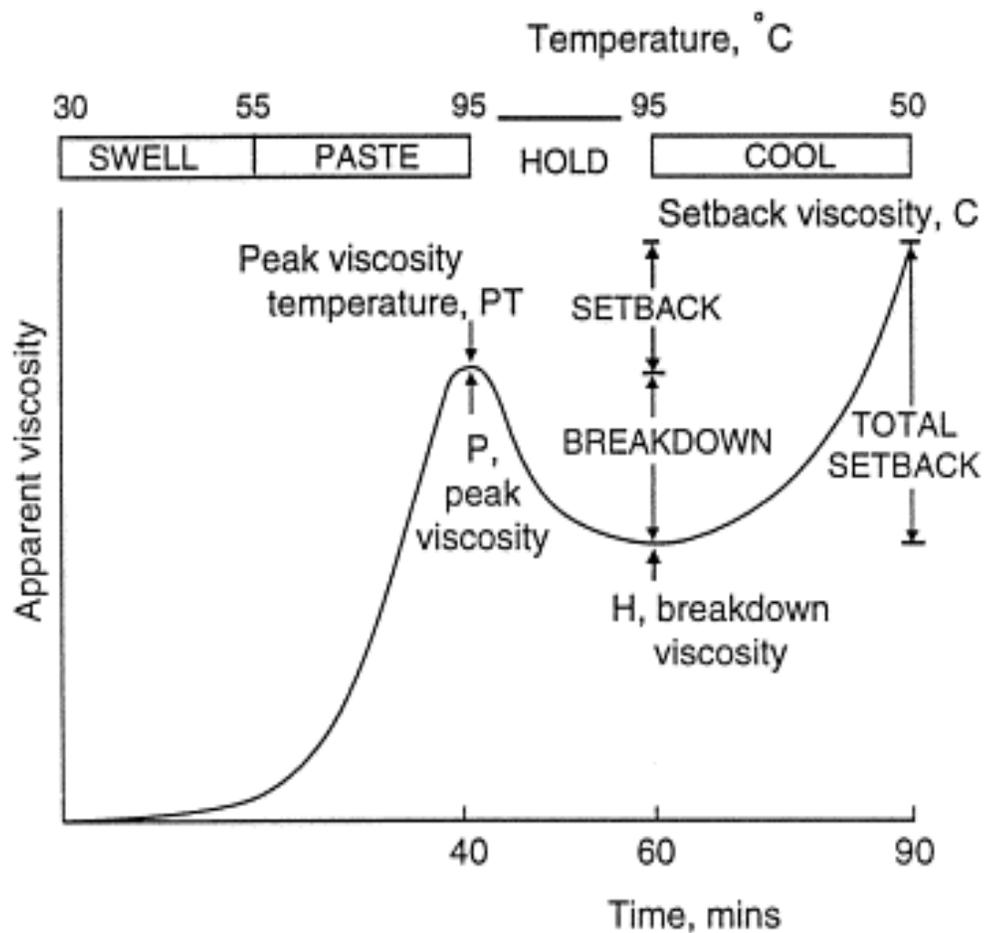


Figura 6. Amilograma de los principales cambios fisicoquímicos que experimenta el almidón de maíz (Dengate, 1984).

2.3 HARINA

2.3.1 Proceso industrial para obtención de harina

La harina es considerada, desde el punto de vista fisicoquímico, como una matriz compuesta principalmente por fracciones de endospermo, germen, pericarpio (Fernández-Muñoz, 2002), siendo el almidón el principal componente que experimenta una serie de cambios durante el tratamiento térmico alcalino que le proporcionan las características finales a las tortillas.

El origen de las harinas nixtamalizadas data desde 1949 y actualmente suministra 34% de las tortillas en el mercado mexicano. La industria de la tortilla se ubica en el quinto lugar en el mercado de los alimentos en México con una producción estimada de 14 millones de toneladas y 28 mil millones de dólares en ventas (Figuroa *et al.*, 2011). En México existen aproximadamente 51,000 molinos de nixtamal y tortillerías, donde el 48% corresponde a negocios que se dedican a la molienda de nixtamal, 28% a molienda y elaboración de tortillas y 24% elaboración de tortillas (INEGI, 1998).

En México se manufacturan en promedio 3.0 millones de toneladas de harina nixtamalizada, de las cuales MASECA procesa aproximadamente 1.9 millones de toneladas de maíz. La producción a nivel industrial es una adaptación del proceso tradicional de nixtamalización (Deschamps, 1985).

El consumo de harinas nixtamalizadas se ha incrementado en los últimos años (consumo *per capita* de harina nixtamalizada o de tortillas del 37 y 58 kg/año respectivamente) debido a las múltiples ventajas que se tiene al utilizar este producto como el agua y una mezcladora para formar una masa que puede fácilmente transformarse en una gran variedad de productos (tortillas, botanas, tamales), requiriendo sólo unos minutos para su elaboración. A diferencia de emplear el grano como materia prima para la elaboración de producto, pues esto

significa realizar el cocimiento del grano bajo condiciones térmico-alcálinas donde se requiere un mayor consumo de energía, mano de obra, tiempo de proceso y la generación de residuos contaminantes durante el proceso (nejayote o agua de cocimiento).

El nejayote se considera como uno de los efluentes más difíciles de tratar debido a su alto pH y demanda biológica o química de oxígeno. El empleo de harinas nixtamalizadas garantiza la reducción al mínimo la contaminación ambiental (Flores *et al.*, 2000).

2.3.2 Descripción del proceso industrial

El procedimiento para obtener harinas nixtamalizadas a nivel industrial consiste en seleccionar el maíz, someterlo a un proceso de limpieza y determinación de humedad. Una vez acondicionado, éste es almacenado para su posterior proceso. A nivel industrial, la nixtamalización puede realizarse por lotes o en continuo consiste en cocer los granos de maíz en aproximadamente 3 L de agua acondicionada con 1% de Cal a temperaturas de 70 a 95°C durante 40-55 min. En estas condiciones el grano de maíz alcanza una humedad del 36% aproximadamente; el grano cocido es lavado mediante agua a presión hasta eliminar todo el excedente, posteriormente el proceso pasa a la molienda hasta obtener una masa, la cual se seca y se muele hasta generar una harina de partícula fina.

La industria de la masa y la tortilla debe contar con la instalación necesaria para estas operaciones, ya que se estima que las industrias grandes procesan entre 30–80 toneladas de harina diarias. Para aumentar la capacidad de producción, estas empresas instalan varias unidades de producción paralelas. El rendimiento industrial de las harinas de maíz por cocción en cal fluctúa entre 86–

95 % de acuerdo a la calidad del maíz. Los rendimientos industriales son mayores que los obtenidos en las zonas rurales y las condiciones semi industriales, atribuidos al empleo de gomas en el proceso (Jaime, 2002).

La vida de anaquel de las harinas nixtamalizadas por este proceso se estima entre 4–6 meses en invierno y de 3 meses en verano. Por lo general, las harinas son colocadas a la venta al público por 15 días posteriores a su elaboración teniendo un periodo de anaquel de un mes (Del Valle, 1972).

En las últimas décadas se han desarrollado una serie de tecnologías alternativas que buscan mejorar los procesos del cocimiento alcalino del grano de maíz; los resultados hasta el momento no son satisfactorios por lo que la industrial de la masa y la tortilla no tienen más alternativa que el proceso de nixtamalización tradicional para la elaboración tanto de harinas como masa, materias primas esenciales para la elaboración de productos.

A pesar de los avances generados en la investigación durante varias décadas la industria de la masa y la tortilla tiene la necesidad de seguir desarrollando alternativas que mejoren la eficiencia del consumo de agua y energía a fin de no tener problemas en la calidad del producto y el costo del producto final.

2.3.3 Factores nutrimentales limitantes

Los análisis químicos de la harina nixtamalizada del maíz y los resultados de estudios de alimentación en animales y en el hombre, han permitido llegar a la conclusión de que su valor nutritivo sufre de deficiencia en nutrientes que podrían eliminarse. Debido a que la dieta es pobre nutrimentalmente, Se han hecho esfuerzos con el fin de hacer de la tortilla un alimento más nutritivo, agregando los

nutrientes que le hacen falta (Figuroa *et al.*, 1999a; Figuroa *et al.*, 2001b; Figuroa *et al.*, 2003a; Figuroa *et al.*, 2008a).

Las razones son de logística ya que mucha población todavía procesa su maíz a nivel doméstico, así como también la aceptabilidad ya que se le puede alterar el sabor, la textura, el color y olor de la tortilla y otros alimentos derivados de ella. Además de lo anterior, otro factor importante es el costo, ya que todos los aditivos nutrimentales son más costosos que el maíz y por lo general no son de producción nacional, por lo cual se propuso el uso de pasta de soya desgrasada y cocida para la fortificación de tortilla de nixtamal (Figuroa *et al.*, 1999a; Figuroa *et al.*, 2001b; Figuroa *et al.*, 2003a; Figuroa *et al.*, 2008a)

2.4. LA TORTILLA

La palabra tortilla (llamada *tlaxcalli* por los indígenas nahuas) se españolizó como diminutivo de torta (pan de maíz), según las crónicas de Fray Bernardino de Sahagún y de Bernal Díaz del Castillo (Figuroa *et al.*, 1994). La tortilla también se define como pan plano sin levadura (Durán, 1996). La tortilla constituye el alimento más característico e importante de México, y algunos países de Centroamérica.

Este producto alimenticio puede clasificarse “como un pan aplanado, con apariencia de disco delgado, elaborado de masa, con 160 a 250 mm de diámetro y uno a 2 mm de grueso” (Figuroa *et al.*, 2000), aunque puede haber otras formas y otros tamaños, como las llamadas *tlayudas* de Oaxaca, que son mucho más grandes y delgadas (Figuroa *et al.*, 2008a).

La historia de la tortilla se remonta al origen de nuestras raíces indígenas, y las etapas básicas para la preparación de tortillas han permanecido inalteradas desde aquellas épocas (Figuroa y González, 2001).

En la actualidad, el consumo de la tortilla se ha extendido hacia los Estados Unidos, Europa y Asia. La tortilla se emplea como producto básico para la elaboración de innumerables alimentos tradicionales, como son botanas, totopos, tacos, tostadas, enchiladas y nachos, entre muchos otros.

En el Instituto Nacional de la Nutrición Salvador Zubirán (Muñoz y Chávez, 1998) se demostró la importancia de la tortilla como un alimento mayoritario (65%) en la dieta de los mexicanos (Figura 7).

La industria de la tortilla maneja un quinto del mercado global mexicano, con ventas anuales de unos 14,000 millones de dólares. Alrededor de 22.8 % de las tortillas se elabora con harina nixtamalizada instantánea, y el resto con masa producida en molinos de nixtamal (36.7 %) para venta, o nixtamal tradicional (40.5 %) para autoconsumo en zonas rurales (Figuroa *et al.*, 1994). La tortilla es un alimento que tiene un crecimiento en nuestro país, con un consumo anual de 14 millones de toneladas de tortillas, aproximadamente.

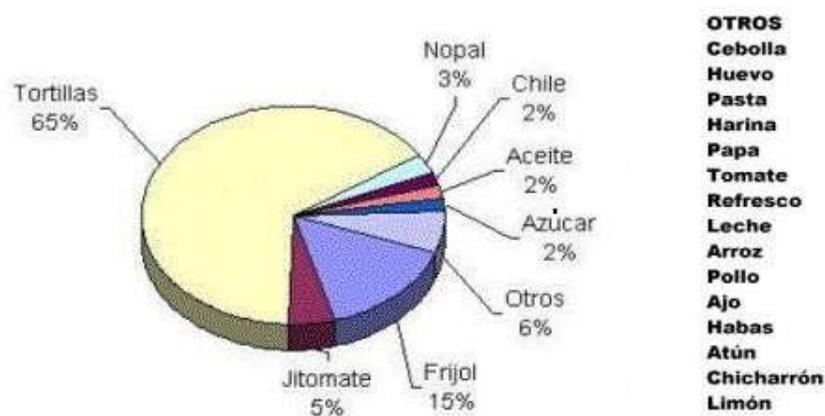


Figura 7. Consumo de alimentos en la dieta rural. (Figuroa *et al.*, 2008b)

En términos de porcentajes, la tortilla aporta 65% y el frijol 15% de la dieta rural en el estado de Querétaro (Figuroa *et al.*, 2001a; Figuroa *et al.*, 2008b),

datos semejantes fueron presentados por Bressani (1972) sobre la dieta de niños de Guatemala, que indicaron consumos de 72 y 8% de maíz y frijol, respectivamente. Este alimento étnico es el de mayor demanda en el país con un consumo anual aproximado de 12 millones de toneladas de tortillas. En México, la tortilla representa un excelente vehículo para incrementar la calidad nutricional de la dieta ya que es el producto más consumido por la población mexicana, además es uno de los alimentos de menor costo (Figueroa *et al.*, 1999c).

III. OBJETIVO

OBJETIVO GENERAL

Evaluar las propiedades fisicoquímicas y nutraceuticas de harina y tortilla elaboradas mediante un proceso de nixtamalización ecológica y comparación con los datos del proceso tradicional de nixtamalización.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar la textura (fuerza) en masa y tortilla de distintos tipos de maíces pigmentados en función del tratamiento de nixtamalización.

Caracterización fisicoquímica y nutraceutica de los granos de maíz

Evaluar las pérdidas de fenoles, antocianinas, y actividad antioxidante en harinas y tortillas durante la nixtamalización ecológica y tradicional.

Determinar la calidad en la harina y tortilla

Comparar los efectos del pH sobre los parámetros de color en productos nixtamalizados.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 UBICACIÓN DEL SITIO EXPERIMENTAL

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el laboratorio de Investigación de Materiales Bio-orgánicos, localizado en las instalaciones del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV) Unidad Querétaro.

4.2 MATERIA BIOLÓGICO

Los maíces que se utilizó para la evaluación del proceso de nixtamalización ecológica son los que se indican a continuación:

Variedad	Lugar	Tipo
Blanco	Rancho de la palma	Híbrido
Amarillo	Edo de México	Criollo
Colorado	Huimilpan	Criollo
Negro	Huimilpan	Criollo

Como se observa en el cuadro anterior, se evaluaron cinco tipos de maíz, el maíz blanco comercial, híbrido; mientras que los otros 4 maíces de color amarillo, colorado y dos maíces negros son criollos (año de cosecha 2007).

4.3. ETAPAS DEL DESARROLLO EXPERIMENTAL

En el Cuadro 7 se observa las etapas a desarrolladas en el experimento. La etapa uno constó de la caracterización de la materia prima (grano de maíz), la

segunda etapa fue la elaboración y caracterización de la tortilla; y la última fue la elaboración de la tortilla y su caracterización.

Cuadro 7. Determinaciones realizadas en cada etapa del desarrollo experimental

Etapa 1. Caracterización del grano de maíz	Etapa 2. Elaboración y caracterización de harina	Etapa 3. Elaboración y caracterización de tortilla
<ul style="list-style-type: none"> •Fenoles totales •Compuestos antioxidantes •Antocianinas •Humedad •Color •Dureza del grano 	<ul style="list-style-type: none"> •Fenoles totales •Compuestos antioxidantes •Antocianinas •Viscosidad •Humedad •Color •Índice de solubilidad en agua •Índice de absorción de agua •pH •Materia seca perdida 	<ul style="list-style-type: none"> •Fenoles totales •Compuestos antioxidantes •Antocianinas •Humedad •Color •Peso tortilla cruda •Peso tortilla cocida •Rendimiento •Propiedades mecánicas

4.4. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

4.4.1 Proceso de nixtamalización tradicional del grano

Para la preparación de la harina con un proceso tradicional (NT) se preparó de cada muestra 1 kg de granos de maíz, que se cocieron en una solución de hidróxido de calcio (grado alimenticio, Fermont, Monterrey, NL, México) al 1% en relación al peso de maíz. La cantidad de agua se encontró en una relación 2:1(v/w) en base al peso del grano. El maíz se adicionó al reservorio y se calentó hasta alcanzar la temperatura de 92°C. Se dejó reposar durante 16 h para obtener el nixtamal, se lavó dos veces con agua destilada en una relación 2:1 (v/w)

mezclando los granos en el agua de lavado durante 1 minuto para retirar exceso de cal y se molió para obtener la masa.

4.4.2 Proceso de nixtamalización ecológico de grano

Las harinas ecológicas (NE) se prepararon usando un nuevo método en el cual se modificó el método tradicional. En la NT se remplazo el hidróxido de sodio con sales de calcio (sulfato de calcio, carbonato de calcio y cloruro de calcio) al 1% en relación al peso de maíz. Las harinas ecológicas se preparó de acuerdo a la Patente mexicana 292391 (Figueroa *et al.*, 2011).

Después de la etapa de cocción a 92°C, el maíz se dejó reposar durante 16 h. El licor de cocción o nejayote se drenó y enjuagó para moler en un molino de piedras (FUMASA, M100, Querétaro) hasta obtener la masa.

4.4.3. Procesos de obtención de las harinas

En la Figura 8 se observa el proceso utilizado. Una vez procesadas las muestras se secaron en un secador tipo flash (Secador Flash Tecnología de CINVESTAV Querétaro, con capacidad de 50 kg/h), similar al que se usa en la industria de las harinas nixtamalizadas, a $270 \pm 58^\circ\text{C}$ de temperatura de la cámara, con un tiempo de residencia de 10 ± 5 s. Las harinas secas se molieron en un molino Pulvex (Pulvex-200, cabezal de martillo de 0,5 mm, Pulvex, S.A. de C.V., México, D.F.), con la finalidad de obtener el tamaño de partícula apropiado para harinas de maíz nixtamalizadas, según las normas mexicanas para la elaboración de tortillas (NMX-F-046-1980, 1980). Las muestras de harina procesadas se almacenaron en bolsas de plástico en refrigeración para su posterior análisis (Gaytán *et al.*, 2012).



Figura 8. Elaboración de la harina de maíz

4.4.4 Proceso de elaboración de tortilla

Con la masa obtenida se troquelaron tortillas en una tortilladora manual de rodillos (Tortilladoras González, SA de CV. México), con un grosor de 1.2 mm y un diámetro 12.5 cm. Las tortillas se sometieron a cocción utilizando un comal metálico, a una temperatura de 270 ± 10.8 °C con tiempos de cocimiento de 17 s por un lado, 50 s para la formación de la capa gruesa y 17 s para permitir el inflado. Se elaboraron 10 tortillas de cada tratamiento y se realizó por triplicado (Gaytán *et al.*, 2012).

4.5. MÉTODOS

4.5.1 Cuantificación de los polifenoles totales

La extracción de fenoles solubles (libres) se realizó según lo descrito por Bakan *et al.* (2003) y para fenoles ligados se utilizó la metodología descrita por Suzuki *et al.* (1982), en donde la extracción se preparó con 1.5 g de muestra (grano, harina o tortilla) y 30 mL de metanol al 80% por 60 min en agitación a temperatura ambiente. La mezcla se centrifugo a 1345 g por 10 min en una centrifugadora (HermLe Z513K). El sobrenadante se separó del sedimento y a este último se agregó metanol al 80% para una segunda extracción. La cuantificación se realizó mediante el método de Folin y Ciocalteau modificado por Singleton y Rossi (1965). Se utilizó el ácido ferúlico y ácido gálico como estándar. Los resultados se expresaron en g de ácido ferúlico/ Kg y mg de ácido ferúlico/Kg de muestra en base seca. Los fenoles totales fueron la suma de los fenoles libres y ligados.

4.5.2 Medición de la actividad antioxidante (DPPH)

Se utilizaron los extractos de fenoles solubles para la cuantificación de actividad antioxidante con el método de DPPH desarrollado por Brand-Williams *et al.* (1995), y modificado por Kim *et al.* (2002). Los resultados se expresaron en mg de ácido ascórbico/100 g base seca.

Procedimiento

Se pesaron 25 mg de ácido ascórbico y se aforaron a 100 ml con MeOH al 80%. Se forró el matraz y el vaso donde se va a pesar con papel aluminio. Se preparó una muestra stock (curva que se realizara con ácido ascórbico), colocándola en viales tomando las siguientes cantidades. Se pesaron 3.9 mg del

reactivo DPPH (2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl). Es importante evitar el contacto con la luz con el reactivo. Se aforó a 100 ml con MeOH al 80%, y se cubrió el matraz y el vaso de precipitado donde pasó la solución con el papel aluminio. Se sonicó por 10 min.

Concentraciones para curva estándar de Actividad antioxidante

Concentración (mg/100 ml)	Stock (ml)	MeOH al 80% (ml)
25	2.000	0
21	1.680	0.320
17	1.360	0.640
12.5	1.000	1.000
9	0.720	1.280
5	0.400	1.600
0	0	2.000

Se prepararon las celdas colocando 100 µl de los viales con las diluciones de la muestra stock para la curva estándar, así como del extracto obtenido de la muestra. Se colocaron 2.900 ml de DPPH en las celdas, haciendo este paso en la oscuridad total. Se dejó reposar por 30 min contando a partir de la primera muestra a la que se le agregara DPPH. Se colocó en el espectrofotómetro el blanco (MeOH al 80%) y comenzaron a medir las muestras a 517 nm.

4.5.3 Antocianinas totales

La extracción de antocianinas se realizó con metanol acidificado con HCl (1N) al 1%. Se utilizó 1 g de harina de muestra (grano, harina o tortilla) se le agregó de metanol acidificado por 60 min. La mezcla se centrifugó a 2500 g durante 10 min. Se separó el sobrenadante.

Para la cuantificación se tomó una alícuota de 1.5 mL del extracto y se colocó en unas celdas para determinar su absorbancia en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 540 nm.

El contenido total de antocianinas se calculó con la ecuación propuesta por Abdel-Aal y Hucl (1999):

$$A = ((A_{535} - A_{700}) / \xi) \times (V_e / 1000) \times PM \times (1 / Ph) \times 10^6 \quad (2)$$

Donde: A es la concentración de antocianinas, Ab es la absorbancia del extracto, ξ es el coeficiente de extinción de la cianidina 3-glucósido (25 965 cm⁻¹ mol⁻¹), Ve es el volumen total del extracto, PM es el peso molecular de la cianidina 3-glucósido (449.2), y Ph es el peso total de la harina de cada muestra. Se reportó como mg de cianidina 3 glucósido/ 100 g base seca.

4.5.4 Humedad

Para obtener la humedad se tomó una muestra representativa del grano de maíz, harina o tortilla previamente homogenizado, limpio y someterlo a un proceso de molienda fina con un molino de café tipo 4041 modelo KSM-2 marca Braun. El porcentaje de humedad del grano se realizó de acuerdo con el método oficial 44 –15 A de AACC (1983).

4.5.6 Viscosidad

La determinación de la viscosidad se realizó mediante el uso de un viscosímetro *Rapid Visco Analyser* modelo RVA-4 (Newpotr Scientific PTY Ltd., Sydney, Australia). La muestra fue de 4g ajustando el porcentaje de humedad a 14 mediante los siguientes algoritmos.

$$S = \frac{86 \times A}{100 - H_m} \quad W = 25 + (A - H_m)$$

Donde:

A = Peso de la muestra analizada

H_m = Humedad de la muestra analizada

W = Cantidad de agua que se requiere para obtener 14% de humedad

El ajuste de humedad se realizó mediante el método No 14-15 de AACC (1983). Una vez realizados los cálculos de la cantidad de harina y agua requeridos para el análisis, las muestras se pesaron en recipientes cilíndricos de aluminio previamente tarados, a los cuales se les adicionó mediante una pipeta volumétrica la cantidad necesaria de agua para alcanzar 14 % de humedad, finalmente se colocó un agitador de plástico.

En la determinación de la viscosidad se empleó el siguiente perfil de tiempo y temperatura: la homogenización de la muestra se realizó en un tiempo de 10 s a 960 rpm, el tiempo de calentamiento de la muestra de 50 °C a 90 °C fue de 300 s, posteriormente se mantuvo la temperatura constante a 90 °C durante 300 s, finalmente la muestra se enfrió hasta alcanzar nuevamente los 50 °C en un tiempo de 360 s. El tiempo total empleado el cada una de las muestra fue de 16 min, donde la velocidad de agitación permaneció constante a 160 rpm. Los resultados de la viscosidad de las muestra fueron gráficosados.

4.5.7 Índice de solubilidad en agua (ISA) e índice de absorción de agua (IAA)

Este análisis se realizó por triplicado usando el método reportado por Anderson *et al.* (1982), que permite cuantificar la cantidad de agua incorporada a la harina y el porcentaje de sólidos solubles disueltos en agua a una temperatura de 30 °C.

El método consistió en colocar 2.5 g de muestra de harina en tubos de centrífuga previamente tarados, se adicionó 40 mL de agua destilada, posteriormente los tubos se colocan en baño maría con agitación durante 1800 s a temperatura de 30 °C, finalmente se colocaron en una centrífuga a una velocidad de 3000 g durante 600 s.

Para la determinación del ISA se tomaron 10mL del sobrenadante de cada una de las muestras y se transfirieron a cápsulas previamente taradas, éstas se colocaran en una estufa a 105 °C hasta peso constante, el resto del sobrenadante se midió para obtener el volumen total del líquido. El ISA se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$ISA = \frac{A \times \left(\frac{B}{10}\right)}{C} \times (100)$$

Donde: A = sólidos disueltos en 10 mL del sobrenadante, B = mL totales del sobrenadante, C = peso de la muestra seca.

Para la determinación del IAA se pesó el tubo con la muestra de harina después de haber retirado todo el sobrenadante y por diferencia de pesos se obtuvo el valor de los gramos de agua absorbidos en la muestra de harina. El IAA se determinó mediante la siguiente ecuación.

$$IAA = \frac{\text{Peso del sedimento}}{\text{Peso de la muestra}}$$

4.5.8 pH

Se calculó según el método 981.12 de la AOAC. (1990). El pH se determinó por triplicado en cada muestra utilizando un potenciómetro digital (HANNA Instruments pH 211) por inmersión directa del electrodo previamente calibrado.

4.5.9 Pérdida de materia seca

Al terminar de realizar la nixtamalización y el tiempo de reposo, se separaron los granos cocidos, los cuales se enjuagaron con 200 mL de agua sobre un colador, recuperando el agua de enjuague, vertiéndola sobre la misma agua residual del cocimiento, se colocó en un vaso de precipitado de 600 mL. El vaso conteniendo el agua de cocimiento y enjuague se expusieron a ebullición hasta tener un volumen de agua mínimo, donde todavía se podrían apreciar los sólidos en suspensión en la solución y es colocado en la estufa de circulación de aire, manteniéndola a 90°C, hasta evaporar todo el contenido de humedad. El vaso de 600 mL, fue colocado en el desecador de vidrio para enfriarlo, posteriormente se pesaron en la balanza analítica.

$$\% \text{ de mat. seca} = \frac{\text{Peso del vaso con materia seca (g)} - \text{peso del vaso (g)}}{\text{Peso de la muestra de maíz a nixtamalizarse}} \times 100$$

4.6 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un diseño experimental por bloques completamente aleatorizados, donde los tratamientos fueron las diferentes sales de calcio (hidróxido, carbonato, cloruro y sulfato) que se usaron para la nixtamalización, se designaron los tipos de maíz (blanco, amarillo, rojo y negro) como bloques, con tres repeticiones. La unidad experimental consistió en 1 kg de maíz para cada repetición. Para la comparación de medias se utilizó el método de Tukey usando el paquete computacional JMP.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 CARACTERIZACIÓN DEL GRANO DE MAÍZ

La calidad del grano de maíz está asociada tanto con su constitución física, que determina la textura y dureza, como con su composición química, que define el valor nutricional y las propiedades tecnológicas. La calidad del grano realizada en este estudio, medida por la distribución de las fracciones anatómicas del grano, se presenta en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Distribución porcentual de la fracción anatómica del grano.

Maíz	Distribución de fracciones anatómicas del grano (%)		
	Pericarpio	Germen	Endospermo
Blanco	5.01	9.76	85.23
Amarillo	5.59	13.16	81.24
Rojo	6.03	11.92	82.05
Negro	5.30	10.26	84.43

Recordemos que el grano maduro de maíz está integrado por distintos tejidos que conforman: el germen o embrión (9.76-13.16 %), responsable de formar una futura nueva planta; el endospermo (81.24-85.23 %), estructura de almacenamiento del grano que constituye su principal reserva energética, y el pericarpio o cubierta del grano (5.01 a 6.03 %), que protege a la semilla de la entrada de hongos y bacterias antes y después de la siembra ,y por lo anterior los datos obtenidos de los diferentes tipos de maíz se encuentran en lo encontrado en bibliografía (Bressani 1959, García-Codesa *et al.*,1977, FAO 1996; Watson 2003).

Se observa que el maíz rojo presentó una tendencia a mayor porcentaje de pericarpio y menor porcentaje de endospermo (6.03 y 82.05) que el maíz

blanco (5.01 y 85.23) y negro (5.3 y 84.41). Esto implica que la muestra del maíz rojo puede sufrir mayores pérdidas de materia seca durante la cocción en la nixtamalización tradicional. Las muestras de maíces de las que se espera un mejor rendimiento son el maíz blanco y el maíz negro, ya que presenta un bajo porcentaje de pericarpio y un mayor porcentaje de endospermo. Con respecto al germen, el maíz amarillo, presentó el mayor porcentaje del mismo. En el Cuadro 9 se presentan las características físicas como humedad, dureza de los granos.

Cuadro 9. Características físicas de los granos

Muestra	Humedad	Dureza
	(%)	(Kg)
Blanco	10.98 ± 0.5 b	14.05 ± 0.76 a
Amarillo	11.97 ± 0.6 a	15.78 ± 1.44 a
Rojo	12.05 ± 0.6 a	12.42 ± 0.86 a
Negro	11.74 ± 0.6 a	12.86 ± 4.47 a

Medias con las mismas letras en la misma columna no indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Se observan diferencias significativas en el porcentaje de humedad. Los valores de la humedad van de 10.98-12.05 % y se encuentra dentro de lo reportado como apropiados para el procesamiento de maíz para nixtamal por Norma de Comercialización de Maíz que indica un valor máx. de 14.0% (NMX-FF_034/1-SCFI-2002).

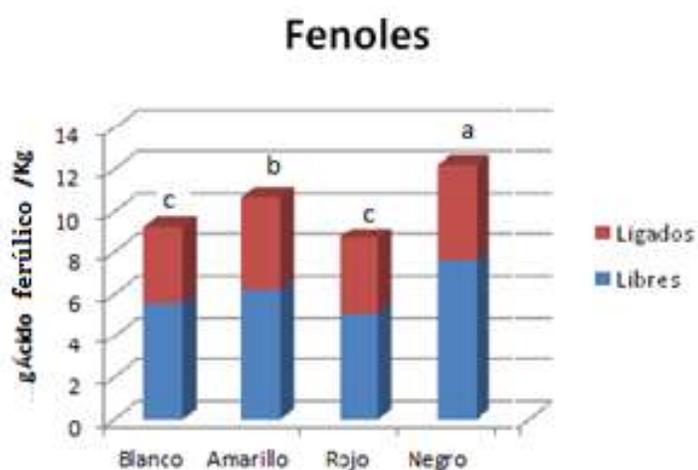
La dureza del grano es la resistencia que posee a la acción mecánica o al quebrado durante la cosecha y la poscosecha. Esa resistencia, que determina la calidad que posee el grano para su uso y conservación, se relaciona en forma directa con la dureza del endospermo, que a su vez, se debe a la relación entre los endospermos vitreó y harinoso, y en menor medida, a la compactación de los

componentes celulares, al grosor de la matriz proteica que rodea a los gránulos de almidón, y al grosor del pericarpio (Contreras, 2009).

El cuadro 9 muestra que la dureza de los granos de maíz tienen valores de 12.42 a 15.78 kg donde no se encontró diferencia significativa ($\alpha < 0.05$).

5.1.1 Compuestos nutraceuticos

Los alimentos funcionales, aparte de su papel nutritivo básico desde el punto de vista material y energético, son capaces de proporcionar un beneficio para la salud. En la Figura 9 se muestra el contenido total de compuestos fenólicos en el grano de maíz, en donde se encuentran los fenoles libres, ligados y totales.



Medias con las mismas letras no indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Figura 9. Compuestos fenólicos (libres, ligados y totales) en grano de maíces blanco y pigmentado (amarillo, rojo y negro).

En la Figura 9 se observa que los compuestos ligados que el maíz negro es el que contiene más compuestos fenólicos seguido por el amarillo.

En el Cuadro 10 se muestra el contenido de fenoles en g/kg ácido ferúlico y g/kg ácido gálico, donde se muestran los valores encontrados para fenoles libres, ligados y totales.

Cuadro 10. Contenido de fenoles en g/kg ácido ferúlico y g/kg ácido gálico

Maíz	Fenoles (g/kg ácido ferúlico)			Fenoles (g/kg ácido gálico)		
	Libres	Ligados	Total	Libres	Ligados	Totales
Blanco	5.59 c	3.70 c	9.28 c	1.97 c	1.34 c	3.31 c
Amarillo	6.23 b	4.44 b	10.67 b	2.18 b	1.59 b	3.77 b
Rojo	5.09 c	3.59 c	8.68 c	1.81 c	1.31 c	3.12 c
Negro	7.63 a	4.57 a	12.20 a	2.64 a	1.63 a	4.27 a

Medias con las mismas letras en la misma columna no indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Se encontró en la cuantificación de los compuestos fenólicos diferencias estadísticas ($\alpha < 0.05$), donde los valores para los fenoles libres son de 5.09 – 7.63 de ácido ferúlico/kg, para los fenoles ligados se encontraron en el intervalo de 3.69 – 4.57 g de ácido ferúlico/kg mientras los totales son de 8.68-12.20 g de ácido ferúlico/kg. El maíz negro obtuvo los valores más altos; mientras que el maíz blanco y el maíz rojo obtuvieron los valores más bajos de compuestos fenólicos. Mientras los valores en g de ácido gálico/Kg son los siguientes: fenoles libres de 1.81 – 264 g de ácido gálico/Kg, fenoles ligados con un intervalo de 1.31-1.63 g de ácido gálico/Kg y los fenoles totales con valores de 3.12-4.27 g de ácido gálico/Kg.

De la Parra *et al.* (2007) obtuvieron para diferentes maíces (blanco, amarillo, rojo, azul y de alto carotenoides) diferencias en el contenido de fenoles libres, se encontraron valores de 5.64-8.56 g/kg de ácido gálico, mientras que para los fenoles ligados fueron de 36.13-45.58 g/kg de ácido gálico y para los fenoles

totales fueron de 41.78-53.78 g/kg de ácido gálico. También se determinó el contenido de ácido ferúlico en donde en los fenoles ligados fueron de 1.01-1.50 g/kg de ácido ferúlico mientras para los fenoles totales fueron de 1.03 – 1.53 g/kg de ácido ferúlico.

López Martínez *et al.* (2009) encontraron entre 18 fenotipos de maíz de México rangos de fenoles totales de 1.70-34.00 g/kg. Dichos autores, examinaron varios grupos de fenotipos de maíces pigmentados, los cuales fueron los que obtuvieron valores más altos en la cuantificación de compuestos fenólicos totales (expresado en g/kg de harina) en donde el maíz púrpura 4.65-34.00, negro 4.57 – 5.65, rojo 2.83-6.17. Para los fenoles ligados se obtuvieron valores de 1.36 – 27.20 g/kg de harina, mientras que los niveles de fenólicos libres varió entre 0.33-6.80 g/kg. Dichos rangos concuerdan con los valores encontrados en la presente investigación.

Gutiérrez Uribe *et al.* (2010) encontraron valores de 5.64-6.89 g de ácido gálico /kg de para fenoles libre, y para fenoles ligados 1.18-1.69 g de ácido gálico / kg para los maíces blanco, amarillo, rojo y azul.

Por lo anterior podemos concluir que los datos obtenidos en esta investigación se encuentran en los intervalos obtenidos por López Martínez *et al.* (2009) y Gutiérrez Uribe *et al.* (2010); mientras los datos obtenidos por De la Parra *et al.* (2007) fueron más bajos en la cuantificación con ácido gálico y más altos en la cuantificación de ácido ferúlico, posiblemente por la extracción y cuantificación que estos autores utilizaron.

En el Cuadro 11 se tiene el contenido de las antocianinas de los diferentes maíces pigmentados.

Cuadro 11. Contenido de antocianinas en grano de maíz

Maíz	Antocianinas mg cianidina 3-glucósido / kg
Blanco	946.14 ± 10 c
Amarillo	1692.15 ± 80 c
Rojo	2550.98 ± 533 b
Negro	4514.76 ± 654 a

Medias con las mismas letras en la misma columna no indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Respecto al contenido de antocianinas se puede observar que el maíz negro obtuvo el mayor contenido de antocianinas (4,514.76 mg cianidina 3 glucósido/kg) seguido del maíz rojo (2,550.98 mg cianidina 3-glucósido/kg). Se ha reportado que los maíces pigmentados rojo, azules y negros, presentan una alta concentración de antocianinas, particularmente cianidina 3- glucósido (Abdel-Aal y Hucl, 1999). Se esperaba que los maíces blancos no presentaran lectura de antocianinas en 535 nm con el método utilizado. Los valores que se encontraron en bibliografía son muy variados, para el maíz blanco y amarillo, ya que se reportan valores de 57-133 mg cianidina 3-glucósido/kg (De la Parra *et al.*, 2007) y para el maíz rojo van de 970-3780 mg cianidina 3-glucósido/kg (De la Parra *et al.*, 2007, Trujillo *et al.*, 2010). López Martínez y *García Galindo*(2009) reporto valores de 15.4 mg/Kg y 33.3 mg/Kg para maíz blanco y maíz amarillo respectivamente. Los datos obtenidos en el trabajo mostraron un mayor contenido de antocianinas en los maíces blanco y amarillo, mientras para los maíces pigmentados los datos se encontraron en el intervalo de bibliografía. *Mendoza et al.* (2012) encontraron valores de 1744-9630 mg cianidina 3-glucósido/kg, los valores encontrados en este trabajo están dentro del rango.

En el Cuadro 12 se presenta el contenido de la actividad antioxidante medido por el método del DPPH y el ABTS de los diferentes maíces.

Cuadro 12. Contenido de actividad antioxidante en grano de maíz.

Maíz	Actividad Antioxidante (mg ácido ascórbico /kg)			
	DPPH		ABTS	
Blanco	2736.4 ± 7.1	b	1207.0 ± 12	b
Amarillo	2459.6 ± 22.4	c	1369.7 ± 22	ab
Rojo	2974.1 ± 18.0	a	1194.4 ± 10	c
Negro	2316.5 ± 35.4	d	1440.8 ± 63	a

Medias con las mismas letras en la misma columna no indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Respecto a la actividad antioxidante de granos de maíz se encontraron diferencias estadísticas significativas ($\alpha < 0.05$) entre las variedades de maíz. Para los datos determinados por el método de DPPH, el maíz rojo obtuvo el valor más alto ($2,974 \pm 18$ mg ácido ascórbico/kg) seguido de negro ($2,316.5$ mg ácido ascórbico/kg). Estos resultados han sido relacionados a la alta concentración de antocianinas, particularmente cianidina 3- glucósido en maíz rojo (Abdel-Aal y Hucl, 1999). En general, se ha reportado que maíces pigmentados más oscuros presentan una más alta actividad antioxidante (De la Parra *et al.*, 2007, López-Martínez *et al.*, 2009; Zilić *et al.*, 2012), aunque algunas referencias reportan una alta actividad antioxidante en variedades amarillas (López-Martínez *et al.*, 2009). De la Parra *et al.* (2007) encontraron valores de 1,091-1,373 mg de ácido ascórbico/kg (maíces blancos y pigmentados), que son valores más bajos a los encontrados en este trabajo. Factores como el grado de madurez y genotipo influyen la capacidad antioxidante del maíz, por esta razón se tiene que tomar en cuenta estos factores para la selección de la materia prima.

La capacidad antioxidante en grano de maíz estimada con el método ABTS fue menos consistente de acuerdo a lo esperado para los maíces

pigmentados (Cuadro 12), por lo que en el presente estudio los datos se discutirán como actividad antioxidante por el método DPPH.

5.2 CARACTERIZACIÓN DEL NEJAYOTE

Gran parte de los compuestos del grano se pierden o degrada durante el procesamiento ya sea en el cocimiento o el lavado del nixtamal. El pH tiene un efecto en la estructura y estabilidad de compuestos como las antocianinas, las antocianinas son más estables en un medio ácido que en un medio neutro o alcalino. La liberación del ácido ferúlico contenido en la fracción hemicelulósica y celulósica del pericarpio a una fase acuosa se realiza a través de procesos químicos. Las membranas celulares de la planta se exponen a pHs extremos para romper ciertas uniones dentro la pared celular (Sindhu *et al.*, 2004). La hidrólisis alcalina rompe el enlace éster que liga los ácidos ferúlicos a la pared celular. Por otra parte el tratamiento ácido rompe enlaces glucosídicos y solubiliza los azúcares, pero deja los enlaces éster generalmente intactos. Estos tratamientos químicos, que requieren de altas concentraciones de ácido o base, ocasionan modificaciones en otros componentes y traen a menudo cambios químicos indeseados alrededor de la membrana celular de la planta. La importancia de la pérdida de materia seca es la relación con el rendimiento en harina.

En el Cuadro 13 se muestran las diferencias del pH y la pérdida de materia seca en el nejayote (líquido de cocimiento) por efecto del hidróxido de calcio y el uso de sales calcio.

El pH determinado en la nixtamalización tradicional (11.66 ± 0.24), se encontró en el intervalo reportado por Sánchez González (2008) con un valor máximo de pH= 12. Como se mencionó con anterioridad, este valor demuestra la gravedad del problema ecológico de la industria del maíz y la tortilla, que ubican al

proceso de nixtamalización como una de los cinco procesos industriales que contribuyen más a la contaminación del agua en México (Ortega *et al.*, 2006). El valor está relacionado con la cantidad de álcali adicionada al maíz durante la nixtamalización. Mientras que, los valores encontrados para los tratamientos ecológicos son los siguientes: para el carbonato de calcio los valores fueron de 7.215 ± 0.125 , para el cloruro de calcio 4.9 ± 0.13 y para el sulfato de calcio 4.3 ± 0.18 . Los valores fueron de neutros a básicos para la nixtamalización ecológica, esto ayuda a que el agua de lavado generada de la nixtamalización ecológica no dañe al medio ambiente y sean más fáciles reutilizarlos.

Cuadro 13. pH y pérdida de materia seca del nejayote

Maíz	Sal	pH del nejayote	Pérdida de materia seca* (%)
Blanco	Ca(OH) ₂	11.95 ± 0.02 a	7.25 ± 0.63 a
Blanco	CaCO ₃	7.28 ± 0.06 b	5.20 ± 0.20 b
Blanco	CaCl ₂	4.92 ± 0.01 c	2.19 ± 0.07 d
Blanco	CaSO ₄	4.27 ± 0.01 d	3.15 ± 0.03 c
Amarillo	Ca(OH) ₂	11.86 ± 0.05 a	5.28 ± 0.33 a
Amarillo	CaCO ₃	7.37 ± 0.01 b	1.05 ± 0.01 d
Amarillo	CaCl ₂	4.88 ± 0.02 c	2.72 ± 0.24 c
Amarillo	CaSO ₄	4.19 ± 0.01 d	3.41 ± 0.04 b
Rojo	Ca(OH) ₂	11.38 ± 0.15 a	6.99 ± 0.67 a
Rojo	CaCO ₃	7.04 ± 0.03 b	3.54 ± 0.01 c
Rojo	CaCl ₂	5.14 ± 0.01 c	3.24 ± 0.03 c
Rojo	CaSO ₄	4.56 ± 0.02 d	4.49 ± 0.12 b
Negro	Ca(OH) ₂	11.47 ± 0.04 a	4.41 ± 0.14 a
Negro	CaCO ₃	7.18 ± 0.02 b	2.51 ± 0.04 b
Negro	CaCl ₂	4.92 ± 0.01 c	2.38 ± 0.03 b
Negro	CaSO ₄	4.23 ± 0.01 d	2.50 ± 0.02 b

Medias con las mismas letras en la misma columna no indican diferencias significativas ($p < 0.05$). *Datos reportados en base seca.

Varios autores reportaron que las aguas residuales en nixtamalización tradicional el pH son muy alcalinas. Trejo *et al.* (1982) reportaron un rango de pH 10.5 a 11.2 con diferentes variedades de maíz; González-Martínez (1984) reportó pH 11.5 a 11.6; Ibarra Mendivil (2008) reportó un valor de pH de 11.0. Los valores de pH depende de la concentración de cal, la eliminación del exceso de cal después de cocer el maíz y la etapa de enjuagado que puede reducir el pH a aproximadamente 8.5. La presente investigación utiliza sales de calcio que no tienen que ser enjuagadas y el pH se mantiene neutral o ligeramente ácido. Valores de pH similares fueron reportados por Camechano *et al.*, 2012 utilizando diferentes variantes del proceso ecológico de nixtamalización. Según Maya-Cortés *et al.*, (2010), los valores de pH relativamente neutros con el uso de sales de calcio puede ser una ventaja dado las condiciones alcalinas fuertes que se producen con el proceso tradicional, que pueden provocar la formación de una capa de sales que obstruyen el paso de agua de las tuberías de drenaje así como el aumento de materia orgánica considerada como residuos costoso y problemas de eliminación de aguas residuales.

Un problema económico importante en la industria de la tortilla son las pérdidas de sólidos en el nejayote. El tratamiento de NT presenta una pérdida de sólidos secos muy superior a los tratamientos de nixtamalización ecológica: en NT (6.60 ± 2.46 %), mientras que para NE (cloruro de calcio 2.63 ± 0.61 %, carbonato de calcio 3.28 ± 2.24 % y sulfato de calcio 3.43 ± 1.06 %). Estas desviaciones tan altas pueden deberse a la composición de las fracciones de cada tipo de grano.

Campechano *et al.* (2012) reportó pérdidas de materia seca en el nejayote del proceso tradicional de 3.2%. Las pérdidas en el nejayote de las variantes ecológicas reportadas fueron de 1.2% a 1.4%; para el tratamiento con sales de calcio todos los valores se obtuvo diferencias significativas ($P < 0,05$) con respecto al proceso tradicional. Estos resultados indican el proceso de nixtamalización ecológica retiene el pericarpio y aumenta el rendimiento en las harinas.

Varios autores reportaron valores de 2.0% a 12.5% (Bedolla *et al.*, 1983; Gómez *et al.*, 1987; Pflugfelder *et al.*, 1988). Los rangos extremadamente amplios en los datos publicados puede ser una consecuencia de la intensidad del tratamiento térmico, tiempo de exposición a la temperatura de cocción de los granos del maíz, tiempos de reposo, número e intensidad de lavados y dureza o suavidad del grano.

5.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS HARINAS DE MAÍZ OBTENIDAS POR NIXTAMALIZACIÓN ECOLÓGICA Y TRADICIONAL.

En el presente estudio se empleó como control a la harina de maíz obtenida por NT. Es por eso importante indicar que las características de esta harina concuerden con los resultados reportados en la literatura (Flores *et al.* 2000; 2002; NMX-F- 046- S-1980 y NOM- 147-SSA1).

5.3.1 Caracterización física de las harinas

Humedad, Sólidos, CAAS, IAA e ISA de las harinas

En el Cuadro 14 se muestran los valores de la caracterización física de las harinas, las cuales son: humedad, capacidad de absorción de agua subjetiva (CAAS), índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad de agua (ISA).

Respecto a la humedad de las harinas se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos, con valores de 7.41 a 13.80. En general, los valores se encuentran debajo del límite máximo permitido por las normas oficiales mexicanas (NMX-F- 046- S-1980 y NOM- 147-SSA1), el cual es de 12%, a excepción del maíz negro con hidróxido de calcio y carbonato de calcio.

Cuadro 14. Características físicas de la harina obtenidas por NT y NE

Maíz	Sal	HH (%)		CAAS (mL agua/g)		IAA (g gel/g harina)		ISA (%)	
Blanco	Ca(OH) ₂	9.36 ±0.29	a	1.03 ±0.014	a	3.69 ± 0.013	a	1.61 ± 0.012	a
Blanco	CaCO ₃	9.91 ±0.93	a	1.07 ±0.007	a	3.20 ± 0.005	b	2.25 ± 0.016	b
Blanco	CaCl ₂	9.14 ±0.83	a	1.05 ±0.004	a	3.04 ± 0.013	b	1.19 ± 0.003	c
Blanco	CaSO ₄	9.78 ±0.66	a	1.05 ±0.006	a	3.19 ± 0.008	c	1.20 ± 0.016	c
Amarillo	Ca(OH) ₂	8.94 ±0.38	a	1.04 ±0.002	a	3.48 ± 0.015	b	1.29 ± 0.722	a
Amarillo	CaCO ₃	9.28 ±0.57	b	1.05 ±0.008	a	3.32 ± 0.010	c	1.95 ± 0.023	a
Amarillo	CaCl ₂	9.32 ±0.29	b	1.07 ±0.014	a	3.57 ± 0.015	a	1.83 ± 0.012	a
Amarillo	CaSO ₄	13.62 ±0.13	b	1.04 ±0.003	a	3.30 ± 0.005	c	1.42 ± 0.017	a
Rojo	Ca(OH) ₂	10.66 ±0.05	a	1.03 ±0.002	b	3.24 ± 0.016	a	1.26 ± 0.020	a
Rojo	CaCO ₃	11.59 ±0.14	b	1.03 ±0.002	b	3.16 ± 0.009	b	1.38 ± 0.007	c
Rojo	CaCl ₂	11.89 ±0.20	c	1.03 ±0.004	a	3.13 ± 0.011	b	3.64 ± 0.013	d
Rojo	CaSO ₄	8.32 ±0.26	d	1.05 ±0.004	a	2.80 ± 0.007	c	2.49 ± 0.012	b
Negro	Ca(OH) ₂	10.36 ±0.35	a	1.04 ±0.001	a	3.65 ± 0.002	a	1.31 ± 0.009	b
Negro	CaCO ₃	10.41 ±0.22	a	1.08 ±0.007	a	3.44 ± 0.012	b	3.11 ± 0.016	ab
Negro	CaCl ₂	8.53 ±0.20	a	1.08 ±0.005	a	3.24 ± 0.021	c	1.01 ± 0.001	a
Negro	CaSO ₄	10.56 ±0.15	b	1.10 ±0.005	b	3.27 ± 0.003	c	1.00 ± 0.018	a

Medias con las mismas letras en la misma columna no indican diferencias significativas (p<0.05). Valores de CAAS= capacidad de absorción de agua subjetiva, HH= Humedad de harina expresada en porcentaje, IAA= índice de absorción de agua, ISA= índice de solubilidad en agua.

De acuerdo a la literatura, los valores que se han encontrado para harinas NT van de 10.1 a 12% (Gómez *et al.*, 1987), mientras que las harinas comerciales presentan valores de 9.2 a 10.1% (Flores *et al.* 2002, Meléndez *et al.*, 2004).

El parámetro humedad es importante, porque está relacionado con la vida de anaquel de las harinas. Cuando éstas tienen un contenido de humedad del 10 al 12%, son estables frente a la contaminación microbiana; si esta humedad supera el 12%, el producto es atacado fácilmente por mohos y levaduras (Meléndez *et al.*, 2004). Por otro lado, la baja humedad de la harina puede contribuir a la conservación fisicoquímica de la misma, porque retarda la rancidez de los lípidos y reduce la actividad enzimática, manteniendo estables sus características por más tiempo (Flores, 2004).

Los valores encontrados para CAAS de las harinas analizadas, mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos de NT y NE. Los maíces blanco, rojo, negro presentaron valores más altos que en la NT, por el contrario el maíz negro una de las sales de la NE tiene un valor mayor que la NT.

De acuerdo a lo reportado, los valores de CAAS se encuentran en un intervalo de 1.2 mL - 1.35 mL agua/g harina para harinas nixtamalizadas comerciales en México (Flores *et al.*, 2002); para harina obtenida por cocimiento dieléctrico el valor reportado es de 0.8 mL agua/g harina, y para harinas nixtamalizadas de forma tradicional se reportan valores de 1.05 a 1.28 mL de agua/g harina (Billeb *et al.*, 2001). Con base a la bibliografía, el valor de CAAS de las harinas obtenidas por NT puede presentar mucha variación, esto se puede deber a las gomas empleadas en las harinas comerciales que incrementan la absorción de agua.

Las harinas NE presentan valores de 1.02 -1.12 mL de agua/g harina. En general, estos valores están dentro de lo reportado para harinas de nixtamal. La importancia de la determinación de la CAAS radica en que el valor está

relacionado directamente con el rendimiento de la masa y la tortilla, por lo cual es de gran interés económico para los industriales (Véles, 2004).

El parámetro índice de absorción de agua (IAA) de las harinas provenientes harinas NE presentó diferencias significativas ($p < 0.05$), comparado con la harina de NT. El valor reportado de IAA para nixtamal posee una media de 3.14 g gel/g muestra (Reyes *et al.*, 1998); mientras que en harinas comerciales de México, el valor fue de 2.1 a 3.7 g gel/g muestra (Flores *et al.*, 2002) y de 3.4 a 4.02 g gel /g muestra en harinas comerciales de Guatemala (Bressani *et al.*, 2001). Los valores de las harinas obtenidas por NE se encuentran ligeramente abajo del valor de IAA de harina de NT y están dentro de los valores reportados para harinas comerciales. El IAA se incrementa por la modificación del almidón ocasionada por el tratamiento térmico-alcalino (Véles, 2004), lo cual se observa en las harinas con NT.

Es importante recordar que existe una relación entre el valor de IAA y el CAAS; siendo el primero una prueba estandarizada de la cantidad de agua que puede absorber la harina y está relacionada con el daño del almidón de la misma; a diferencia del CAAS que es una prueba subjetiva de acondicionamiento de la harina para masa, pero igualmente relacionada con el daño de almidón (Billeb *et al.*, 2001).

En la evaluación del parámetro índice de solubilidad en agua (ISA), éste presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos, las cuales se muestran en el Cuadro 14. Se observa que los valores de ISA en los tratamientos por NE son mayores al valor obtenido en la harina de NE. Los valores reportados en la bibliografía se encuentran en un rango de 4.38 a 7% en harinas comerciales (Bressani *et al.*, 2001). Para harina NT el rango se encuentra en un intervalo de 4.11 a 5.2% (Billeb *et al.*, 2001). De acuerdo a lo anterior, los ISA determinados en las harinas obtenidas por NT y NE son menores a lo reportado para harinas comerciales. En todos los casos el ISA reflejará la severidad del proceso,

aumentando por modificaciones en el almidón ocasionadas por la molienda y las condiciones de tratamiento (Véles, 2004). Por lo que se puede concluir que tanto el proceso tradicional de nixtamalización como NE no presentaron efectos severos sobre el almidón que pudieran afectar las propiedades de calidad de la masa y la tortilla.

5.3.2 Color de harinas NT y NE

Los valores de L, a y b encontradas en las harinas se observan en el Cuadro 15.

Cuadro 15. Color de harinas NT y NE

Maíz	Sal	Color								
		L			a			b		
Blanco	Ca(OH) ₂	83.07	± 0.21	b	-0.07	± 0.01	b	11.35	± 0.02	a
Blanco	CaCO ₃	82.56	± 0.07	c	0.20	± 0.03	a	11.17	± 0.27	a
Blanco	CaCl ₂	84.73	± 0.17	a	-0.10	± 0.03	b	10.46	± 0.16	b
Blanco	CaSO ₄	84.68	± 0.14	a	-0.11	± 0.04	b	10.52	± 0.19	b
Amarillo	Ca(OH) ₂	81.97	± 0.29	b	3.43	± 0.12	a	20.88	± 0.53	a
Amarillo	CaCO ₃	81.93	± 0.14	a	2.74	± 0.14	b	20.15	± 0.63	a
Amarillo	CaCl ₂	81.70	± 0.03	a	3.04	± 0.07	b	20.50	± 0.51	a
Amarillo	CaSO ₄	69.18	± 0.21	a	3.06	± 0.04	c	20.86	± 0.43	a
Rojo	Ca(OH) ₂	70.00	± 0.15	c	5.84	± 0.17	c	4.92	± 0.15	a
Rojo	CaCO ₃	80.48	± 0.52	bc	6.36	± 0.18	b	4.49	± 0.16	b
Rojo	CaCl ₂	71.00	± 0.29	a	6.53	± 0.21	ab	3.96	± 0.08	c
Rojo	CaSO ₄	70.19	± 0.30	ab	6.94	± 0.20	a	3.78	± 0.10	c
Negro	Ca(OH) ₂	64.87	± 0.15	a	5.87	± 0.03	b	1.48	± 0.03	b
Negro	CaCO ₃	64.57	± 0.41	a	6.04	± 0.12	a	1.51	± 0.00	b
Negro	CaCl ₂	63.29	± 0.29	b	2.75	± 0.04	c	2.46	± 0.08	a
Negro	CaSO ₄	62.89	± 0.64	b	2.79	± 0.01	c	2.46	± 0.08	a

Medias con las mismas letras en la misma columna no indican diferencias significativas

(p<0.05).

En relación al color de las harinas obtenidas por NT y NE, se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en los tres ejes que conforman este parámetro (L, a, b). Esto se debió al efecto de la variedad de maíz y el tratamiento. Las muestras procesadas con hidróxido de sodio presentaron un valor superior ($L = 83.645 \pm 1.085$) y el resto de los tratamientos obtuvieron valores menores a éste (61.00-81.96). El valor de color reportado para harinas obtenidas por NT es de 78.16 (Véles, 2004). Para el caso de las dos principales harinas consumidas en México, éstas presentan valores de L que van de 92.2 (Maseca) a 91.8 (Minsa) (Reyes *et al.*, 2003). De acuerdo a los valores de harinas comerciales es importante mencionar que éstas poseen en su composición aditivos que permiten obtener harinas y tortillas más blancas, de acuerdo a lo permitido en la NOM-187-SSA1.

El valor del eje a, que va de rojo (valores positivos) a verde (valores negativos) presentó diferencias significativas ($p < 0.05$). Los valores del maíz blanco son de -0.106 a 0.20, más pequeños a los obtenidos a los maíces pigmentados (0.74 a 6.94). Todos los valores de este parámetro encontrados para las harinas con maíz blanco están referidos a una coloración ligeramente verde de las harinas, mientras que las harinas pigmentadas están referidas a una coloración roja, pero éstos varían por la variedad de maíz. Los valores reportados del eje a para harinas de nixtamal tienen valores tendientes a coloración rojiza, en un rango de 1.68 a 4.37 (Figuroa *et al.*, 2001b; Flores, 2004; Véles, 2004).

El parámetro de color en el eje b indica coloración que va de amarillo (valores positivos) a azul (valores negativos). Los valores de b de las harinas presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$), respecto a las harinas de maíz blanco los valores van de 10.57- 11.35, los de maíz amarillo el valor es de 20.86, el maíz rojo tiene valores de 3.78-4.92, los valores del maíz negro son de 1.47 – 2.46, todos los valores encontrados se encuentran en el rango de color amarillo, en este caso la tendencia se atribuye al genotipo de maíz y a la adición de

hidróxido de calcio. El valor reportado para el eje *b* es de 22.4 en harinas nixtamalizadas (Véles, 2004).

5.3.3 Viscosidad de almidones de suspensiones acuosas de harinas obtenidas por NT y NE.

En la Figura 10 se muestran los perfiles de viscosidad de almidones para las suspensiones acuosas de las harinas analizadas, donde los valores se reportan en cP y la temperatura de pastificado en °C.

La viscosidad es la resistencia de un líquido a fluir. De acuerdo al principio del equipo de medición RVA, el almidón en la harina acondicionada a un exceso de humedad, con acción de trabajo mecánico y tratamiento térmico, produce una viscosidad que aumenta hasta un punto máximo o viscosidad máxima, ocasionada por el hinchamiento de los gránulos de almidón.

Este parámetro es importante para los industriales cuando se requiere transportar la masa o la pasta formada por harina de maíz para un posterior tratamiento. Por otro lado, también permite conocer el grado de modificación del almidón de la harina por la severidad del tratamiento previo.

Se observa en la Figura 10 que los perfiles de viscosidad se agrupan en 5: se observa un primer grupo de ralla punteada (*****) verde, naranja, rojo y azul suave que son del tratamiento de NT, el segundo grupo que se puede observar es el de maíz rojo (color rojo), el tercer grupo es del maíz negro Huimilpan (azul marino), el cuarto grupo es el del maíz blanco (color verde), en el quinto grupo es el maíz amarillo (color naranja).

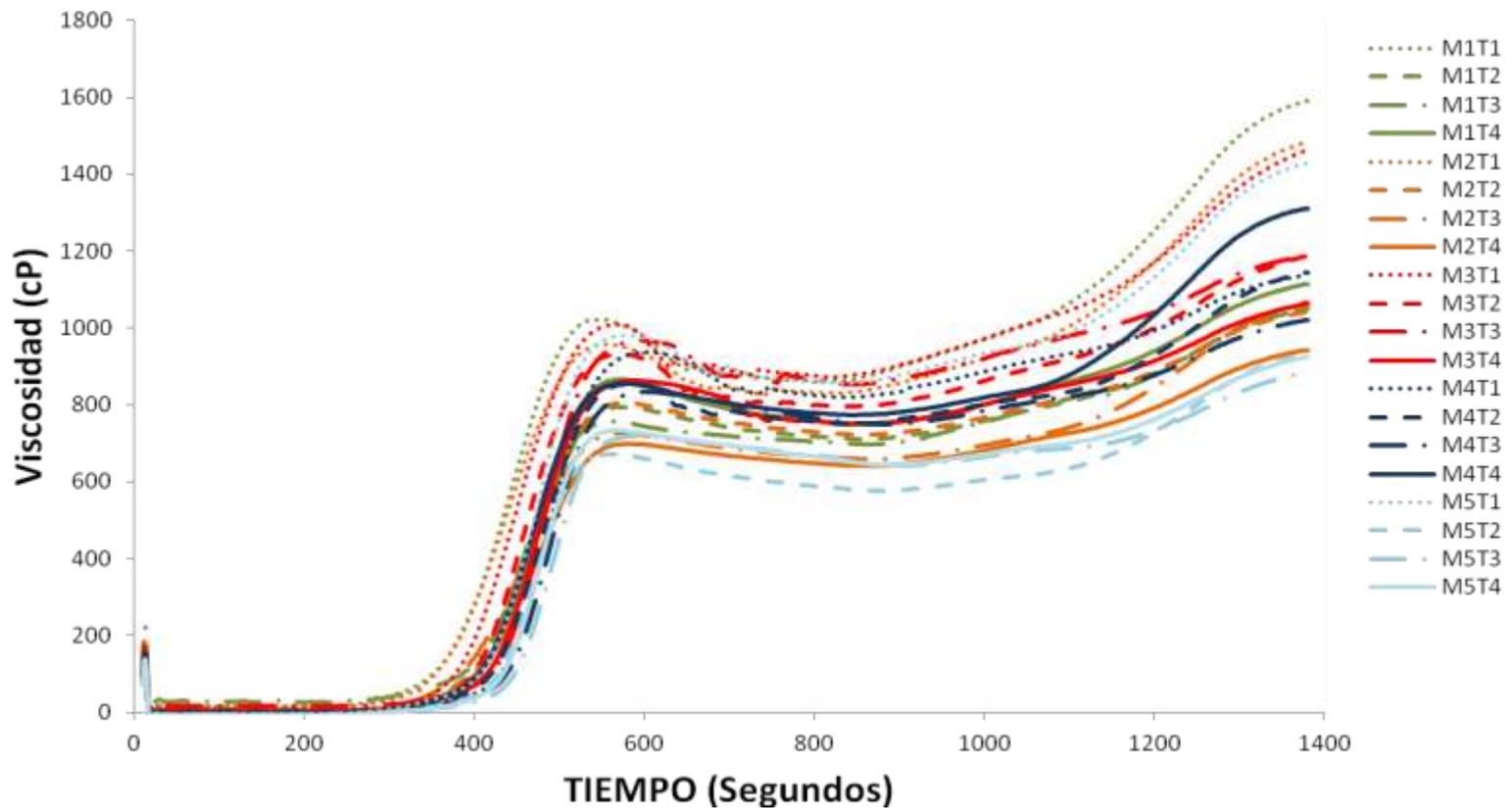


Figura 10. Perfil de viscosidad de suspensiones acuosas de harinas obtenidas por NT y NE.

Nota: M1= Maíz blanco; M2= Maíz amarillo; M3= Maíz rojo, M4= Maíz negro, T1= Hidróxido de calcio, T2=Carbonato de calcio, T3= Cloruro de calcio, T4= Sulfato de calcio.

Los valores de viscosidades: máxima, mínima y final, reorganización están indicados en el Cuadro 16.

Cuadro 16. Valores de viscosidad máxima, mínima, final y setback para soluciones harinas obtenidas por NT y NE

Maíz	Sal	V máx		V mín		V final		Setback	
Blanco	Ca(OH) ₂	1021	± 3 a	863	± 3 a	1594	± 5 a	731	± 2 a
Blanco	CaCO ₃	803	± 13 b	719	± 12 a	1067	± 25 b	348	± 13 b
Blanco	CaCl ₂	849	± 33 b	750	± 19 a	1116	± 28 b	364	± 5 b
Blanco	CaSO ₄	868	± 1 b	753	± 1 a	1116	± 1 b	364	± 1 b
Amarillo	Ca(OH) ₂	960	± 1 a	827	± 1 a	1484	± 1 a	657	± 1 a
Amarillo	CaCO ₃	806	± 1 b	723	± 1 b	1041	± 1 c	319	± 1 c
Amarillo	CaCl ₂	728	± 1 c	659	± 1 c	1066	± 1 b	408	± 1 b
Amarillo	CaSO ₄	699	± 1 d	642	± 1 d	942	± 1 d	301	± 1 d
Rojo	Ca(OH) ₂	1009	± 1 a	873	± 1 a	1461	± 1 a	589	± 1 a
Rojo	CaCO ₃	934	± 1 c	797	± 1 b	1187	± 1 b	391	± 1 b
Rojo	CaCl ₂	968	± 1 b	853	± 1 c	1186	± 1 b	334	± 1 c
Rojo	CaSO ₄	865	± 1 d	752	± 1 d	1064	± 1 c	313	± 1 d
Negro	Ca(OH) ₂	1165	± 3 a	920	± 4 a	1535	± 18 a	665	± 62 a
Negro	CaCO ₃	672	± 1 d	577	± 1 d	930	± 1 c	353	± 1 b
Negro	CaCl ₂	953	± 5 b	803	± 1 b	1169	± 5 b	365	± 4 b
Negro	CaSO ₄	734	± 1 c	645	± 1 c	923	± 1 c	279	± 1 b

Medias con las mismas letras en la misma columna no indican diferencias significativas (p<0.05). Valores de viscosidad (V), expresados en cP.

Los valores de viscosidad encontrados mostraron diferencias significativas (p<0.05) para las suspensiones de harinas, comparados con la harina control [Ca(OH)₂], presentando un valor mayor de viscosidad máxima, mínima y final. Sin embargo, existe un comportamiento parecido entre los maíces con el tipo de sal usado (Figura 11). De acuerdo a los resultados, el tratamiento que generó una

menor viscosidad fue el maíz negro con carbonato de calcio.. Los valores que se reportan de viscosidad máxima para harinas de NT se encuentran en un intervalo de 959 – 1,198.5 cP (Véles, 2004) y están de acuerdo a los valores mostrados en cuadro 16 para el proceso tradicional. Sin embargo; en harinas obtenidas por NE, la v_{max} presentan en un rango de 672 a 1165 cP valores similares en harinas extrudidas fueron reportados (Yáñez, 2005). De los valores reportados, las harinas procesadas por NE se encuentran por debajo de la viscosidad máxima reportada para harinas de NT. Estos rangos de viscosidad menores posiblemente se deban al efecto de dilución por la presencia de pericarpio en los procesos ecológicos. También, es importante mencionar que otro factor que puede explicar la baja generación de viscosidad puede ser una gelatinización parcial del almidón ocasionada por la molienda y el tratamiento térmico durante la nixtamalización (Véles, 2004).

En cuanto a la viscosidad de reorganización (setback), se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos de NE y el NT. Se observa que los tratamientos con NT presentaron los valores más altos de reorganización. En este contexto, una viscosidad reorganización alta no es deseable en productos como tortilla o pan, debido a que indica pérdida de humedad que se refleja en las características de textura.

5.4 CARACTERIZACIÓN DE LA TORTILLA

5.4.1 Pérdida de peso, rendimiento de tortilla y rolabilidad.

En el Cuadro 17 se muestran los valores obtenidos para el porcentaje de pérdida de peso, rendimiento de tortilla, color (Lab) y rolabilidad por cocimiento para las tortillas elaboradas con las diferentes harinas procesadas por NT y NE, en

las cuales se observa que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos, excepto la rolabilidad.

Cuadro 17. Variables físicas evaluadas en tortillas obtenidas a partir de distintos tipos de maíz tratados con nixtamalización tradicional y ecológica.

Maíz	Sal	PP	RT	Rol
Blanco	Ca(OH) ₂	23.99 ± 0.59 ab	1.52 ± 0.01 b	1.00 a
Blanco	CaCO ₃	23.05 ± 0.93 b	1.57 ± 0.02 a	1.00 a
Blanco	CaCl ₂	24.40 ± 0.86 ab	1.56 ± 0.01 a	1.00 a
Blanco	CaSO ₄	24.98 ± 1.76 ab	1.54 ± 0.03 ab	1.00 a
Amarillo	Ca(OH) ₂	24.04 ± 1.93 b	1.54 ± 0.04 a	1.00 a
Amarillo	CaCO ₃	27.55 ± 2.01 ab	1.47 ± 0.04 b	1.00 a
Amarillo	CaCl ₂	25.89 ± 3.12 ab	1.53 ± 0.07 a	1.00 a
Amarillo	CaSO ₄	25.49 ± 1.24 ab	1.52 ± 0.02 a	1.00 a
Rojo	Ca(OH) ₂	22.37 ± 0.81 bc	1.55 ± 0.06 b	1.00 a
Rojo	CaCO ₃	25.27 ± 1.87 ab	1.54 ± 0.04 b	1.00 a
Rojo	CaCl ₂	20.70 ± 1.50 c	1.61 ± 0.03 a	1.00 a
Rojo	CaSO ₄	23.12 ± 1.58 b	1.58 ± 0.03 ab	1.00 a
Negro	Ca(OH) ₂	21.56 ± 1.12 ab	1.60 ± 0.02 b	1.00 a
Negro	CaCO ₃	19.50 ± 1.06 ab	1.67 ± 0.02 a	1.00 a
Negro	CaCl ₂	20.09 ± 0.72 ab	1.66 ± 0.01 ab	1.00 a
Negro	CaSO ₄	20.79 ± 5.27 ab	1.66 ± 0.11 ab	1.00 a

Medias con las mismas letras en la misma columna no indican diferencias significativas ($p < 0.05$). PP=%pérdida de peso, RT=rendimiento de tortilla (g tortilla/g harina), Rol= rolabilidad (1= no presenta ruptura, 2= 25% de ruptura, 3= ruptura del 50%, 4= ruptura del 75% y 5= ruptura completa).

El valor de pérdida de peso en las tortillas durante el cocimiento es un parámetro relacionado con la humedad de la masa, la temperatura y tiempo de cocimiento en el comal. A este respecto, las tortillas se troquelaron enseguida de

acondicionarlas a la humedad adecuada, y posteriormente se cocieron en el comal a una temperatura aproximada de 260 a 270 °C en tiempos establecidos para cada cara, con la finalidad de homogenizar el cocimiento de las mismas.

Se determino los valores de pérdida de peso que oscilan de 19 a 26% para tortillas elaboradas por NT. A este respecto, se menciona que es deseable que la tortilla tenga una pérdida de peso menor a 20% para que posea cualidades óptimas de textura (Arámbula *et al.*, 2001). En las tortillas obtenidas por NT se encontró valores de 19.17% a 24.04%; mientras los valores de tortillas de NE fue de 19.5-25.89%.

El rendimiento de tortilla es un parámetro relacionado con la pérdida de peso y la capacidad de absorción de agua de la harina (Flores, 2004); también se relaciona con la pérdida de materia seca. Los valores encontrados para este parámetro se están en un intervalo de 1.52-1.65 para NT y de 1.46-1.69 para NE. En general la NE presentó mayor rendimiento dentro de los boques comparado con el proceso NT (Cuadro 17).

El parámetro de rolabilidad no mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos. Este parámetro tiene relación con la humedad de la tortilla, que en general, al ser superior a 35% será una tortilla suave, no quebradiza. Los reportes de este parámetro mencionan que tortillas recién elaboradas de NT y atemperadas a 30°C presentan una buena rolabilidad, con una calificación de 1. Algunos factores que afectan la rolabilidad, además de la humedad, son la cantidad de fibra adicional (Figueroa *et al.*, 2001a). La importancia de esta medición subjetiva es que proporcionó información acerca de la calidad de la tortilla para formar un taco, sin romperse (Figueroa, *et al.*, 2001a).

5.4.2. Color en tortillas

En el cuadro 18 se muestra el color (Lab) en tortillas realizadas con un proceso de NT y NE. El color de la tortilla es un parámetro organoléptico que no afecta la funcionalidad del producto pero es importante para la aceptación del consumidor.

Cuadro 18. Color en tortillas de los procesos de NT y NE

Maíz	Sal	Color								
		L			a			b		
Blanco	Ca(OH) ₂	61.85	± 1.14	b	1.64	± 0.27	a	18.43	± 0.30	a
Blanco	CaCO ₃	63.49	± 1.72	ab	0.47	± 0.14	b	16.10	± 0.61	b
Blanco	CaCl ₂	64.46	± 0.91	a	0.27	± 0.38	b	16.83	± 0.64	b
Blanco	CaSO ₄	64.59	± 1.05	a	0.12	± 0.14	b	16.68	± 0.32	b
Amarillo	Ca(OH) ₂	57.10	± 1.06	c	6.49	± 0.16	a	25.11	± 0.69	b
Amarillo	CaCO ₃	60.39	± 0.98	b	6.13	± 0.45	a	26.10	± 0.62	ab
Amarillo	CaCl ₂	61.99	± 0.55	a	6.20	± 0.28	a	26.27	± 0.63	a
Amarillo	CaSO ₄	58.37	± 0.43	c	6.10	± 0.30	a	25.31	± 0.16	ab
Rojo	Ca(OH) ₂	36.09	± 0.87	c	8.48	± 0.16	c	5.59	± 0.26	ab
Rojo	CaCO ₃	38.52	± 0.15	b	9.61	± 0.23	b	5.99	± 0.16	a
Rojo	CaCl ₂	38.24	± 1.42	b	10.41	± 0.14	a	5.24	± 0.23	b
Rojo	CaSO ₄	42.83	± 0.92	a	10.33	± 0.19	a	5.83	± 0.26	a
Negro	Ca(OH) ₂	39.29	± 1.16	a	5.65	± 0.11	a	3.17	± 0.08	a
Negro	CaCO ₃	34.08	± 1.48	bc	1.65	± 0.04	c	3.02	± 0.22	a
Negro	CaCl ₂	35.58	± 1.31	b	4.32	± 0.16	b	2.07	± 0.31	b
Negro	CaSO ₄	33.00	± 0.90	c	-0.07	± 0.05	d	2.27	± 0.19	b

Medias con las mismas letras en la misma columna no indican diferencias significativas (p<0.05).

El color de las tortillas en el eje L fue significativamente diferente ($p < 0.05$) entre tratamientos dentro del mismo bloque, siendo el tratamiento con cal el que presentó los valores L más bajos. El rango encontrado para este parámetro fue de 31.29-62.65 en tortillas obtenidas por NT y valores en tortillas por NE de 30.27 - 64.59. En este caso se observa que las tortillas obtenidas de harinas provenientes de NT son ligeramente más oscuras que NE. A este respecto, se debe recordar que algunos compuestos fenólicos son los responsables del cambio de color en productos provenientes de plantas o cereales, ya que al oxidarse y polimerizarse producen la formación de melaninas (Fennema, 1996) relacionadas con el oscurecimiento reflejado en la luminosidad. Se observó que los valores de L forman grupos con respecto a la variedad de maíz por ejemplo, el maíz blanco tiene valores de 62.65-64.59, mientras que en el maíz negro son de 33-49.

Para el eje L el valor reportado de bibliografía para tortillas de nixtamal es de 67.29 (Flores, 2004). Figueroa *et al.*, (2001b) reportó colores más blancos para las tortillas elaboradas con la NT las cuales mostraron color L (77.32), a (1.68) y b (24.69) para maíz blanco.

Para el eje "a", las tortillas de los diferentes tratamientos presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) comparadas con el control de cal. Todos los valores encontrados están en el rango de coloración rojiza, pero el valor de las tortillas de NT es mayor, con excepción en el maíz rojo y el amarillo. El rango de valores de "a" determinado en las tortillas de harinas de NT fue de 1.44-8.48 y para NE fue de 0.12-10.41, donde la muestra del maíz negro con sulfato presentó valores negativos de -0.07. Se encontraron valores de 1.33 y 1.68 en las tortillas de nixtamal de maíz blanco reportadas por (Flores, 2004) y Figueroa *et al.* (2001b) respectivamente.

Finalmente, para el eje "b" de color se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de NT y NE ($p < 0.05$), donde el proceso de NT presenta valores de 3.17-25.11 en el rango de los amarillos y el rango encontrado

para las tortillas NE fue de 2.07-26.27. La diferencia en el eje b de los tratamientos con respecto a las tortillas de nixtamal es atribuible a la sal usada y, en mayor proporción, al genotipo del maíz ya que se observa que el maíz amarillo es el que tiene los valores más altos en el eje b. Flores (2004) reportó valores para el eje b de 15.02 en harinas NT, mientras que Figueroa *et al.* (2001b) reportó tortillas de maíz blanco con valores “b” de 24.69. Se observa que los valores “b” encontrados en las tortillas NT están por encima de las de NE en los maíces blancos, mientras que fueron menores en los maíces amarillo y rojo.

5.4.3 Evaluación de las características de textura en tortillas recién elaboradas con los procesos de NT y NE.

En la Cuadro 19 se muestra los valores de fuerza de tensión y de corte en las tortillas recién elaboradas, donde es importante mencionar que la tensión y el corte son parámetros de textura relacionados con las cualidades sensoriales en las tortillas.

Se observó que la fuerza de tensión en las tortillas fue mayor en la NT, excepto en el maíz amarillo y rojo. El rango encontrado de fuerza de tensión fue de 213-379 g-f para NT, contra una fuerza de tensión de 209-353 g-f para NE. Por otro lado, Flores (2004) reportó valores de fuerza de tensión de 309 g-f mientras que Figueroa *et al.* (2001b) reportó valores de 4.62 N (474 g-f) en tortillas de nixtamal; otros valores reportados para tensión de tortillas nixtamalizadas de diferentes genotipos de maíz criollo están en el rango de 155 a 256 g-f (Grijalva *et al.*, 2008). De acuerdo a la literatura, las tortillas de NT y NE se encuentran en los rangos de fuerza de tensión para tortillas de maíces criollos.

La fuerza de tensión se relaciona con los atributos de elasticidad y dureza en la tortilla evaluados de forma subjetiva por un consumidor, debido a que

representa la fuerza necesaria para rasgar una tortilla al estirarla, simulando el rasgado con las manos (Reyes *et al.*, 1998). Con referencia a lo anterior, las tortillas evaluadas con maíz blanco y negro en el presente estudio son más suaves que las tortillas de NT y por lo tanto presentan mayor facilidad al rasgado, mientras que en el maíz amarillo y rojo obtuvimos un valor más alto con sulfato de calcio.

Cuadro 19. Características de textura en tortillas elaboradas con los procesos de NT y NE.

Maíz	Sal	Fuerza de tensión (g-f)			Fuerza de corte (g-f)		
Blanco	Ca(OH) ₂	379	±	31 a	2330	±	152 a
Blanco	CaCO ₃	353	±	20 a	1761	±	61 b
Blanco	CaCl ₂	266	±	56 b	1806	±	54 b
Blanco	CaSO ₄	336	±	27 ab	1685	±	178 b
Amarillo	Ca(OH) ₂	218	±	23 b	1627	±	183 a
Amarillo	CaCO ₃	260	±	14 b	1539	±	278 a
Amarillo	CaCl ₂	334	±	23 a	1272	±	99 b
Amarillo	CaSO ₄	350	±	24 a	1590	±	127 a
Rojo	Ca(OH) ₂	304	±	9 a	1241	±	89 b
Rojo	CaCO ₃	214	±	29 c	1111	±	115 b
Rojo	CaCl ₂	265	±	6 b	1260	±	53 b
Rojo	CaSO ₄	308	±	8 a	1558	±	207 a
Negro	Ca(OH) ₂	213	±	16 a	1070	±	75 b
Negro	CaCO ₃	216	±	14 a	890	±	48 c
Negro	CaCl ₂	209	±	12 a	1140	±	53 a
Negro	CaSO ₄	223	±	26 a	1074	±	26 b

Medias con las mismas letras en la misma columna no indican diferencias significativas

($p < 0.05$).

La fuerza de corte en las tortillas de los tratamientos mostró diferencias significativas ($p < 0.05$), siendo mayor en las tortillas de NE con excepción en el maíz blanco y amarillo que presentaron un valor es de 1070-2330 g-f en NT, contra el rango de fuerza de corte para tortillas de NE que fue de 840-1761 g-f. El valor medio reportado por Flores (2004) para tortillas de nixtamal fue de 1782 g-f similar al del presente estudio que es ; otros reportes incluyen fuerzas de tensión en tortillas nixtamalizadas de maíces criollos, donde el rango reportado es de 890 a 1523 g-f (Grijalva *et al.*, 2008). Figueroa *et al.* (2001b) reportó valores de fuerza al corte de 22.69N (2314 g-f) que son similares al valor de 2330 g-f de la tortilla de maíz blanco procesada con NT. De acuerdo a lo anterior, las tortillas producidas por harina de NE y NT, se ubican dentro y superior a lo reportado para tortillas nixtamalizadas de maíces criollos. La textura de la tortilla reflejada en sus propiedades mecánicas se relaciona con la reorganización del almidón del nixtamal (Román-Brito *et al.*, 2007). A este respecto, es importante recordar que los resultados de reorganización (viscosidad set back) en harinas de nixtamal presentaron los valores más altos.

El parámetro de corte, por otro lado, muestra un valor numérico de la percepción sensorial de dureza de la tortilla al morderla o cortarla con los dientes (Reyes *et al.*, 1998), por lo cual, los valores bajos de resistencia a la fuerza de corte muestran una tortilla suave, fácil de morder, como es el caso de las tortillas producidas por NT con excepción de los maíces blanco y amarillo, pero este factor se ve afectado con el tipo de maíz y la sal que se agregó ya que en el maíz rojo se obtuvo un valor más alto con el sulfato de calcio (1560 g-f), en el maíz negro fue mejor el tratamiento con cloruro de calcio (1140 g-f), teniendo valores más pequeños las demás sales.

5.5 COMPUESTOS NUTRACÉUTICOS EN HARINA Y TORTILLA

Se estudió el efecto del proceso ecológico (particularmente, el tipo de sal) en el contenido de compuestos nutraceuticos. Los cereales permiten generar harinas con propiedades funcionales aptas para su empleo como ingredientes para la elaboración de alimentos que, además de nutrir, proporcionen un beneficio extra a la salud. Para ello, es importante, en primer término, la evaluación del potencial nutraceutico de este tipo de harinas como se observan los datos en los Cuadros 20, 21 y 22.

5.5.1 Contenido total de fenoles (libres y ligados) en harinas y tortillas elaboradas con nixtamalización tradicional y ecológica.

Los contenidos de fenoles libres, ligados y totales encontrados en la harina y tortilla con el proceso de NT y NE se presentan en la Cuadro 20.

Varios estudios han investigado la composición y concentración polifenólica de los granos de cereales, no sólo por su papel en la estructura de la pared celular, sino también por sus propiedades antioxidantes y bioactivas. Ácidos hidroxicinámicos, tales como ácido sinápico, derivados libres y éster ligados derivados de ácido ferúlico y el ácido p-cumárico, se han identificado en varios genotipos de maíz blanco y el salvado de maíz (Kennedy *et al.*, 1999; Ostrabder *et al.*, 1999; Saulnier y Thibault, 1999; Bily *et al.*, 2004). Otros estudios informan de la presencia de estos compuestos en los genotipos de maíz azul, rojo y negro (Del Pozo-Insfran *et al.*, 2006).

El contenido de compuestos fenólicos en harinas presenta diferencias significativas entre los tratamientos dentro del mismo maíz. Se obtuvieron rangos de 6,886-11,393 mg de ácido ferúlico/kg en fenoles totales, para fenoles libres los rangos que oscilan de 2,407-5,705 mg de ácido ferúlico/kg y para fenoles ligados de 3,391-7,584 mg de ácido ferúlico/kg. El procesamiento del maíz en harina

utilizando los diferentes procesos redujo los niveles de fenoles totales originales de 8680-13940 mg de ácido ferúlico/kg (Figura 10) a 6,886-11,393 mg reportados en harinas (Cuadro 20), esto es de aproximadamente 2000 mg/kg de ácido ferúlico como fenoles totales. Sin embargo, los fenoles libres fueron los que más se perdieron en el procesamiento ya que del rango de 5090-9360 mg/kg en maíz (Cuadro 10) se redujeron a 2407-5705 mg/kg (Cuadro 20), esto es aproximadamente 3669 mg de ácido ferúlico/kg. Los fenoles ligados prácticamente no se perdieron en el procesamiento, e inclusive se detectaron más en algunas harinas. En maíz presentó un rango de 3690-4580mg de ácido ferúlico /kg (Cuadro 10) mientras que en harina fue de 3391-7584 mg de ácido ferúlico/kg. De la Parra *et al.* (2007) reportó que la nixtamalización alcalina incrementó los niveles de ácido ferúlico ligado en la masa y tortilla, lo que explica el incremento de ácido ferúlico encontrado en las harinas del presente estudio.

El contenido de fenoles totales en NE se conservó mejor con la variante de cloruro y carbonato de calcio que la NT. Esto se puede deber al efecto de las sales en la nixtamalización, ya que durante la NE no se desintegra el pericarpio, aumentando el contenido de los fenoles en este. Las harinas obtenidas por el proceso de NE muestran variaciones en cuanto a su contenido de fenoles ligados por la sal empleada y el genotipo. Los tratamiento con carbonato de calcio tuvieron el mejor desempeño; mientras que para los maíces blanco y rojo, el desempeño fue mejor con el tratamiento de cloruro de calcio; los maíces amarillo y negro tuvieron mayor concentración de fenoles totales con las sales de carbonato y el sulfato de calcio.

El contenido de fenoles libres en harinas por efecto del tratamiento con NE, en general, son similares o mayores que la NT y como se esperaba, el contenido de los fenoles ligados se mantuvieron en el producto lo que da en general un balance total mayor de fenoles totales, específicamente con el tratamiento de carbonato de calcio.

Cuadro 20. Contenido de fenoles libres, ligados y totales en muestras de harinas y tortillas elaboradas por los procesos de NT y NE.

MAÍZ	SAL	FENOLES EN HARINA (mg ácido ferúlico/Kg)						FENOLES EN TORTILLA (mg ácido ferúlico/Kg)					
		LIBRES		LIGADOS		TOTALES		LIBRES		LIGADOS		TOTALES	
Blanco	Ca(OH) ₂	3447 ± 93	c	6021 ± 115	b	9872 ± 114	b	1552 ± 12	ab	6059 ± 67	b	7612 ± 56	b
Blanco	CaCO ₃	3851 ± 12	b	1994 ± 124	d	5441 ± 187	c	1621 ± 24	a	3766 ± 29	c	5387 ± 34	c
Blanco	CaCl ₂	3912 ± 12	b	6784 ± 22	a	10696 ± 19	a	1518 ± 63	b	7381 ± 191	a	8899 ± 157	a
Blanco	CaSO ₄	4665 ± 123	a	5151 ± 19	c	9816 ± 104	b	1641 ± 31	a	6085 ± 76	b	7726 ± 61	b
Amarillo	Ca(OH) ₂	4213 ± 21	b	4522 ± 76	b	8736 ± 68	b	1940 ± 29	bc	2534 ± 29	c	4474 ± 55	c
Amarillo	CaCO ₃	5705 ± 144	a	5325 ± 78	a	9096 ± 177	ab	2590 ± 181	a	5672 ± 130	a	8262 ± 173	a
Amarillo	CaCl ₂	2517 ± 59	d	4586 ± 166	b	7103 ± 189	c	2182 ± 107	b	5183 ± 88	b	7364 ± 19	b
Amarillo	CaSO ₄	3899 ± 24	c	5310 ± 48	a	9209 ± 70	a	1833 ± 71	c	5780 ± 19	a	7613 ± 55	b
Rojo	Ca(OH) ₂	3221 ± 63	b	5386 ± 67	a	7454 ± 69	c	1798 ± 43	a	4935 ± 48	b	6734 ± 68	b
Rojo	CaCO ₃	4056 ± 43	a	3398 ± 50	c	8608 ± 102	a	1340 ± 21	d	4694 ± 169	a	6034 ± 189	c
Rojo	CaCl ₂	2407 ± 94	c	5647 ± 19	a	8054 ± 83	b	1621 ± 12	b	6466 ± 305	a	8087 ± 295	a
Rojo	CaSO ₄	2510 ± 82	c	4376 ± 260	b	6886 ± 330	d	1552 ± 12	c	4853 ± 209	a	6405 ± 203	bc
Negro	Ca(OH) ₂	3447 ± 43	b	4154 ± 48	c	7601 ± 89	d	1737 ± 12	b	6123 ± 137	c	7860 ± 141	d
Negro	CaCO ₃	3810 ± 148	a	7584 ± 143	a	11394 ± 91	a	1566 ± 21	c	7457 ± 19	a	9023 ± 34	a
Negro	CaCl ₂	2626 ± 43	d	5837 ± 50	b	8463 ± 80	c	2127 ± 103	a	6155 ± 61	c	8282 ± 158	c
Negro	CaSO ₄	2968 ± 52	c	7407 ± 10	a	10375 ± 61	b	2195 ± 43	a	6371 ± 19	b	8566 ± 32	b

Medias con las mismas letras en la misma columna no indican diferencias significativas (p<0.05).

Los resultados anteriores son de gran importancia, ya que se ha atribuido a un efecto quimioprotector a los compuestos fenólicos y antocianinas, principalmente a través de mecanismos relacionados con su capacidad antioxidante, antiproliferativa y de inducción de apoptosis o muerte celular programada de células cancerosas.

Del Pozo-Insfran *et al.* (2006) reportaron un contenido total de compuestos polifenólicos de 4899 mg/kg e identificaron al ácido ferúlico libre como el principal compuesto polifenólico del maíz con el 51% con un valor de 2,480 mg/kg en el maíz blanco, seguido por seis compuestos que se identificaron tentativamente como derivados de ácido ferúlico que adicionalmente suman un valor de 2357 mg/kg esto es 48% por tanto el ácido ferúlico libre y los derivados del ácido ferúlico representan el 99% de los compuestos fenólicos del grano de maíz. El maíz azul presentó menores valores de ácido ferúlico libre (202-927 mg/kg) pero mantuvieron el mismo porcentaje indicado anteriormente (Del Pozo *et al.* 2006). Por esta razón el presente estudio estuvo enfocado a la cuantificación de los compuestos fenólicos con ácido ferúlico como estándar. Otros investigadores como De la Parra *et al.* (2007) encontraron valores de 4 mg/kg y han cuantificado los compuestos fenólicos mediante HPLC con ácido gálicos como estándar. De la Parra *et al.*, (2007) reportaron valores de fenoles libres para diferentes maíces (4.95 a 9.70 g de ácido ferúlico/kg), los cuales son menores con los rangos obtenidos en el presente estudio (Cuadro 20); mientras que para el contenido de fenoles ligados los valores reportados fueron 1192 a 1501 mg/kg de ácido ferúlico y los valores de fenoles totales fueron de 1030 a 1530 mg/kg de ácido ferúlico.

Sosulski *et al.* (1982) identificaron que el grano de maíz tiene el valor más alto en los niveles de ácidos fenólicos libres insolubles (69.2%) del contenido fenólicos total. Ácido *trans*-ferúlico es el ácido fenólicos predominante (73.2%) en el contenido de fenoles totales en harinas de maíz (Shahidi and Nacz, 1995).

López Martínez *et al.* (2009) encontraron rangos en los fenoles totales de 5,912-8,063 mg/kg en 18 fenotipos de maíz de México. Gutiérrez Uribe *et al.* (2010) reportaron valores para fenoles libres de 5,912–8,063 mg/kg de ácido gálico, y de fenoles ligados 21,506-24,197 mg/kg de ácido gálico. Por otro lado, López Martínez *et al.* (2011), determinaron valores para fenoles totales de 5,432 mg/kg de ácido gálico.

Se observó que hay una disminución en el contenido de los fenoles ligados por efecto del proceso de nixtamalización, presentando una disminución de 31-55% en la NT y en la NE se encontró una disminución del 8-65%. Se observó un aumento en el contenido de fenoles ligados, con excepción del maíz blanco y negro con hidróxido de calcio y el maíz rojo con carbonato de calcio (con una disminución de 8.25, 5.48 y 9.17 %, respectivamente).

Existen pocos estudios que informaron los efectos del proceso de nixtamalización y del efecto térmico de la cocción de tortillas y totopos en el contenido de antioxidantes polifenólicos. En este sentido, se encontraron valores para el contenido de fenoles (Cuadro 20) en tortillas: fenoles totales (4,524-9,023 mg de ácido ferúlico/kg), fenoles libres (1,331-2,195 mg de ácido ferúlico/kg) y fenoles ligados (2,534-7,457 mg de ácido ferúlico/kg). Si comparamos los datos del Cuadro 19 relacionados con los compuestos fenólicos en la tortilla con los mostrados en el maíz sin procesar (Figura 10) encontramos que la mayor parte de los compuestos fenólicos en el grano de maíz están como ácido ferúlico libre y que durante el procesamiento a harina se pierde en el lavado casi el 53% de los fenoles libres, y 74% durante el cocimiento de la tortilla. Sin embargo, los fenoles ligados se incrementaron en un 63% en la tortilla. Pérdidas similares en los compuestos fenólicos fueron reportadas por Del Pozo-Insfran *et al.* (2006) quienes encontraron que la degradación de los polifenoles totales fue mayor en el proceso de nixtamalización en maíz blanco, maíz azul mexicano y maíz azul estadounidense con pérdidas del 89, 54, 66 % respectivamente mientras las pérdidas en la transformación en tortillas y chips fueron insignificantes. Mientras para tortilla

(75%), y los chips (81%) la diferencia fue de un 9 y 15% más respectivamente. El tiempo de cocción largo y mayor temperatura requerida para la nixtamalización tuvo que el genotipo de maíz blanco fue probablemente responsable de las pérdidas polifenólicas superior en comparación con los genotipos de maíz azul.

Respecto al efecto de los tratamientos, se encontró que para el contenido de fenoles totales en el maíz blanco y negro, el mejor desempeño lo obtuvo el sulfato de calcio; para el maíz amarillo el tratamiento con mayor contenido de fenoles fue el cloruro de calcio; y para el maíz rojo el tratamiento con mas alto contenido de fenoles fue hidróxido de calcio.

Para fenoles libre se encontró que el cloruro de calcio presentó el mejor desempeño con los maíces blanco y rojo. El tratamiento con mayor contenido de fenoles libres con los maíces amarillo y negro fue carbonato y sulfato de calcio. Mientras que los tratamientos con mayor concentración de fenoles ligados fueron el cloruro y sulfato de calcio con los maíces blancos, amarillo y rojo; y el maíz negro con el tratamiento de carbonato de calcio presentó la mayor concentración de fenoles ligados.

Aunque las pérdidas polifenólicas y antioxidante se observaron con cada paso de procesamiento secuencial, el proceso de nixtamalización tradicional fue el más perjudicial para todos los genotipos. El efecto combinado del tratamiento alcalino y térmico durante la nixtamalización, y la lixiviación en la solución de cocción, fue el más influyente en la pérdida de polifenoles totales en el genotipo blanco en comparación con los genotipos azul, mientras que el tratamiento de nixtamalización ecológica fue fundamental en la retención de mayores niveles de polifenoles antioxidantes en todos los genotipos.

5.5.2 Efecto del procesamiento en el contenido de antocianinas

El contenido de las antocianinas encontradas en harina y tortillas con el proceso de NT y NE se observan en el Cuadro 21.

El contenido de antocianinas mostró diferencias significativas en los tratamientos dentro del mismo maíz. El, donde para el tratamiento NT presentó valores de 38.2, 42.7, 177.1, 383.0, 612.7 mg de cianidin-3-glucósido equiv/100 g para maíces blanco, amarillo rojo y negro respectivamente, mientras para NE fue 33.87, 61.18, 170, 307, 336 mg de cyanidin-3-glucósido equiv/100 g para los las variedades de maíz blanco, amarillo, rojo y negro respectivamente (Cuadro 21). Como se esperaba, las harinas obtenidas de la variedad mas pigmentados tienen más altos contenidos de antocianinas.

Comparando los tratamientos NE y NT no se encontró una diferencia estadística significativa en el contenido de antocianinas ($p < 0.05$). Sin embargo, se observa que para NE, el tratamiento con carbonato de calcio reduce el contenido de antocianinas en harinas en los maíces blanco, amarillo y rojo mientras que en el maíz negro conserva o incrementa la concentración. El tratamiento con sulfato de calcio retiene mejor el contenido de antocianinas en las variedades negro que los otros tratamientos de NE. Las variedades blancas que se esperaba tuviera un valor de cero con el método empleado y amarillas tienen las más bajo contenidos de antocianinas, sin embargo en todos los casos la NT retiene mejor las concentraciones de antocianinas que la NE.

Un estudio más detallado de las antocianinas en el grano (Cuadro 11) y en la harina y tortillas (Cuadro 21), indican pérdidas muy importantes de estos compuestos durante el procesamiento. Como se esperaba las mayores pérdidas ocurren durante el lavado del nixtamal y la elaboración de harina especialmente en el maíz blanco (43-85%) y maíz amarillo (62-74%) independientemente del tratamiento con cal o sal de calcio. Las pérdidas de cianidina 3-glucósido en el

maíz rojo y negro presentaron rangos de 8 a 50% y 9 a 56% respectivamente (Cuadro 21). Los porcentajes de pérdidas de antocianinas en las tortillas fueron de 84 al 99% en los maíces blancos y amarillos y 24 a 75% en el maíz rojo y 59 a 76% en el maíz negro. Esto pudiera indicar la poca participación de estos compuestos en la capacidad antioxidante comparados con los compuestos fenólicos.

Cuadro 21. Contenido de antocianinas en las harinas y tortillas con un proceso de NT y NE.

MAÍZ	SAL	Contenido de antocianinas (mg cianidina 3-glucósido /100g)								
		HARINA				TORTILLA				
Blanco	Ca(OH) ₂	38.24	± 0.43	b	(-59)	15.54	± 1.30	a	(-84)	
Blanco	CaCO ₃	14.14	± 2.29	c	(-85)	6.08	± 1.16	c	(-99)	
Blanco	CaCl ₂	33.53	± 0.92	b	(-64)	17.68	± 2.34	a	(-81)	
Blanco	CaSO ₄	53.95	± 3.95	a	(-43)	10.44	± 0.76	b	(-89)	
Amarillo	Ca(OH) ₂	42.69	± 0.52	b	(-74)	9.67	± 0.26	b	(-94)	
Amarillo	CaCO ₃	58.30	± 5.58	a	(-66)	5.43	± 0.49	c	(-97)	
Amarillo	CaCl ₂	64.44	± 0.72	a	(-62)	3.25	± 0.34	d	(-98)	
Amarillo	CaSO ₄	60.81	± 1.14	a	(-64)	11.56	± 0.94	a	(-93)	
Rojo	Ca(OH) ₂	177.13	± 13.13	b	(-30)	116.60	± 7.93	a	(-54)	
Rojo	CaCO ₃	146.87	± 13.45	bc	(-42)	61.09	± 5.05	b	(-24)	
Rojo	CaCl ₂	234.57	± 24.61	a	(-8)	132.61	± 5.79	a	(-48)	
Rojo	CaSO ₄	128.03	± 9.53	b	(-50)	62.79	± 6.65	b	(-75)	
Negro	Ca(OH) ₂	383.03	± 1.10	b	(-37)	181.57	± 2.14	c	(-60)	
Negro	CaCO ₃	410.69	± 2.21	a	(-9)	341.97	± 8.25	a	(-76)	
Negro	CaCl ₂	198.04	± 0.25	d	(-56)	186.63	± 0.76	c	(-59)	
Negro	CaSO ₄	313.28	± 8.77	c	(-30)	279.35	± 0.04	b	(-62)	

Medias con las mismas letras en la misma columna no indican diferencias significativas ($p < 0.05$). Valores negativos en paréntesis representan los porcentajes de pérdidas de cianidina 3-glucósido durante la transformación a harina o tortilla calculado a partir del valor encontrado en cada tipo de maíz.

Varios factores contribuyen a las diferencias de antocianinas en el maíz y los productos de la nixtamalización; entre otros factores están las características físicas de los maíces, el tiempo de cocimiento, el pH y la temperatura (Cuevas *et al.*, 2008).

Se han reportado pérdidas de antocianinas en tortillas entre el 73 y 100% para maíces pigmentados, particularmente los rojos y negros, lo que concuerda con los porcentajes de pérdidas encontrados en el presente estudio (Salinas-Moreno *et al.*, 2003; De la Parra *et al.*, 2007; Cuevas *et al.*, 2008; Mendoza *et al.*, 2012). La variación del contenido de antocianinas entre tipos de maíces ha sido asociada a la ubicación del pigmento en el grano (Salinas-Moreno *et al.*, 2003). El tiempo de cocimiento favorece la desintegración del pericarpio. Algunos maíces solamente contienen los pigmentos en el pericarpio, por lo que el proceso de nixtamalización alcalina elimina completamente las antocianinas (Salinas *et al.* 2003).

Sin embargo, las antocianinas en maíz están principalmente localizadas en la capa de aleurona y pericarpio. Al evaluar la distribución porcentual de fracciones anatómicas de las variedades (Cuadro 8), se observa que el pericarpio representa menos del 10 % de todas las fracciones del grano de maíz mientras que el endospermo, donde se ubica la capa de aleurona, representa el 90%. Esto favorece la retención de antocianinas aun después de los tratamientos de nixtamalización.

Las antocianinas en harinas (Cuadro 21) muestran una separación de rangos entre los blancos y amarillos de aquellos rojos y negros. Se observa una significativa pérdida de las antocianinas de las harinas con respecto a los granos consistente con los reportados por De la Parra *et al.* (2007) quienes demostraron que el proceso de NT tiene un efecto altamente negativo sobre las antocianinas reportando una pérdida de 77% de cianidina 3-glucósido en promedio dependiendo de la variedad de maíz. Mendoza *et al.* (2012) encontraron valores

de antocianinas de 5.45-162.52 mg/100 g mientras que los valores encontrados en este trabajo son de 14.14 a 410 mg/100 g donde estos valores fueron más altos a los encontrados por estos autores.

La pérdida de materia seca (Cuadro 12) es muy superior en la NT que en la NE y esto podría explicar parcialmente la retención de antocianinas de algunos tratamientos de PE en las variedades amarillo, rojo y negro. También un efecto de sinergismo del pH alcalino y temperatura sobre la estructura del maíz fue sugerido en varios trabajos (De la Parra *et al.*, 2007, Cortes *et al.*, 2006).

Analizando el efecto del pH sobre las antocianinas se observan valores más elevados de antocianinas en harinas de maíces blancos y amarillos obtenidas de nejayote con pH ácido o muy próximo a neutro (Cuadro 13). En el caso de maíz rojo se observa que los valores próximos a neutro favoreció la estabilidad de las antocianinas. Para el caso de del maíz negro pH más ácidos favoreció la detección de estos compuestos en los productos finales (Cuadro 13).

Como se mencionó antes, en un pH ácido las antocianinas son muy estables pero esta estabilidad se reduce cuando el pH se aproxima a la neutralidad. Los resultados encontrados parecen indicar que en maíces blancos, amarillos y rojos nixtamalizados con el método ecológico, las antocianinas se encuentran en la forma más estable (ión flavilio), mientras que los maíces negros muestran más estabilidad en condiciones alcalinas por lo que es más probable que las antocianinas que contiene son del tipo acilado más estables en estas condiciones y que se conservan a pH alcalino.

La degradación de las antocianinas aciladas durante la nixtamalización tales como cianidina 3-(6-malonil glucósido) y cianidina 3-(3, 6 dimalonilglucosido) contribuyen a incrementar el cianidina 3-glucósido que son antociananos. Por su parte el enlace éster que une el radical acilo con el glucósido de las antocianinas

aciladas no es estable a la temperatura y el pH del proceso alcalino degradando estas a cianidina 3-glucósido (Fossen *et al.*, 2001).

Los valores de antocianinas obtenidos (Cuadro 21) para las tortillas presentaron diferencias dependiendo del genotipo del maíz, los que obtuvieron más contenido de antocianinas fueron los maíces negros (146-409 mg cianidina 3-glucósido). En relación al tratamiento, la nixtamalización ecológica presentó mejor desempeño en todos los genotipos que la nixtamalización tradicional. Mendoza *et al.* (2012) obtuvieron valores de 10.3-344.5 mg/100 gr, mientras los datos encontrados en este trabajo están en un intervalo de 3.25-279.

La antocianina en particular y la composición polifenólica del genotipo negro fue un factor que probablemente contribuyó a su mayor estabilidad. Investigaciones previas han determinado que la aparición específica y la concentración de polifenoles presentes en matrices de alimentos que contienen antocianina tienen un profundo efecto en la estabilidad de antocianinas (Bridle y Timberlake, 1997, Del Pozo-Insfrán *et al.*, 2004 y Mazza y Miniati, 1993).

5.3.3 Actividad antioxidante por DPPH

Para la actividad antioxidante por el método de DPPH en harina y tortilla se observa en el Cuadro 22 con el proceso de nixtamalización tradicional y ecológico.

Para los datos de actividad antioxidante por el método de DPPH, el proceso de NT presentó valores de 218, 240, 245, 246, 294 mg ácido ascórbico/100 g) mientras que el proceso NE presentó los valores de 275, 282, 278, 254, 274 mg ácido ascórbico/100 g para las harinas obtenidas con maíz blanco, amarillo, rojo y negro respectivamente.

Se encontró un efecto significativo ($p < 0.05$) del genotipo de maíz y de la combinación genotipo-tratamiento sobre la actividad antioxidante en harinas. La

harina de los genotipos amarillo y negros sometidos a nixtamalización ecológica con carbonato de calcio y sulfato de calcio retuvieron una actividad antioxidante mayor que aquellas harinas obtenidas de genotipos sometidos a nixtamalización tradicional con hidróxido de calcio. Las harinas del genotipo negro retuvieron mayor actividad antioxidante cuando fue sometida a NE con carbonato de calcio.

Cuadro 22. Actividad antioxidante en harina y tortilla utilizando el método DPPH.

MAÍZ	SAL	HARINA				TORTILLAS			
		(mg ácido ascórbico/100g)							
Blanco	Ca(OH) ₂	217.91	± 1.90	d (-20)	163.86	± 2.25	c (-40)		
Blanco	CaCO ₃	291.08	± 1.18	a (+6)	186.63	± 2.57	b (-32)		
Blanco	CaCl ₂	280.88	± 1.70	b (+3)	165.60	± 0.64	c (-39)		
Blanco	CaSO ₄	254.36	± 0.90	c (-7)	194.26	± 0.71	a (-29)		
Amarillo	Ca(OH) ₂	240.13	± 2.42	d (-2)	202.55	± 0.60	c (-18)		
Amarillo	CaCO ₃	288.75	± 0.50	b (+17)	171.52	± 2.63	d (-30)		
Amarillo	CaCl ₂	300.12	± 1.05	a (+22)	207.65	± 0.98	b (-16)		
Amarillo	CaSO ₄	259.83	± 1.50	c (+6)	234.14	± 2.40	a (-5)		
Rojo	Ca(OH) ₂	244.96	± 0.30	d (-18)	181.09	± 1.48	d (-39)		
Rojo	CaCO ₃	269.19	± 0.18	c (-9)	210.59	± 2.48	b (-29)		
Rojo	CaCl ₂	279.30	± 0.68	b (-6)	269.49	± 3.19	a (-9)		
Rojo	CaSO ₄	288.18	± 1.31	a (-3)	188.63	± 1.23	c (-37)		
Negro	Ca(OH) ₂	274.46	± 0.91	c (+18)	154.37	± 0.91	b (-33)		
Negro	CaCO ₃	293.84	± 2.62	a (+27)	170.81	± 2.03	a (-26)		
Negro	CaCl ₂	265.31	± 1.61	d (+15)	151.32	± 1.60	b (-35)		
Negro	CaSO ₄	282.88	± 2.08	b (+23)	168.86	± 0.26	a (-27)		

Medias con las mismas letras en la misma columna no indican diferencias significativas ($p < 0.05$). Valor en paréntesis con signo positivo representa porcentaje de incremento de la capacidad antioxidante y valores negativos son porcentajes de pérdidas en relación con la capacidad antioxidante del tipo de maíz utilizado.

Los valores obtenidos de la actividad antioxidante en tortillas (Cuadro 22) presentaron un rango de 161 – 269 mg ácido ascórbico/100 gr bs, presentando en general mejores valores de capacidad antioxidante los tratamientos con nixtamalización ecológica. En la nixtamalización tradicional presentó rangos de 154-202 mg ácido ascórbico/100 gr bs, mientras para la nixtamalización ecológica obtuvimos valores de 151-269 mg ácido ascórbico/100 gr bs. El maíz rojo presentó un buen desempeño con cloruro de calcio, mientras para los maíces blancos, amarillo y negro presentaron mayores valores de actividad antioxidante con el sulfato de calcio.

El Cuadro 22 muestra que en general las harinas del proceso NT presentaron pérdidas de capacidad antioxidante del 2 al 20% en comparación con los valores originales del maíz, excepto para las harinas del maíz negro que tuvieron incrementos de la capacidad antioxidante en todos los tratamientos. Las harinas elaboradas con las variantes de NE en general incrementaron su capacidad antioxidante en el rango de 3 al 27% excepto en las harinas del maíz rojo, pero tuvieron pérdidas del 9-12% menores que la actividad antioxidante del NT para ese maíz.

En relación a la actividad antioxidante en las tortillas, todos los tratamientos de los procesos de NT y NE fueron afectados, siendo el proceso NT el que presentó el mayor porcentaje (18-40%) de reducción de su capacidad antioxidante (Cuadro 22). Las variantes del proceso de NE presentaron un mejor desempeño con reducciones menores de su capacidad antioxidante del 5 al 39% comparada con el valor original del maíz empleado. Los datos del presente estudio están en concordancia con lo reportado por De la Parra *et al.* (2007) quienes encontraron decrementos de entre 30 y 50% de la actividad antioxidante al comparar granos de maíz sin tratamiento con masa y tortillas usando el método de nixtamalización tradicional.

Tendencias similares fueron también reportadas por Dewanto *et al.* (2002) quienes encontraron que el proceso térmico de maíz dulce incrementó significativamente contenido de fenólicos libres, contenido de ácido ferúlico y la capacidad antioxidante total, principalmente por el incremento de contenido de ácido ferúlico libre y conjugado debido a la liberación de ácidos ferúlico ligados en la forma de glucósidos conjugados. El incremento de la actividad antioxidante por procesos térmicos se puede explicar por el incremento en la cantidad de la solubilización de esteres de ácido ferúlico, la presencia de mayor cantidad de fenoles ligados en maíz y probablemente por efectos aditivos y sinergismo de otros fitoquímicos como fenoles y flavonoides (Eberhardt *et al.*, 2000). En alimentos se ha reportado que el cocimiento incrementa o reduce la actividad antioxidante de los alimentos dependiendo de la naturaleza y la estructura molecular de los compuestos antioxidantes (Wu *et al.*, 2004)

Dewanto *et al.* (2002) reportaron de 8-10 veces más alta la cantidad de ácido ferúlico obtenido de los extractos de fitoquímicos solubles obtenidos por procesos térmicos después de ser sometidos a hidrólisis, por lo que el incremento de actividad antioxidante encontrado en las harinas de las variedades sometidas a tratamientos de NE y NT en este trabajo, se puede explicar por la liberación de fenoles ligados, efectos aditivos y sinergismo de otros fitoquímicos y la hidrólisis favorecida por la temperatura y las sales utilizadas en los tratamientos de NE y NT.

Por otra parte, Maya Cortez *et al.* (2010) y Campechano *et al.* (2012) encontraron que las harinas con el proceso de nixtamalización ecológica retienen casi intacto el pericarpio, por la inhibición de la hidrólisis del grupo éster del ácido ferúlico que está ligado covalentemente con los arabinoxilanos o gomas que forman el pericarpio del grano, permitiendo la retención de compuestos fenólicos en dicha estructura. La menor pérdida de materia seca (Cuadro 13) con el tratamiento NE indica un mayor contenido de fibra total (pericarpio) en las harinas también tiene un efecto físico de barrera durante el cocimiento y lavado del

nixtamal, reteniendo de esta manera mayor cantidad de compuestos que afectan positivamente la actividad antioxidante.

VI. CONCLUSIONES

Los tratamientos con sales en la nixtamalización ecológica superaron a la nixtamalización tradicional en cuanto a los niveles de compuestos nutraceuticos retenidos en harinas y tortillas.

En el nejayote se encontró que los tratamientos de nixtamalización ecológica tuvieron menores pérdidas de materia seca y una disminución del pH con una tendencia a pHs neutros o ligeramente ácidos.

Se observó que los fenoles y antocianinas fueron más altos en los maíces, harinas y tortillas de maíz negro y rojo. Sin embargo la actividad antioxidante con DPPH dependió de la sal empleada, siendo la tortilla del maíz rojo la que presentó relativamente alta capacidad antioxidante.

Se encontró un efecto del genotipo y las sales en la calidad y compuestos nutraceuticos. La nixtamalización ecológica presentó el mejor desempeño que la nixtamalización tradicional para retener compuestos que incrementan la capacidad antioxidante en las harinas y tortillas.

VII LITERATURA CITADA

- AACC. 1983. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, 8th ed., No. 44-40. AACC Inc., St. Paul, MN.
- Abdel-Aal, E.-S. M, Hucl, P. 1999. A rapid method for quantifying total anthocyanins in blue aleurone and purple pericarp wheats. *Cereal Chem.*, 76:350–354.
- Adom, K. K., and R. H. Liu. 2002. Antioxidant activity of grains. *J. Agric. Food Chem.* 50:6182-6187.
- Anderson R. M., Gordon D. M., Crawley M. J. and Hassell M. P. 1982. Variability in the abundance of animal and plant species. *Nature (Lond.)* 296:243-248.
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, Vol. II, 15th ed. Sec.985.29. The Association: Arlington, VA.
- Aoki, H., Kuze, N., Kato, Y. 2002. Anthocyanins isolated from purple corn (*Zea mays* L.). *Foods Food Ingredients J. Jpn.* 199: 41–45.
- Arámbula V. G., Barrón Á. L., González H. J., Moreno M. E., Luna B. G. 2001. Efecto del tiempo de cocimiento y reposo del grano de maíz (*Zea mays* L.) nixtamalizado, sobre las características fisicoquímicas, reológicas, estructurales y texturales del grano, masa y tortillas de maíz. *ALAN*, 51(2): 187-194
- Arámbula V. G., Gutiérrez A. E., Moreno M. E. 2007. Thermal properties of maize masa and tortillas with different components from maize grains, and additives. *J. Food Eng.* 80:55–60
- Badui D. S. 1999. *Química de Alimentos*. Pearson Educación Editorial México. 245 pp.
- Baéz R. O. A., y Martínez, B. A. 1990. Estudio de la influencia de proceso sobre la calidad de harina de maíz nixtamalizado para tortilla. Tesis de Licenciatura. Ingeniería Agroindustrial. UACH. Chapingo, México.
- Bakan, B., Bily A. C., Melcion D., Cahagnier B., Regnault-Roger C., Philogene B. J. R. and Richard-Molard D. 2003. Possible role of plant phenolics in the production of tricho-thecenes by *Fusarium graminearum* strains on different fractions of maize kernels. *J. Agric. Food Chem.* 51:2826-2831.
- Banks N. and Greenwood C. T. 1975. *Starch and its components*. Edinburgh : Edinburgh University Press
- Bedolla, S. 1983. Development and characterization of instant tortilla flours from sorghum and corn by infra-red baking (micronizing) and extrusion baking. PhD dissertation. Texas A&M University: College Station, TX.
- Bedolla S. and Rooney L.W. 1982. Cooking maize for masa production. *Cereal Foods World*, 27:219-221.

- Belitz H. D. and Grosch W. 1988. Química de los alimentos. Ed. Acribia, España. 910 pp.
- Bello P. L., Osorio D. P., Agama A. E., Nuñez S., Paredes L. O. 2002. Propiedades Químicas, Fisicoquímicas y reológicas de masas y harinas de maíz nixtamalizadas. *Agrociencia* 36:319-328
- Billeb de Sinibaldi A. C., Bressani R, 2001. Características de cocción por nixtamalización de once variedades de maíz. *ALAN* 51(1)86-94.
- Bily, A. C., Burt A. J., Ramputh A., Livesey J., Regnault-Roger C., Philogene B. R. and Arnason J. T. 2004. HPLC-PAD-APCI/MS assay of phenylpropanoids in cereals. *Phytochem. Analysis* 15: 9-15.
- Bjarnason M. and Palmer W.G. 1972. The maize germ: its role as a contributing factor to protein quality and quality. *Z. Pflanzenzucht* 68:83-89
- Boyd R.D. and Beerman D.H. 1992. Manipulation of body composition. *In: Diseases of Swine* editor Lemman A.D. 7th edit IOWA. 73:909-921.
- Brand-Williams W., Cuvelier M. E., Berset C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Leben Wissenund Technol.* 28:25-30.
- Bressani R.D. 1959. La composición química y el valor nutritivo del maíz. *In* 4 Congreso Indigenista Interamericano, Guatemala.
- Bressani R.D. 1972. La importancia del maíz en la nutrición humana, en América Latina y otros países. En R. Bressani, J.E. Braham y M. Béhar, eds. *Mejoramiento nutricional del maíz*. Pub. INCAP L-3, p. 5-30. Guatemala, INCAP.
- Bressani R.D. 1990. Chemistry, technology and nutritive value of maize tortillas. *Food Reviews International* 6: 225-264.
- Bressani R.D. 2008. Cambios nutrimentales en el maíz inducidos por el proceso de nixtamalización. *In: Nixtamalización – De maíz a la tortilla. Aspectos nutricionales y toxicológicos* (edited by G.M.E. Rodríguez, S.O. Serna-Saldívar y F. Sánchez-Sinencio). Pp. 19–80. UAQ: Querétaro, Mex.
- Bressani R.D., Paz and Scrimshaw, N. S., 1958. Chemical Changes in Corn During Preparation of Tortillas. *J. Agric. Food Chem.* 6:770- 774.
- Bressani R., Breuner M. y Ortiz M.A. 1989. Contenido de fibra ácido- y neutrodetergente y de minerales menores en maíz y su tortilla. *Archivos Latinoamericano de Nutrición.* 39:382-391.
- Bressani R.D., Turcios J. C., Reyes L. y Mérida R. 2001. Caracterización física y química de harinas industriales nixtamalizadas de maíz de consumo humano en América Central. *ALAN* 51: 3.
- Bridle P. and C.F. Timberlake, 1997 Timberlake. Anthocyanins as natural food colours-selected aspects. *Food Chem.* 58:103–109

- Burge R.M. and Duensing W.J. 1989. Processing and dietary fiber ingredient applications of corn bran. *Cereal Foods World*. 34:535-538.
- Cabrera, L. G. (1992). *Diccionario de aztequismos*. México, D. F.: Colofón, S. A.
- Cámara Nacional del maíz industrializado 2003. Principales cultivos en México, estimación y oferta de maíz en México.
- Campechano C.E.M., Figueroa C.J.D., Arámbula V.G., Martínez F.H.E., Jiménez S.S.J., Luna B.J.G. 2012. New ecological nixtamalisation process for tortilla production and its impact on the chemical properties of whole corn flour and wastewater effluents. *International J. Food Scie. Tech.* 47: 564-571
- Chang Y. H., and Hsu K. H. 1985. Extent of starch gelatinization during hydrothermal processing of corn for masa production. *Cereal Foods World*, 30, 545.
- Coe E. H., Neuffer M. G. and Hoisingto, D. A. 1988. Corn and corn improvement: the genetics of corn. 3ra. ed., *Agronomy No. 18*, American Society of Agronomy, pp 147-153. U.S.A.
- Contreras J.B.L. 2009. Caracterización de harina de maíz instantánea obtenida por calentamiento óhmico. Tesis de maestría. Centro de Investigación en Ciencia aplicada y Tecnología Avanzada.
- Cortes, G. A.; Salinas, M. Y.; San Martín-Martínez, E.; Martínez-Bustos, F. 2006, Stability of anthocyanins of blue maize (*Zea mays* L.) after nixtamalization of separated pericarp-germ tip cap and endosperm fractions. *J. Cereal Sci.* 43: 57-62.
- Cuevas M.E., Antezana A. and Centerhater P. 2008. Análisis y caracterización de antocianinas en diferentes variedades de maíz (*Zea mays*) Boliviano. *Memorias Red Alfa Laguotech. Comunidad europea. Cartagena.* 79-95
- De la Parra, C., S. O. Serna Saldívar, and L. R. Hai. 2007. Effect of processing on the phytochemical profiles and antioxidant activity of corn for production of masa, tortillas, and tortilla chips. *J. Agric. Food Chem.* 55:4177-4183.
- De Pascual, T.S. and Sánchez, M.T.B. 2008). Anthocyanins: from plant to health. *Phytochem. Rev.* 7:281-299.
- Del Pozo Insfran D., Brenes C.H., Saldívar, S.O.S. and Talcott, S. T. 2006. Polyphenolic and antioxidant content of white and blue corn (*Zea mays* L.) products. *Food Research International* 39(6):696-703.
- Del Pozo-Insfran d., Brenes C.H., Talcott S.T. 2004. Phytochemical composition and pigment stability of Açai (*Euterpe oleracea*). *J. Agric. Food Chem.* 54:1539-1545
- Del Valle F.R. 1972. Producción industrial, distribución y mercadeo de la harina para tortillas en México. *En* R. Bressani, J.E. Braham y M. Béhar, eds. *Mejoramiento nutricional del maíz*. Pub. INCAP L-3, p. 60-86. Guatemala, INCAP.

- Dengate, H.N. 1984. Swelling starch pasting, and gelling of wheat starch. In *Advances In Cereal Sci. and Techn.* Vol VI. Pag. 49-82. Ed. AIN Assoc Cereals, chem., St. Paul. MN.
- Deschamps A.L. 1985. Aprovechamiento industrial del maíz en la manufactura de productos alternos a los de panificación originados en el trigo. Congreso Tecnología de Alimentos Viña del Mar, Chile.
- Dewanto, V.; Wu, X.; Liu, R. H. 2002. Processed sweet corn has higher antioxidant activity. *J. Agric. Food Chem.* 50:4959-4964.
- Durán C., Guerra R. and Sterner, H. 1979. Extruded corn flour as an alternative to lime heated corn flour for tortilla preparation. *J. Food Sci.*, 44:940-941
- Durán C. 1996. La extrusión alcalina una tecnología útil para procesar granos. *Industria Alimentaria.* 18(6):20- 32.
- Earl L., Earl J.M., Navjokaitis S., Pyle S., McFalls K. and Altschul, A.M. 1988. Feasibility and metabolic effects of a purified corn fiber toad supplement. *J. Am. Diet. Assoc.* 88: 950-952.
- FAO, 1996. El maíz en la nutrición humana. Depósito de documentos de la FAO Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.
- Fennema Owen R. 1996. Química de los alimentos. Edit. Marcel Dekker, New York, Basel. Ab
- Fernández-Muñoz J. L., Zelaya-Ángel O., Cruz-Orea A. and Sánchez- Sinencio F. 2001. Phase transitions in amylose and amylopectin under the influence of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in aqueous solution. *Analytical Sci.* 17:338-341
- Fernández-Muñoz J. L.; 2002. Caracterización físico-química de biopolímeros derivados del maíz sometidos a tratamiento térmicoalcalino. Tesis de Doctorado CICATA-IPN México DF.
- Figueroa J.D.C., Martínez B.F., González H. J., Sánchez S.F., Martínez M. J.L., y Ruiz T. M. 1994. Modernización tecnológica del proceso de nixtamalización. *Avance y Perspectiva.* 13:323- 329.
- Figueroa J.D.C., González H. J., Arámbula V. G. y Morales S. E. 1997. Tecnologías Ecológicas para la Producción de Tortilla. *Avance y Perspectiva* 16:363-374.
- Figueroa J.D.C., Acero, G.M.G., Flores, A.L.M., Lozano, S.A., González, H.J., Arámbula, V.G., Moreno, M.M.E. 1999a. La Tortilla Vitaminada. *Avance y Prespectiva* (18):149-158.
- Figueroa J.D.C., Taba S., Día J., Santoyo C., and Morales S.E. 1999b. Characterization of Bolita Race Collections for Tortilla. Yield and Physico-Chemical Properties. *CIMMYT Proceedings* 11- 16.
- Figueroa J.D.C., González H. J., Morales S.E., Arámbula V. G. 1999c. Nuevas Tecnologías de nixtamalización para la producción de tortillas. *Memorias del IV*

- Seminario “Excelencia en calidad para tortillas y botanas de maíz”. American Soybean Association. Ciudad de México.
- Figueroa J.D.C., Lozano G.A. López C.C. And González- Hernández J. 2000. Evolution of the machines for the Corn Tortilla Production. In: History Of Machines And Mechanisms. Ed. Marco Ceccarelli. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. 93- 99.
- Figueroa J.D.C. y González-Hernández J. 2001a. La Tecnología de la Tortilla. Pasado, Presente y Futuro. Ciencia y Desarrollo. 27(156):22-31.
- Figueroa J. D.C., Acero G. M. G., Vasco M. N., Lozano G. A., Flores A. L., González H. J., 2001b. Fortificación y evaluación de tortillas de nixtamal. ALAN 51: 3:293-302. ISSN 0004-0622.
- Figueroa J.D.C., Morales S.E., González-Hernández J., Arámbula V.G. 2002. Proceso De Nixtamalización Limpia Y Rápida Para La Producción De Masa Fresca De Maíz Para Elaborar Tortillas, Harinas Instantáneas y Sus Derivados. Patente Mexicana 210991. 24 de Octubre de 2002.
- Figueroa J.D.C., Morales S.E, González H. J. and Arámbula V. G. 2003a. Nixtamalized Corn and Products obtained from Same. Patente Internacional PCT No. WO03/045154 A1. Registrada en 150 países. 5 de junio 2003.
- Figueroa J.D.C., Morales S. E, González H. J. and Arámbula V. G. 2003b. Nixtamalized corn and products thereof. United States Patent Application No. 30198725. October 23, 2003.
- Figueroa J.D.C., Morales S. E, González H. J. and Arámbula V. G. 2003c. Nixtamalized corn and products thereof. Australia Patent Application No. AU 2002353650. June 10, 2003.
- Figueroa C.J.D., Morales S. E, González H. J. and Arámbula V. G. 2004. Nixtamalized corn and products thereof. Canadian Patent CA 2468277. May 26, 2004.
- Figueroa J.D.C., Martínez-Bustos F., González-Hernández J., Sánchez-Sinencio F., Martínez,M, J.L., y Ruiz, T.M. 2006. Extrusor y proceso continuo para obtención de masa fresca de maíz para la elaboración de tortillas, harinas instantáneas y sus derivados. Patente mexicana No. 234427.
- Figueroa J.D.C., Morales S.E. y González-Hernández J. 2008a. Dispositivo Electromecánico para la Formación Automática de tortillas”. Patente Mexicana No. Patente Mexicana 258131. 18 de junio de 2008.
- Figueroa J.D.C., Acero Godínez M.G. y Quezada T.T. 2008b. Efecto de la fortificación en el desarrollo de cerdos alimentados con tortillas fortificadas de nixtamal, de harina nixtamaliza y tortillas integrales de maíz. In Nixtamalización, del Maíz a la Tortilla. Aspectos nutrimentales y toxicológicos. Eds. Rodríguez G. M. E., Serna Salidívar S.O. Sánchez Sinencio F. Talleres gráficos de la Universidad Autónoma de Querétaro. Serie Ingeniería. Capítulo 6: 201-219.

- Figuroa J.D.C. 2010. Maíz y tortilla: alimento, cultura y tradición de México. Aportaciones queretanas a su modernización. In: La ciencia, el desarrollo tecnológico y la innovación en Querétaro. Historia, Realidad y Proyecciones. Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro y la Facultad de Filosofía de la UAQ. ISBN 978-607-7710-29-5. Nov 2010.
- Figuroa J.D.C., Rodríguez C. A. y Véles M. J.J. 2011. Proceso ecológico de nixtamalización para la producción de harinas masa y tortillas integrales. Patente mexicana número 289339.
- Figuroa J.D.C., Rodríguez-Chong A. 2011. Métodos ecológicos de nixtamalización de rendimientos incrementados mediante el uso de energías no convencionales. Patente mexicana 292391, Expedición 10 de noviembre de 2011.
- Flores F. R. 2004. Efecto de la incorporación de fibra dietética de diferentes fuentes sobre propiedades de textura y sensoriales en tortillas de maíz (*Zea maíz L.*). Tesis de maestría. CICATA, Querétaro.
- Flores F. R., Martínez-Bustos. F., Salinas-Moreno. Y., Kil C.Y., González H. J. and Ríos E. 2000 Physicochemical and rheological characteristics of commercial nixtamalised Mexican maize flour for tortillas. *J. Sci Food Agric.* 80(6):657.664
- Flores F. R., Martínez B. F., Salinas Y., Ríos E. 2002. Caracterización de harinas comerciales de maíz nixtamalizado. *Agrociencia*, 36:5:557- 567. México.
- Ford, R. H. 2000. Inheritance of kernel color in corn: explanations and investigations. *Amer. Biol. Teacher* 62:181-188.
- Fossen, T., Slimestad, R. and Andersen, O. M. 2001. *J. Agric. Food Chem.*, 49:2318-2321.
- Galicia G. T., 2002., Nixtamalización de maíz integral por extrusión para la producción de harina de maíz instantánea., Tesis de Licenciatura UACH Texcoco México.
- Gallardo, C., L. Jiménez, and M-T. García-Conesa. 2006. Hydroxycinnamic acid composition and in vitro antioxidant activity of selected grain fractions. *Food Chem.* 99: 455-463.
- García-Conesa M.T., G.W. Plumb, K.W. Waldron, J. Ralph, G. Williamson. 1997. Ferulic acid dehydrodimers from wheat bran: Isolation, purification and antioxidant properties of 8-O-4'-diferulic acid. *Redox Report*, 3:319–323
- Gaytán-Martínez, M., Figuroa, J.D.C., Vázquez-Landaverde, P.A., Morales-Sánchez, E., Martínez-Flores, H.E. & Reyes-Vega, M.L. 2012. Physicochemical, functional, and chemical characterization of nixtamalized corn flour obtained by ohmic heating and traditional process. *CyTA-Journal Food.* 10(3):182-195.
- Gómez M.H., Waniska R. D., y Rooney and Pflugfelder, R. L. 1987. Dry corn masa flours for tortilla and snack production. *Cereal Foods World.* 32:372.

- Gómez M.H., McDonough C.M., Rooney L.W. and Waniska R.D. 1989. Changes in corn and sorghum during nixtamalization and tortilla baking. *J. Food Sci.* 54: 330-336.
- Gómez A., Martínez B.F., Figueroa J.D.C y González H. J. 1996. Cambios en algunos componentes químicos y nutricionales durante la preparación de tortillas de maíz elaboradas con harinas instantáneas obtenidas por extrusión continua. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 46(4):315-319.
- González H.J. Figueroa J.D.C., Martínez-Montes J.L., Vargas H., and Sánchez-Sinencio F. 1997. Technological Modernization of the Alkaline Cooking Process for the Production of Masa and Tortilla. *In: Physic and Industrial Development: Bridging the Gap.* Eds Gazzinelli R., Moreiraa R.L., and Rodrigues, W.N. World Scientific Publishing Co. Singapore and London. 162-178
- Grijalva O. A., Rodríguez Herrera S. A., Arámbula Villa G., Palomo Gil A., Gutiérrez Arias E., Espinosa Banda A., Navarro Orona E., Enríquez A. E. 2008. Calidad tortillera en maíces criollos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31:3:23-27.
- Gutierrez, E., Rojas, I., Pons, J.L., Guzmán, H., Aguas, B., Arenas, J., Fernández, P., Palacios, A., Herrera, G. and Rodríguez, M. E. 2007. Study of calcium ion diffusion in nixtamalized quality protein maize as a function of cooking temperature. *Cereal Chem.* 84(2):186-194
- Gutiérrez-Uribe J.A., Rojas G.C., García L.S., Serna S.S.O. 2010. Phytochemical analysis of wastewater (nejayote) obtained after lime-cooking of different types of maize kernels processed into masa for tortillas. *J Cereal Sci.* 52 410-416.
- Hawthorn J. 1983. *Fundamentos de ciencia de los alimentos.* Ed. acribia, España.
- Hernández, X.E. 1985. Maize and man in the greater southwest. *Econ. Bot.* 39: 416-430.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). *Abasto y comercialización de productos básico.*, México 1998.
- Jaime F. M. R. 2002 Estudio de las variables de un nuevo proceso de nixtamalización fraccionada de maíz (*Zea mays*) en la elaboración de harina instantánea y tortillas., Tesis de maestría CICATA-IPN México.
- Jane J. 1993. Mechanism of starch gelatinization in neutral salt solution. *Starch/Stärke* 45: 161-166
- Kennedy J.F., P. Methacanon, L.L. Lloyd. 1999. The identification and quantitation of the hydroxycinnamic acid substituents of a polysaccharide extracted from corn bran. *J. Sci. Food Agric.* 79:464-470
- Khan M.N., Desrosiers M.C., Rooney L.W., Morgan R.G. and Sweat V.E. 1982. Corn tortillas: evaluation of corn cooking procedures. *Cereal Chem.* 59: 279-284.
- Kirby L. T. 1970. Genetics of the flavonoid system in the aleurone layer of maize. M. Sc. thesis, University of Victoria, Victoria, B.C.

- Landry J. et Moureaux T. 1970. Hétérogénéité des glutélines du grain de maïs: Extraction sélective et composition en acides aminés des trois fractions isolées. *Bull. Soc. Chim. Biol.* 52: 1021 - 1037.
- Landry J. and Moureaux T. 1982. Distribution and amino acid composition of protein fractions in opaque-2 maize grain. *Phytochem.* 21:11365- 1869.
- Lee L.S, Chang E.U., Rhim J.W., Ko B.S. Cho S.W. 1997. Isolation and identification of anthocyanins from purple sweet potatoes. *J. Food Sci. Nutr.* 2: 83-88.
- López M., y Segurajaúregui J. 1986. Efecto de la variedad del maíz en la cinética de nixtamalización. *Tecnol. Aliment. (Méx.)* 21(5):13-18.
- López-Martínez, L. X., R. M. Oliat-Ros, G. Valerio-Alfaro, C-H. Lee, K. L. Parkin, and H. S. Garcia. 2009. Antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins content of eighteen strains of Mexican maize. *LWT- Food Sci. Technol.* 42:1187-1192.
- López Martínez, L. X. y García-Galindo, H. S. 2009. Actividad antioxidante de extractos metanólicos y acuosos de distintas variedades de maíz mexicano. *Nova Scientia.* 2(3): 51-65.
- Martínez F. H. E. 1993. Elaboración de un alimento extruido, expandido tipo cereal para desayuno, con base en maíz y pasta de soya y cartamo., Tesis de maestría CINVESTAV México D.F
- Martínez-Bustos, Figueroa J.D.C., Sánchez-Sinencio F., González-Hernández J. Martínez M. J.L., and Ruiz T.M. 1996a. Method for the preparation of instant fresh corn dough or masa. Patent US 5,532,013.
- Martínez B. F., Figueroa J. D. C and Larios S. A., 1996b., High lysine extruded products of quality protein maize., *J. Sci. Food Agric.* 71: 151-155
- Martínez-Bustos F., Martínez-Flores H. E., Sanmartín-Martínez E., Sánchez-Sinencio, F., Chang Y.K., Barrera-Arellano D and Ríos E. 2001. Effects of the components of maize on the quality of masa and tortilla during the traditional nixtamalisation process. *J Sci Food Agri.* 81(15):1455–1462.
- Martínez-Flores H.E., Martínez-Bustos F., Figueroa J.D.C., and González-Hernández J. 2002. Studies and Biological Assays in Corn tortillas Made from Fresh Masa Prepared by Extrusion and Nixtamalization Processes. *J. Food Sci.* 67(3):1196-1199.
- Maya-Cortés D. C Figueroa C. J., Garnica-Romo M. G., Cuevas-Villanueva R. A., Cortés-Martínez R. A., Véles-Medina J. J., Martínez-Flores H. E. 2010. Whole-grain corn tortilla prepared using an ecological nixtamalisation process and its impact on the nutritional value. *International J. Food Sci. Tech,* 45: 23–28 23
- Mazza, G.; Miniati, E. 1993. Anthocyanins in fruits, vegetables and grains, CRC Press.
- Meléndez M.A.J.; Vicario. I. M. y Heredia, F. J. 2004. Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos. *Arch. Latinoamer. Nutr.* 57(2):209-215.

- Mendoza D.S, Ortiz V. M.C., Castaño T.E., Figueroa C.J.D., Reynoso C.R., Ramos G.M., Campo V.R. & Loarca P.G. 2012. Antioxidant Capacity and Antimutagenic Activity of Anthocyanin and Carotenoid Extracts from Nixtamalized Pigmented Creole Maize Races (*Zea mays* L.). *Plant Foods Hum Nutr.* 67 (3) 191-317.
- Mensah-Agyapong J. and Horner F.A.W. 1992. Nixtamalisation of maize (*Zea mays* L.) using a single screw cook-extrusion process on lime-treated grits. *J. Sci. Food Agric.* 60:509–514.
- Muñoz M. y Chávez A. 1998. El impacto del maíz fortificado con proteínas y micronutrientes en una comunidad rural. Informe técnico de la evaluación anual sobre el efecto nutricional de la harina de maíz nixtamalizada fortificada Instituto Nacional de Nutrición Salvador Zubiran .El Rincón, San Ildefonso, Querétaro México.
- NMX-F-046-S-1980, Harina de maíz nixtamalizado norma mexicana.
- NOM-147-SSA1-1996, Bienes y servicios. Cereales y sus productos. Harinas de cereales, semolas o semolinas. Alimentos a base de cereales, de semillas comestibles, harinas, semolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales.
- NOM-187-SSA1/SCFI-2002, Productos y servicios. Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración y establecimientos donde se procesan. Especificaciones sanitarias. Información comercial. Métodos de prueba.
- NMX-FF_034/1-SCFI-2002. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano-Cereales-Parte I:Maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado- Especificaciones y métodos de prueba.
- Oosten B. J. 1982. Tentative hypothesis to explain how electrolytes affect the gelatinization temperature of starches in water. *Starch/Stärke* 34:233-239
- Ortega R. A., Sánchez J., Castillo G.F., Hernández J.M. 1991. Estado actual sobre los maíces nativos de México. En *Avances en el estudio de los recursos filogenéticos de México*. Somefi. México. pp. 161-196.
- Ortega S. Cid, Angeles Marín A. y Cisneros González F., Mariscal Landin G. y Monroy Rivera J. A., 2006. Efecto de los sólidos insolubles de nejayote sobre parámetros de eficiencia alimenticia en cerdos de crecimiento. *Ergonmix*. Artículos técnicos. Consulta web. http://www.engormix.com/s_articles_view.asp?art=423 (Mayo, 2009).
- Osman E. M. 1975. Interaction of starch with other components of food systems. *Food Tech.* 30-44

- Ostrabder, M.P. Malliot, S. Toillon, Y. Barriere, M. Pollacsek, J.M. Bistle. 1999. Cell wall phenolics and digestibility of normal and brown midrib corns in different stem sections and across maturity stages. *J. Sci. Food Agric.* 79:414–415.
- Pascual, S., Santos-Buelga, C. and Rivas-Gonzalo, J.C. 2002. LCMS analysis of anthocyanins from purple corn cob. *J. Sci. Food Agric.* 82 (9): 1003–1006.
- Paredes L.O. 2002. Propiedades Químicas, Fisicoquímicas y reológicas de masas y harinas de maíz nixtamalizadas. *Agrociencia* 36:319-328
- Paredes L.O., and Saharapolus M.E., J. 1982. Scanning electron microscopy studies of limed corn kernels for tortilla making *Food Tech.* 17: 687-693
- Pérez D. A. 1996. Adición de Proteínas de soya al maíz., Asociación Americana de Soya CAT. No 65: 1-2.
- Pflugfelder R.L, Rooney L.W. and Waniska R.D. 1988. Dry matter losses in commercial corn masa production. *Cereal Chem.* 65:127-132.
- Reddy G. M. 1964. Genetic control of Leucoanthocyanidin formation in maize. *Genetic* 50:485-489.
- Reyes C. P. 1990. El maíz y su cultivo. Primera edición. Ed. AGT editor, S.A.
- Reyes M.C., Milán-Carrillo, J., Gutiérrez-Dorado, R., Paredes-López, O., Cuevas-Rodríguez, E.O., Garzón-Tiznado J.A. 2003. Instant flour from quality protein maize (*Zea mays* L). Optimization of extrusion process. *LWT - Food Sci and Tech.* 36(7):685–695.
- Reyes V. M.L., Peralta Rodríguez R.D., Anzaldua Morales A., Figueroa J.D. C., y Martínez Bustos F, 1998. Relating sensory textural attributes of corn tortillas to some instrumental measurements. *J. Texture Studies* 29:361-373.
- Robinson S. D. 1991. Bioquímica y valor nutritivo de los alimentos. Ed. acribia, España.
- Robles R.R., Murray E.D. and Paredes-López O. 1988. Physicochemical changes of maize starch during the lime-heat treatment for tortilla making. *J. Food Sci.* 23(1):91–98
- Rodríguez, M.E., Yañez-Limpon M., Alvarado-Gil J.J., Vargas, H., Sánchez-Sinencio, F., Figueroa, J.D.C. Martínez-Bustos, F., Martínez-Montes, J.L., González-Hernández, J., Silva, M.D., and Miranda, L.C.M. 1996. Influence of the Structural Changes During Alkaline Cooking on the Thermal Rheological, and Dielectrical Properties of Corn Tortillas. *Cereal Chem.* 73(5):593-600.
- Rodríguez P., San Martín M. E., y González C. E. 2001. Calorimetría diferencial de barrido y rayos X del almidón obtenido por nixtamalización fraccionada *Superficie y Vacío* 13:61-65
- Rojas M.I., Gutiérrez-Cortez E., Palacios-Fonseca A., Baños L., Pons-Hernández J.L., Guzmán- Maldonado S.H., Pineda-Gómez P. and Rodríguez M.E. 2007. Study

- of the structural and thermal changes in the endosperm of quality protein maize during traditional nixtamalization process. *Cereal Chem.*, 84 (4): 304-312
- Román-Brito, J. A. Agama-Acevedo, E., Méndez-Montealvo, G and Bello-Pérez, L. A.. 2007. Textural Studies of Stored Corn Tortillas with Added Xanthan Gum. *Cereal Chem.* 84(5):502–505.
- Rooney L. W. and Serna-Saldívar S. O. 1987. Food uses of whole corn and dry milled fractions. Chapter 13. *In: Corn chemistry and technology.* Watson, S. A. and P. E. Ramstad. (Eds). AACC. Inc. St. Paul Minnesota, USA. pp: 399-430.
- Rooney L. W. 1996. Tortilla y alimentos tipo botana de maíz nixtamalizado. *Soya Noticias* oct-dic. 1-7
- Secretaria de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación (SAGARPA). 2011. Plan rector sistema producto nacional. http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Publicaciones/SistemaProducto/Lists/Maiz/Attachments/1/prn_maiz.pdf MAÍZ
- Saldana O, Brown H.E. 1984. Nutritional composition of corn and flour tortillas. *J Food Sci.* 49:1202-1205.
- Salinas Moreno Y., Martínez Bustos F. Soto Hernández M., Ortega Paczka R. Arellano-Vasquez J.L., 2003. Efecto de la nixtamalización sobre las antocianinas del grano de maíces pigmentados, *Agrociencia*, 37(6);617-628
- Salinas M.Y (2000) Antocianinas en granos de maíces criollos mexicanos. Tesis. Colegio de Posgraduados. Montecillo, México. 102 pp.
- Sánchez González M. N., 2008. Investigación de microorganismos aislados del nejayote. Universidad Autónoma de Nuevo León. Portal UANL. Consulta web http://74.125.45.132/search?q=cache:J2KLldjl1uAJ:www.uanl.mx/investigacion/resmenes/resumenes_naturales/rcn081.html+de+nejayote&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=mx&client=firefox-a (Mayo, 2009).
- Saulnier L., J.F. Thibault. 1999. Ferulic acid and diferulic acids as components of sugar-beet pectins and corn bran heteroxylans. *J. Sci.Food Agric.* 79:396–402
- Seib P.A. 1982. Extrusion processing of wheat starch *Cereal Chem.* 17(9):102-107.
- Serna S.S.O. 1996. Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. AGT Editor: México, D.F. México.
- Serna S.S.O., Canett,R., Vargas J., González M., Bedolla S. and Medina C. 1988. Effect of soybean and sesame addition on the nutritional value of maize and decorticated sorghum tortillas produced by extrusión cooking. *Cereal Chem.*, 65:4448.
- Serna S.S.O., Gomez M.H., Rooney L.W. 1990. Technology, chemistry, and nutritional value of alkaline cooked maize products. Pages 243-307 in: *Advances in Cereal Science and Technology.* Vol. 10. Y. Pomeranz, ed. AACC International: St. Paul MN

- Serna S.S.O., Rooney L.L. W. and Greene W. L. 1991. Effect of lime treatment on the availability of calcium in diets of tortillas and beans: rat growth and balance studies. *Cereal Chem.* 68(6):565-570.
- Serrato, H. J. A. 1993. Análisis genético de algunas características bioquímicas y estructurales del grano de maíz (*Zea mays* L.) y su relación con la resistencia a la infestación de *Sitophilus Zea mays* (Motsch). Tesis de Maestría, CINVESTAVIPN, Irapuato, Gto., México.
- Shahidi, F. y Naczki, M. 1995. Food phenolics. Sources, chemistry, effects, applications. Technomic. Lancaster. 233-277
- Servicio de información Agroalimentaria y pesquera (SIAP). 2011. Producción Anual. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350
- Singleton V. L., Rossi J. A. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. *Amer J of Enol and Vitic.* 16: 144-158.
- Sosulski, F., Krygier, K., Hogge, L., 1982. Free, esterified, and insoluble-bound phenolics acids. Composition of phenolic acids in cereal and potato flours. *J of Agric. Food Chem.* 30:337-340.
- Stavric B (1994) Antimutagens and anticarcinogens in foods. *Food Chem. Toxicol.* 32: 79-90.
- Trejo G. A., Feria-Morales A. and Wild-Altamirano C. 1982. The role of lime in the alkaline treatment of corn for tortilla preparation. *Adv. Chem Ser:* 198:245-263.
- Universidad Nacional Autónoma de México. 1996. La industria de la masa y la tortilla: Modernización y Tecnología. Torres Torres Felipe. México
- Urizar H. A. y Bressani R. 1997. Efecto de la nixtamalización del maíz sobre el contenido de ácido fítico, calcio y hierro total y disponible. *Archivo Latinoamericano de Nutrición*, 47(7):324-328.
- Véles Medina José Juan, 2004. Caracterización de tostadas elaboradas con maíces pigmentados y diferentes métodos de nixtamalización. Tesis de maestría. CICATA, Querétaro.
- Wang H, Cao G, Prior R.L. 1997. The oxygen radical absorbing capacity and anthocyanins. *J. Agric. Food Chem.* 45: 304-309.
- Watson, S. A. 2003. Structure and composition. Chapter 3, *In: Corn Chemistry and Technology.* White, P. J. and Johnson, L. A. (eds) American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul Minnesota.
- Wellhausen E.J., Roberts L.M., Hernández E., Mangelsdorf P.C. 1951. Razas de maíz en México. Su origen, características y distribución. *En Xolocotzia Obras de Efraín Hernández Xolocotzi.* Revista de Geografía Agrícola. México. pp. 609-732.

- Wu, X.; Beecher, G. R., Holden, J. M., Haytowitz, D. B., Gebhardt, S. E., Prior, R. L. 2004. Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the United States. *J. Agric. Food Chem.* 52:4026–4037.
- Yáñez O. Y. 2005. Nixtamalización por extrusión de las fracciones del grano de maíz para la obtención de harinas instantáneas. Tesis de maestría, CICATA, Legaria.
- Yu, J., T. Vasanathan, and F. Temelli. 2001. Analysis of phenolic acids in barley by high-performance-liquid-chromatography. *J. Agric. Food Chem.* 49:4352-4358.
- Zazueta C., Ramos G., Fernandez-Muñoz J.L., Rodríguez M.E., Acevedo-Hernández G. and Pless R.C. 2002. A radioisotopic study of the entry of calcium ion into the maize kernel during nixtamalization. *Cereal Chem.* 79:500–503.
- Zhaohui, Z. and M. H. Moghadasian. 2008. Chemistry, natural sources, dietary intake and pharmacokinetic properties of ferulic acid: a review. *Food Chem.* 109(4):691-702.
- Zilić, S., Serpen, A., Akıllıoğlu, G., Gökmen, V., Vančetović, J. 2012. Phenolic Compounds, Carotenoids, Anthocyanins, and Antioxidant Capacity of Colored Maize (*Zea mays* L.) Kernels . *J. Agric.Food Chem*, 60:1224–1231.