



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE
HARINAS MIXTAS DE
MAÍZ NIXTAMALIZADO-NOPAL

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
QUÍMICO DE ALIMENTOS

PRESENTA:

MARCO ANTONIO QUIROGA FIGUEROA



MÉXICO, D. F.

2010



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Jurado asignado:

Presidente Prof. Lucia Cornejo Barrera _____

Vocal Prof. Olga del Carmen Velázquez Madrazo _____

Secretario Prof. María de los Ángeles Cornejo Villegas _____

1er. Suplente Prof. Arturo Navarro Ocaña _____

2do. Suplente Prof. Karla Mercedes Díaz Gutiérrez _____

Sitio donde se desarrollo el tema:

Universidad Nacional Autónoma de México. Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada. Laboratorio de Fisicoquímica de Alimentos. Juriquilla, Querétaro, México.

M. en I. María de los Ángeles Cornejo Villegas
Asesor

Marco Antonio Quiroga Figueroa
Sustentante

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mi más profundo agradecimiento a las maestras Lucia Cornejo Barrera y Olga Velázquez Madrazo por sus valiosas enseñanzas y comentarios en la revisión del manuscrito.

También agradezco a la maestra María de los Angeles Cornejo Villegas y al Dr. Mario Rodríguez García por la dirección de este trabajo y sus acertados consejos para llevarlo a cabo.

A la Dra. Isela Rojas y a los Maestros: Marcela Gaytán, Elsa Gutiérrez, Carolina Muñoz y Juan Vélez, por su contribución en la realización del proyecto.

A mis familiares, amigos y compañeros, por ser excelentes personas que sin condición me han proporcionado ayuda, experiencias y enseñanzas en mi formación académica.

Finalmente me es preciso mencionar la dedicada ayuda de Rocío Flores en el ingrato trabajo de exhortarme a finalizar este ciclo. sinceramente gracias por trastornar el orden de mis sentidos.

A MI MADRE

Has sido un río ancho y tranquilo que se desliza entre dos riberas bajo un cielo sereno, de agua templada en los fríos y helada en los calores, por eso te queremos los arboles tuyos.

Schreib´ nicht so dicke Werke,

Liest ja doch Keiner !

Geh lieber Segeln nach

Schnuckel – valls !

Dr. Hermann von Seefeld Doering
(1940-1998)

¡No hay razón alguna,
en escribir algo que después nadie lee!

¡Mejor vete a ~~volar~~ **VOLEAR** a

Schnuckel- valls!

M

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
Agradecimiento	I
Dedicatoria	II
Pensamiento	III
Índice general	V
Índice de figuras	VII
Índice de tablas	VIII
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Hipótesis de trabajo	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo general	2
1.3.2 Objetivos particulares	2
CAPÍTULO II ANTECEDENTES	
2.1 Origen e importancia del maíz	3
2.1.1 Caracterización del grano de maíz	3
2.2 Tecnologías de Nixtamalización	7
2.2.1 Método Tradicional de Nixtamalización	7
2.2.2 Proceso Industrial de Nixtamalización	10
2.3 Cambios originados por la nixtamalización	12
2.4 Cambios no alcanzados por la nixtamalización industrial	14
2.5 Harinas mixtas	15
2.5.1 Nopal en polvo	17
2.5.2 Harina mixta de maíz nixtamalizado-nopal	18
2.6 Relación Calcio / Fósforo	19
2.7 Propiedades de una harina mixta	20
CAPÍTULO III METODOLOGÍA	
3.1 Selección y preparación de la muestras	22
3.1.1 Harina de maíz nixtamalizado tradicional (HMNT)	22
3.1.2 Harina de maíz nixtamalizado industrial (HMNI)	22
3.1.3 Nopal en polvo	22
3.1.4 Harinas mixtas	23

3.2	Caracterización fisicoquímica	23
3.2.1	Análisis granulométrico	23
3.2.2	Determinación de pH. Método AACC 02-52 (2000)	23
3.2.3	Índice de absorción y solubilidad en agua	24
3.3	Análisis químico proximal	24
3.3.1	Determinación de humedad. Método No. 925.10 (AOAC, 2000)	24
3.3.2	Determinación de cenizas. Método No. 923.03 (AOAC, 2000)	25
3.3.3	Determinación de proteína. Método No. 920.87 (AOAC, 2000)	25
3.3.4	Determinación de lípidos. Método No. 920.85 (AOAC, 2000)	26
3.3.5	Determinación de fibra dietética. Método No. 985.29 (AOAC, 2000)	27
3.3.5.1	Fibra dietética insoluble	27
3.3.5.2	Fibra dietética soluble	28
3.4	Análisis químico mineral	29
3.4.1	Determinación de Calcio. Método No. 968.08 (AOAC, 2000)	29
3.4.2	Determinación de Fósforo. Método No. 965.17 (AOAC, 2000)	30
3.5	Propiedades de <i>pasting</i>	31
3.5.1	Análisis de viscosidad	31
3.6	Análisis estadístico	33

CAPÍTULO IV ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1	Granulometría	34
4.2	Análisis químico proximal	35
4.3	Fortificación de HMNI con nopal	37
4.4	Comportamiento de viscosidad	41

CAPÍTULO V CONCLUSIONES

5.1	Conclusiones finales	46
-----	----------------------	----

CAPÍTULO VI BIBLIOGRAFÍA

6.1	Bibliografía	47
-----	--------------	----

CAPÍTULO VII ANEXO

7.1	Artículo	50
-----	----------	----

ÍNDICE DE FIGURAS

CONTENIDO	PÁGINA
Figura 1 Estructura del grano de maíz	4
Figura 2 Componentes químicos del almidón a) amilosa b) amilopectina	5
Figura 3 Diagrama del método tradicional de nixtamalización	9
Figura 4 Diagrama del proceso industrial de nixtamalización	11
Figura 5 Curva de calibración de Calcio	29
Figura 6 Curva de calibración de Fósforo	31
Figura 7 Viscoamilograma de una harina de maíz	33
Figura 8 Análisis granulométrico	34
Figura 9 Contenido de Ca y P en HMNI y HMNT a) % Calcio b) % Fósforo	36
Figura 10 Relación de Ca/P en HMNI y HMNT	37
Figura 11 Contenido de Ca y P en harinas mixtas a) % Calcio b) % Fósforo	40
Figura 12 Relación de Ca/P en harinas mixtas	40
Figura 13 Perfiles de viscosidad de harinas	41
Figura 14 Picos máximos de viscosidad	42
Figura 15 Desarrollo inicial de viscosidad	42
Figura 16 Efecto de la adición de nopal en el comportamiento de la viscosidad	44
Figura 17 Viscosidad a la que se efectúa el colapso del almidón	45
Figura 18 Viscosidad final	45

ÍNDICE DE TABLAS

CONTENIDO	PÁGINA
Tabla 1 Análisis químico proximal de nopal y harinas nixtamalizadas	35
Tabla 2 Composición mineral de nopal y harinas nixtamalizadas	36
Tabla 3 Análisis químico proximal de harinas mixtas	38
Tabla 4 Composición mineral de harinas mixtas	39
Tabla 5 Índices de absorción y solubilidad en agua	43
Tabla 6 Características de <i>pasting</i> de HMNT, HMNI y harinas mixtas	44

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

La nixtamalización es un tratamiento térmico-alkalino necesario para transformar el grano de maíz en masa o harinas para elaborar tortilla y productos derivados, sin embargo, diferencias en el proceso de elaboración entre el método tradicional y la tecnología industrial de nixtamalización, originan que las harinas industriales y en consecuencia las tortillas elaboradas a partir de estas harinas, presenten marcadas diferencias de valor nutrimental respecto a las elaboradas por el método tradicional; prueba de ello es un desequilibrio de la relación Calcio-Fosforo (Ca/P), indicador de una adecuada mineralización ósea en humanos.²⁷

Haciendo uso de la tecnología de harinas mixtas es posible enriquecer con calcio y fósforo la harina de maíz nixtamalizado industrial, complementando con algún alimento que refuerce la deficiencia de minerales y no modifique sustancialmente las propiedades del producto principal. El nopal (*Opuntia ficus indica*) es una verdura endémica del centro de la República Mexicana, que contiene cantidades considerables de calcio, fósforo y fibra, que puede ser utilizado como vehículo para el enriquecimiento.³⁴ Adicionar nopal en polvo a una harina de maíz obtenida industrialmente, proporcionará un producto equilibrado en la relación Ca/P.

En el presente desarrollo se estudiarán las harinas mixtas de maíz nixtamalizado-nopal en diferentes proporciones para establecer sus características fisicoquímicas, determinar la mejor relación Ca/P y encontrar cual masa participa con una adecuada viscosidad para la elaboración de tortilla. Para tal efecto se evaluarán en cada harina: distribución del tamaño de partícula, análisis proximal, índices de absorción y solubilidad en agua, calcio por espectroscopía de absorción atómica, fósforo por espectroscopía UV-Vis y viscosidad de las masas por RVA (rapid viscoanalyzer).

Lo anterior contribuirá a considerar a la tecnología de harinas mixtas como una técnica adecuada para la elaboración de un producto complementado y pondrá las bases para investigaciones futuras sobre el impacto de este producto en problemas de salud pública.

1.2 Hipótesis de trabajo

La incorporación de nopal en polvo a la harina industrial de maíz nixtamalizado contribuirá a que las propiedades fisicoquímicas sean las más adecuadas para una correcta absorción de calcio.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar y determinar algunos cambios en las propiedades físicas y químicas de harinas mixtas de maíz nixtamalizado, en función del contenido de nopal, con la finalidad de identificar aquellas que puedan ser empleadas para la elaboración de tortillas de maíz con una relación Ca/P cercana a 1.

1.3.2 Objetivos particulares

- Elaborar harinas mixtas de maíz nixtamalizado con nopal en polvo en porcentajes de sustitución de 2, 4, 6, 8 y 10 %.
- Caracterizar las harinas en función de su distribución de tamaño de partícula.
- Analizar el contenido químico proximal de las harinas y nopal en polvo.
- Determinar el índice de absorción en agua.
- Determinar el contenido de calcio por espectroscopía de absorción atómica.
- Determinar el contenido de fósforo por espectroscopía UV-Vis
- Calcular la relación Ca/P en las harinas.
- Evaluar las harinas en función de la viscosidad aparente

CAPÍTULO II

ANTECEDENTES

2.1 Origen e importancia del maíz

El maíz (*Zea mays*) es el cereal más antiguo cultivado en el continente americano. Se considera que su lugar de origen fue Mesoamérica, en donde evidencia arqueológica indica que existía como una variedad silvestre hace unos 7,000 años en la región central de México y que 2,000 años más tarde ya fue cultivado y utilizado como alimento durante el desarrollo de las civilizaciones Mesoamericanas. A partir del descubrimiento de América, su cultivo se difundió hacia Europa, África y Asia.²⁴

En la actualidad es el cereal más importante en grandes poblaciones de América Latina, en especial en México, Guatemala y el Salvador, donde su ingesta en forma de tortilla llega a aportar hasta el 70 % de calorías y 56 % de proteína, principalmente en áreas rurales entre los sectores de menor ingreso.⁹

Hasta hace poco tiempo, el maíz era procesado por nixtamalización a nivel doméstico, pero el uso de harinas nixtamalizadas industrialmente se está convirtiendo en un proceso popular, por su conveniencia en la preparación de tortillas. La tortilla elaborada de harina representa el 22.8 % del consumo total en México, el 37.7 % se elabora con masa de molinos de nixtamal comerciales y el 40.5 % es elaborada a mano en zonas rurales.²⁶

2.1.1 Caracterización del grano de maíz

Existen más de 40 razas de maíz mexicano, conociéndose hasta 200 plantas diferentes. Los criterios de clasificación de los diferentes tipos de maíz se basan en la forma de la mazorca, espiga, ciclo, distribución geográfica y las características del grano. Su composición química es variable y está relacionada con la raza, variedad, tecnología de cultivo y clima.

El grano de maíz se denomina en botánica cariósipide o cariopsis y se encuentra formado por tres estructuras físicas fundamentales que son: endospermo, germen y pericarpio.²³ Figura 1.

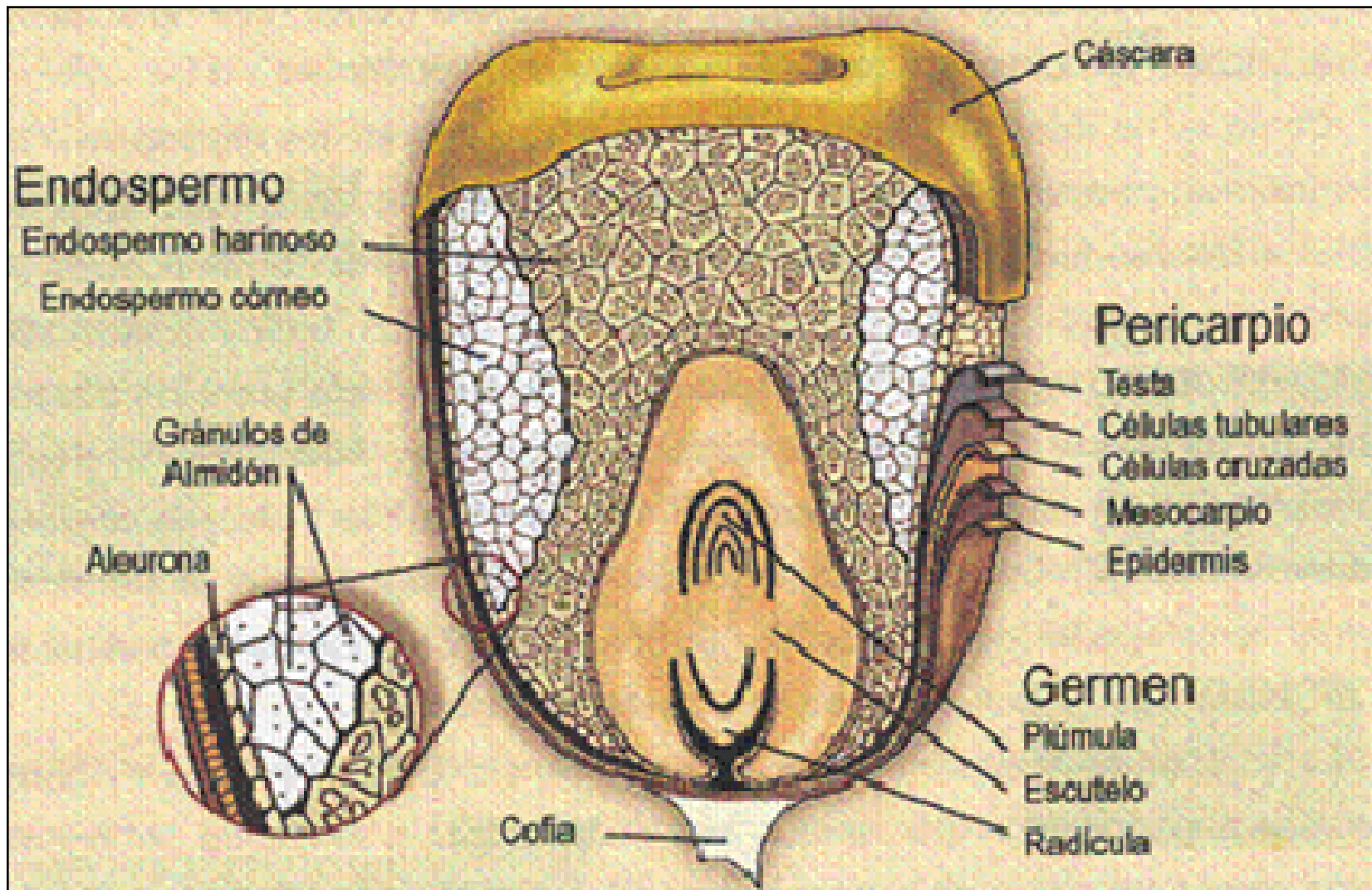
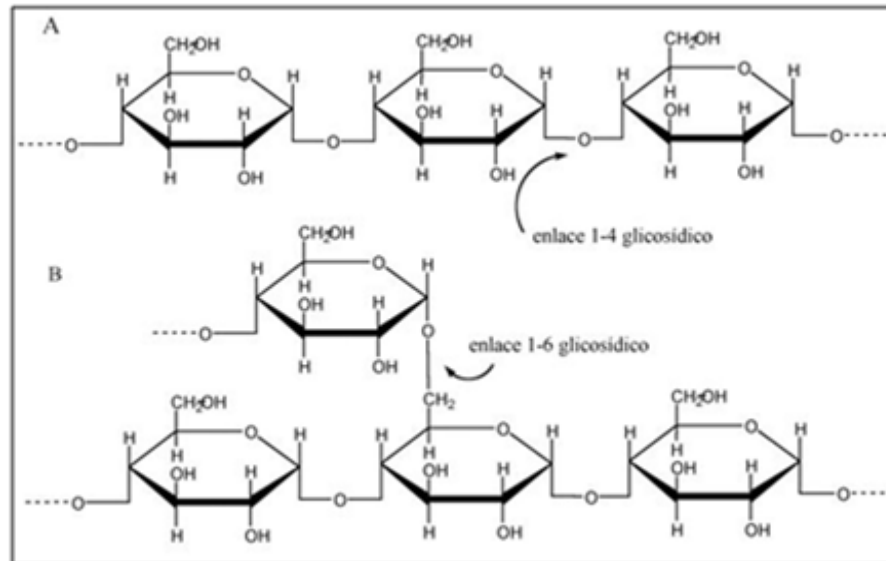


FIGURA 1. Estructura del grano de maíz

El endospermo se encuentra integrado por tres estructuras: el endospermo harinoso, el cristalino y la capa de aleurona. Químicamente está formado de almidón (87%), proteínas (8%) y lípidos (1%). Los constituyentes del almidón son dos polímeros de diferente estructura, amilosa y amilopectina. Figura 2. En el maíz, el 74 % del almidón lo constituye la amilopectina y 26% la amilosa.

Figura 2. Componentes del almidón
a) amilosa b) amilopectina



La amilosa es el producto de la asociación de D-glucopiranosas por medio de enlaces glicosídicos $\alpha(1,4)$, que establece largas cadenas lineales de 200 a 2500 unidades y pesos moleculares hasta de un millón; es decir, la amilosa es un α -D(1,4)-glucano, cuya unidad repetitiva es la maltosa. Tiene la facilidad de adquirir una conformación helicoidal, en la que cada vuelta de la hélice consta de seis moléculas de glucosa. La amilopectina se diferencia de la amilosa en que contiene ramificaciones que le dan una forma molecular similar a la de un árbol; las ramas están unidas al tronco central (semejante a la amilosa) por enlaces α -D-(1,6), localizadas cada 15-25 unidades lineales de glucosa.³

Las proteínas constituyen aproximadamente el 10.3 % del grano integral, la principal proteína es una prolamina denominada zeína, que constituye el 50 % de las proteínas; además se encuentran presentes gluteínas y albúminas que representan el 28 % y 5 % respectivamente.²¹

La calidad nutritiva del maíz es determinada por la composición de los aminoácidos de sus proteínas, en las zeínas son evidentes las carencias de lisina y triptófano, pero al igual es importante el exceso en contenido de leucina, aminoácido relacionado con la deficiencia de isoleucina.³

El pericarpio (5%) es la pared del ovario, organizado en un conjunto de capas que envuelven la cubierta del grano, se caracteriza por un elevado contenido de fibra y minerales.²³ El contenido de fibra dietaría en el pericarpio es aproximadamente del 87 % ya que está compuesta de varios componentes que son resistentes a las enzimas digestivas como hemicelulosa 70 %, celulosa 23 %, lignina 0.1%, pectina y gomas.³⁶ El contenido de fibra dietaría de los granos descascarillados es evidentemente menor que el de los granos enteros.^{40, 42}

Se conoce como hemicelulosas a los polisacáridos distintos del almidón, solubles en soluciones alcalinas concentradas. Constituyen un componente fundamental de las paredes celulares. Los azúcares más abundantes en las hemicelulosas de los granos son la xilosa y arabinosa.³⁹

El germen (10%) está formado por el escutelo, que almacena los nutrientes que son utilizados durante la germinación, así como del eje embrionario formado por la plúmula y embrión que da origen a la parte aérea de la planta y a la raíz primaria, su naturaleza química está constituida especialmente por lípidos (33%), proteínas (18%), azúcares (11%) minerales (10%) además en cantidades menores almidón, lisina y triptófano.⁴²

En el germen se localiza la mayor parte de los lípidos, encontrándose dos clases: saponificables y no saponificables. Los lípidos saponificables constituyen el 93% del material lipídico principalmente como glicéridos y en menor proporción fosfolípidos, glicolípidos y ácidos grasos libres. El principal ácido graso presente es el linoléico (50 %), le siguen el oleico (35 %), palmítico (13 %), esteárico (4 %) y linolénico (menos del 3 %).^{4 42} Los lípidos no saponificables son los esteroides, tocoferoles, carotenoides e hidrocarburos alifáticos.⁴²

Cerca del 78 % de los minerales del grano se encuentran concentrados en el germen, los elementos inorgánicos más abundantes son fósforo (2.99 mg /g), potasio y azufre.²⁵ Pero como

sucede con la mayoría de los cereales, el maíz tiene un bajo contenido de calcio, alrededor de 0.48 mg/g.⁴² El contenido de potasio y magnesio también es bajo y la mayor parte del fósforo no es asimilable por el sistema digestivo humano, ya que en el grano de maíz está presente en forma de ácido fítico.²⁶

En resumen, el maíz se considera una excelente fuente de calorías debido a su alto contenido de almidón, pero es deficiente en los aminoácidos lisina y triptófano y adolece de niveles adecuados de micronutrientes como los minerales hierro y zinc y las vitaminas A (retinol), D (colecalfiferol), E (tocoferoles) y B12 (cianocobalamina).³⁸

2.2 Tecnologías de Nixtamalización

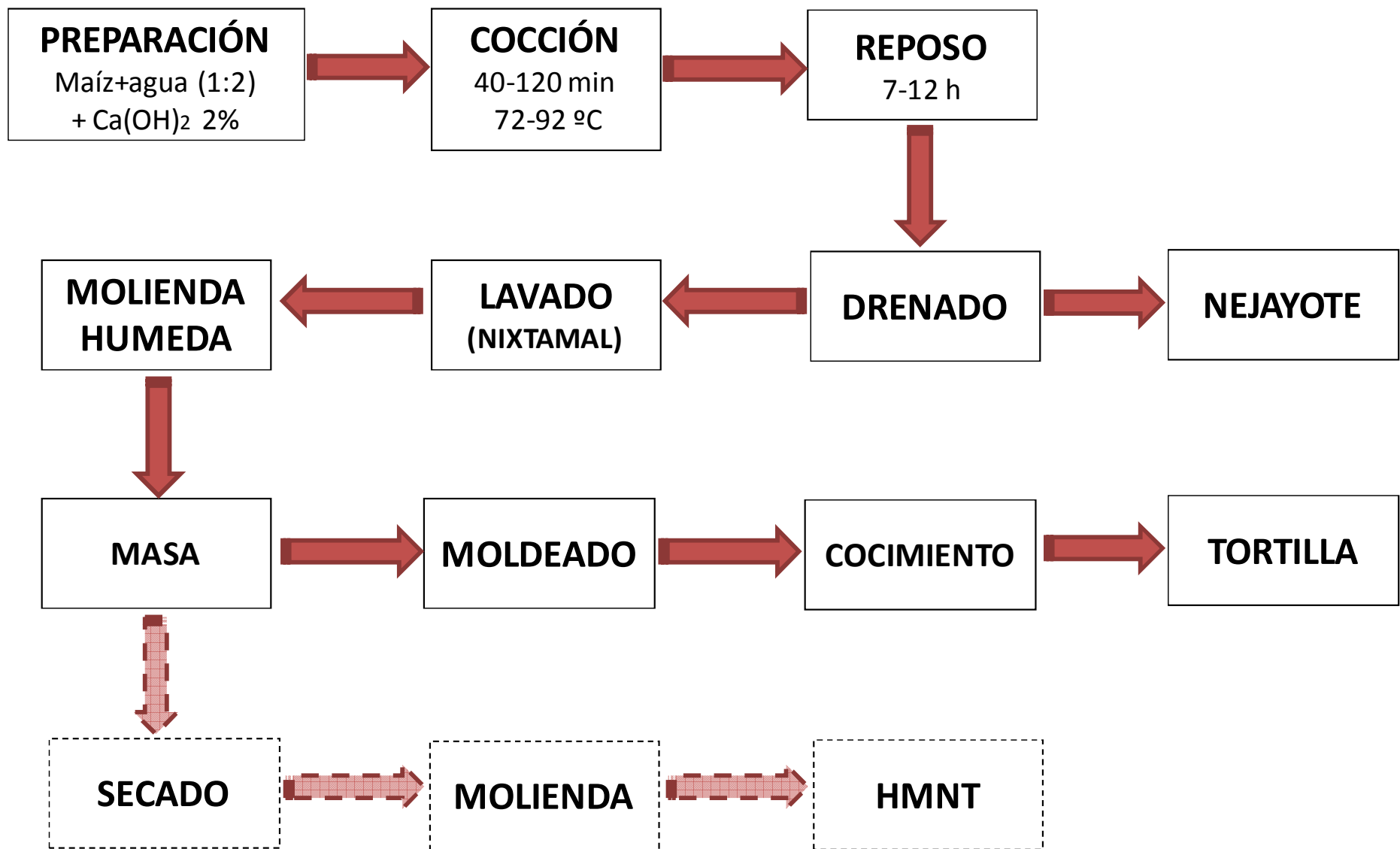
En México y Latinoamérica desde la época precolombina, el maíz ha sido cocinado siguiendo la técnica prehispánica conocida como nixtamalización, del náhuatl “*nextli*” que significa ceniza de cal y “*tamalli*”, masa de maíz. Consiste en el cocimiento alcalino del maíz, podría suponerse que la tecnología de nixtamalización es un método sin mucha importancia ya que aparte de servir para suavizar y remover el pericarpio del grano de maíz no pareciera tener otra función, sin embargo, este simple cocimiento alcalino involucra una serie de factores que inducen cambios en la estructura física, composición química y calidad nutrimental del grano.

2.2.1 Método Tradicional de Nixtamalización

Desde el punto de vista técnico, el proceso como se practica en México involucra el agregado de una parte de maíz entero y aproximadamente dos partes de solución acuosa de 1 a 3 % de hidróxido de calcio Ca(OH)_2 . La mezcla se calienta de 72 a 92 °C durante 20 a 120 minutos 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 parte del pericarpio, eliminando el exceso de cal y las impurezas que el grano pudiera tener. El agua de cocción y remojo se conoce como “agua de nixtamal o nejayote”. Al maíz cocido se le llama “nixtamal” y de ahí el nombre de “nixtamalización”. La adición de cal y el proceso de cocción, remojo y lavado, ayudan a la remoción de pericarpio del maíz, mientras que el reposo del grano en el nejayote permite el ingreso del calcio al interior del

endospermo. Los subproductos obtenidos de este proceso se descartan, la conversión del nixtamal a masa se hace triturando el maíz con una piedra de moler plana, se obtiene una masa compuesta por partículas de germen, residuos de pericarpio y endospermo. Se toman alrededor de 50 g de esta masa para formar la tortilla, que se cocina en un plato caliente de hierro o de barro, llamado “comal”. En la figura 3 se observa en forma secuencial cada paso de la nixtamalización tradicional.

Un aspecto importante del proceso de nixtamalización tradicional es la hidratación paulatina del grano, ya que es la condición necesaria para la gelatinización del almidón y la entrada del ion calcio; la difusión del calcio al interior del grano, es de sumo interés desde el punto de vista nutrimental debido al bajo contenido de este mineral en el maíz (0.01 a 0.04 % del grano seco) y es solo a través de la nixtamalización óptima, 8 a 12 horas de reposo en nejayote, que se eleva a los valores que caracterizan al nixtamal.



2.2.2 Proceso Industrial de Nixtamalización

La nixtamalización es un proceso que demanda tiempo, esfuerzo físico, altas cantidades de energía, agua y que contamina el ambiente. Sin embargo, en años recientes por la conveniencia en la preparación y la necesidad de producir grandes cantidades de tortilla, se requirió la transformación del método tradicional de nixtamalización a una tecnología mecanizada que permitiera la obtención de un producto deshidratado, con la ventaja que solo fuera necesario hidratarla para producir masa fresca para producir tortillas y otras formas de consumo del maíz nixtamalizado.¹¹

Las harinas nixtamalizadas de maíz se producen industrialmente usando básicamente la misma tecnología descrita anteriormente. Sin embargo, el proceso industrial presenta la incorporación de algunas operaciones como se observa en la figura 4. La primera es la recepción, que adquiere importancia debido a la limpieza y selección del grano por aspiración con vacío para remover materiales extraños, le sigue un paso inicial de maceración donde se incorporan una menor concentración de hidróxido de calcio y volumen de agua en comparación con el método tradicional, con la finalidad de ablandar el grano. Este proceso tiene una mayor repercusión en las propiedades físicas y químicas de los productos elaborados a partir de harina. El tratamiento térmico se realiza en un cocedor a flujo continuo con diferentes zonas de temperatura a las que se somete el grano a cocción, el tiempo de cocimiento no cambia se mantiene constante, sin embargo, posterior a esta etapa se realiza el drenado del nejayote antes del reposo, este paso marca una gran diferencia con el proceso tradicional en donde se mantiene el nejayote durante todo el reposo. Después el nixtamal es lavado en agua caliente y sometido a reposo en condiciones limitadas de agua durante un tiempo máximo de 4 horas. La etapa de molienda es prácticamente igual en ambos procesos, es decir se lleva a cabo en un molino de piedras, la diferencia principal estriba en que en el proceso industrial, la masa obtenida tiene un menor contenido de humedad. Una vez molida la masa se procede a la etapa de secado, molienda fina y cribado donde se obtiene el tamaño de partícula y clasificación deseadas. Posteriormente se realizan el enriquecimiento y la adición de los aditivos pertinentes de acuerdo a la especificación del producto final.²⁷

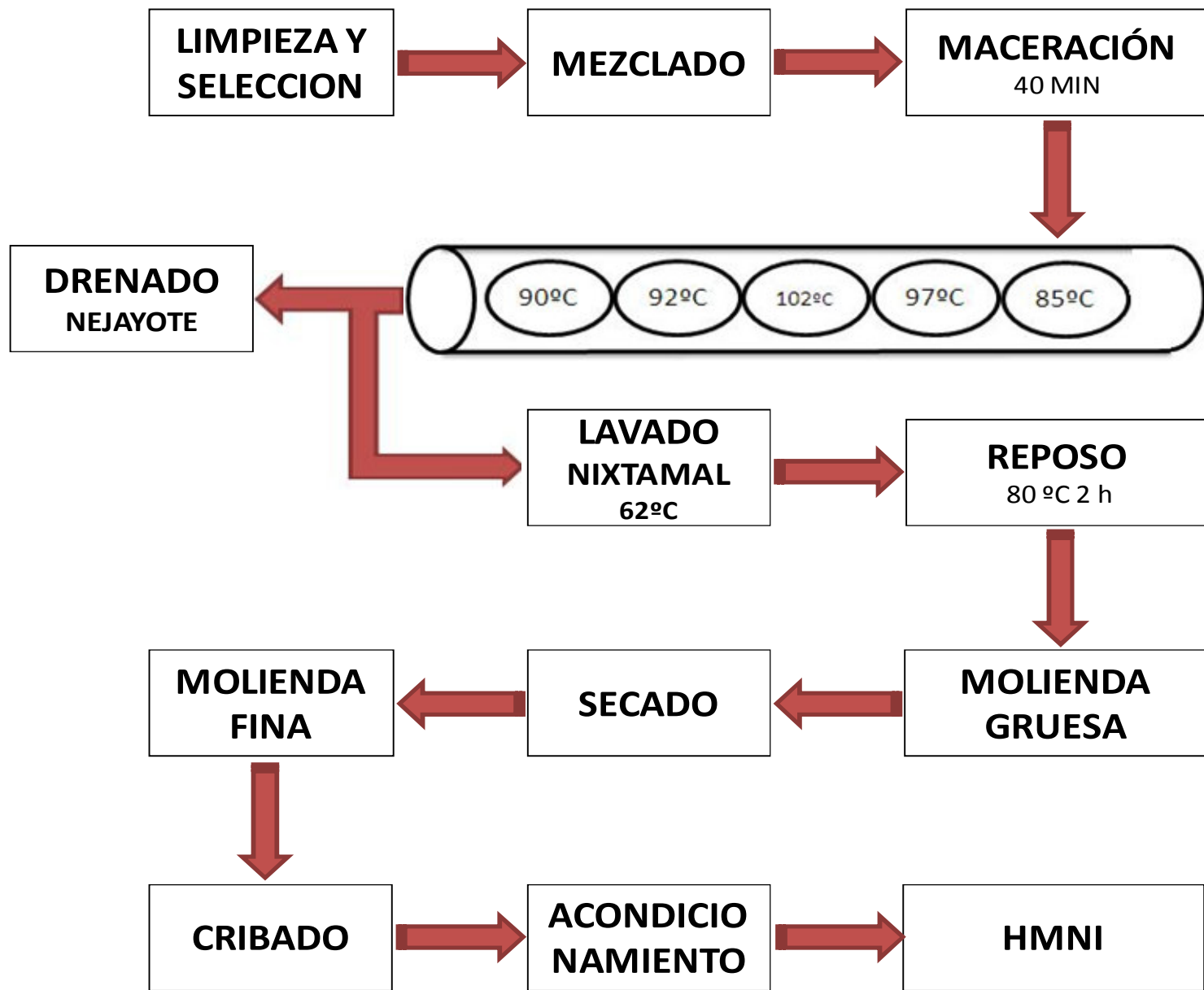


FIGURA 4. Diagrama del proceso industrial de nixtamalización

El producto de la nixtamalización industrial es una harina de maíz proveniente de una molienda controlada, la norma mexicana (NMX-F-046-S-1980) la define como un polvo fino, seco, de color blanco o blanco amarillento, de aspecto granuloso, proveniente de la molienda de los granos de maíz sanos, limpios, previamente nixtamalizados y deshidratados, con una finura tal que el 75 % como mínimo pase a través de un tamiz de apertura de 250 μm (malla U.S. 60).

2.3 Cambios originados por la nixtamalización

La conversión del maíz a masa debido a la nixtamalización, involucra una serie de cambios en la química del grano que son el resultado de pérdidas en estructuras físicas, así como de compuestos químicos inducidos por el agua, el pH alcalino de cocción, el tiempo de cocción y reposo y las temperaturas aplicadas en las diferentes fases del procesamiento.

El pericarpio es la primera estructura en sufrir el efecto del tratamiento térmico, los componentes de la pared celular formada de celulosa, hemicelulosa, lignina y proteína son atacados por la temperatura y el pH alcalino durante la cocción; la celulosa permanece parcialmente intacta, pero en cuanto la hemicelulosa y lignina son solubilizadas se origina una hinchazón y debilitamiento de la pared celular que se refleja con el rompimiento parcial del pericarpio. Cuando el pericarpio es removido, se puede observar la capa de aleurona, la cual queda adherida a la superficie del endospermo actuando como una estructura de retención, probablemente a la característica de semipermeabilidad de la capa se reduce la pérdida de proteínas del endospermo.²⁸ Sin embargo, aunque se presenta una degradación parcial de la capa debido a la saponificación de los lípidos, su naturaleza permite el proceso de difusión de agua y calcio; pero la absorción de los iones calcio es más lenta que la del agua porque sigue la ruta pericarpio, germen, endospermo.³⁸

La mayor parte del tejido del germen se retiene durante la cocción alcalina, lo cual es importante ya que con ello también se mantiene la calidad proteica del grano de maíz.⁷ Los lípidos y proteínas se encuentran en el germen formando esferosomas, al degradarse por efecto del tratamiento se favorece la reacción con la solución alcalina, como resultado los lípidos son saponificados y capaces de formar sales enlazando al calcio y por tanto reteniéndolo en el

germen, datos recientes han confirmado mayores niveles de calcio en germen que en el endospermo de maíz.^{19 30}

En cuanto la capa de aleurona es parcialmente solubilizada, se facilita la entrada de agua en el endospermo, los gránulos de almidón aumentan de tamaño y muestran una destrucción parcial, mientras que las proteínas quedan asociadas a ellos.³⁸ El principal efecto benéfico de la nixtamalización en el endospermo es la desnaturalización de las proteínas facilitando la biodisponibilidad de lisina y triptófano.

Existen diferentes vías por las cuales se puede enlazar el calcio al endospermo, una de ellas es a través de la formación de sales de calcio de ácidos grasos, pero la cantidad de lípidos saponificables en endospermo es muy pequeña alrededor de 1%, por tanto es una retención muy pobre, otro mecanismo es la interacción entre calcio y el amilosa gelatinizada, por último la formación de complejos entre calcio-amilosa o calcio-amilopectina pero tiene poca probabilidad debido a interacciones débiles entre ellas.

El maíz como todos los cereales, es deficiente niacina y en los aminoácidos lisina, triptófano, sin embargo, se ha encontrado una mejor digestibilidad de lisina y triptófano proveniente de maíz nixtamalizado que del maíz cocido sin cal.¹⁰ La nixtamalización tiene un efecto selectivo en las proteínas del maíz, que incrementa el balance de aminoácidos indispensables y libera niacina que de otra manera permanecería sin ser aprovechada.¹⁵ Con las condiciones alcalinas nos son estables los aminoácidos arginina y cistina y las vitaminas tiamina y rivo flavina.

De esta forma, el tratamiento térmico (85- 95 °C) y el pH (aproximadamente 12) en el cual se lleva a cabo la nixtamalización, permiten que ocurran las diferentes transformaciones en los componentes del grano, como son: la degradación del pericarpio, la saponificación de los lípidos, una mejor biodisponibilidad de la niacina, la solubilidad de las proteínas y la gelatinización parcial del almidón.^{19 30 33}

La masa obtenida de la molienda de nixtamal es una mezcla constituida por los polímeros del almidón (amilosa y amilopectina) mezclados con gránulos de almidón parcialmente

gelatinizados, gránulos intactos, partes de endospermo y lípidos. Todos estos componentes forman una matriz heterogénea dentro de una fase acuosa.

2.4 Cambios no alcanzados por la nixtamalización industrial

El empleo de harinas industriales de maíz nixtamalizado ha ganado popularidad entre la población urbana, porque elimina las labores intensivas y tediosas del proceso tradicional. Además, estas harinas son más uniformes en su contenido de nutrientes que el maíz utilizado en procesos tradicionales. Las operaciones que se llevan a cabo para transformar el maíz en harina son ajustadas de acuerdo a varios factores: la variedad de maíz, la dureza del grano, la humedad del maíz, el tiempo de almacenamiento y la integridad física del grano. Así mismo, el tipo de grano debe adaptarse a las operaciones de procesamiento para dar un producto que llene las características de funcionalidad y sabor.¹¹

Hay una serie de condiciones que marcan diferencias entre los procesos de nixtamalización, la primera es la baja concentración de hidróxido de calcio utilizado en la nixtamalización industrial, en consecuencia hay una reducción del calcio en la solución con respecto al método tradicional. El nixtamal de harinas nixtamalizadas no es cocido completamente. La falta de cocimiento no produce el debilitamiento adecuado de la estructura del pericarpio que permita la entrada de agua y calcio al endospermo, restringiendo el hinchamiento de los gránulos de almidón y limitando la exudación de amilosa. Otra condición importante de los procesos industriales es el corto tiempo de reposo (2h) al que se somete el nixtamal sin la solución de cocción, lo que limita la redistribución de agua, origina una insuficiente gelatinización del almidón que se refleja en masas sin cohesividad, Por tanto, la producción industrial de harina no sigue las condiciones tradicionales, por lo que se obtienen tortillas cuya textura y estabilidad durante el almacenamiento son de menor calidad comparadas con las obtenidas en forma casera o con procesos a menor escala.⁶

Aunado a lo anterior, la naturaleza altamente hidratada del nixtamal en la producción de masa, facilita la liberación de los gránulos de almidón durante la molienda, en el caso de las harinas nixtamalizadas, estas son obtenidas por molienda utilizando nixtamal con bajo contenido de humedad, lo que no permite la liberación de los gránulos de almidón. En consecuencia, las

partículas de la harina son diferentes a las de las masas. Las partículas de las masas tienen cantidades significativas de gránulos libres de almidón con bajo contenido de proteína, mientras en las harinas las partículas tienen una cantidad de almidón y proteínas similar a la presente en el endospermo del grano de maíz.^{6,17}

2.5 Harinas mixtas

Para el mexicano, la tortilla elaborada a partir de la harina de maíz nixtamalizado es el alimento base de su dieta, aunque se han adicionado micronutrientes a las harinas para reponer los nutrientes perdidos durante la transformación del grano en harina, la adición representa un incremento en el costo del producto que impacta en los estratos sociales que más la consumen, por lo que una buena estrategia de fortificación vendría a ser el uso de la tecnología de harinas mixtas o compuestas para enriquecer la tortilla hecha con harina de nixtamalizado industrial.

La fortificación de alimentos es el mejoramiento nutritivo por medio del agregado de nutrientes, tales como vitaminas, minerales, aminoácidos u otros suplementos. La fortificación se basa en beneficiar, en el menor tiempo, a la mayor parte de la población que padece algún grado de desnutrición o deficiencia por medio del mejoramiento de la calidad de los alimentos que componen la mayor parte de la dieta.¹⁵

El término harina mixta o harina compuesta fue creado en 1964 por la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO), para referirse a las mezclas de harinas de trigo, con otros ingredientes para la preparación de alimentos de alto valor nutritivo, cuando se reconoció la necesidad de buscar una solución para los países que no producen este cereal.¹⁴

La definición hacía referencia en un principio, de acuerdo con el concepto expresado por la FAO, a mezclas elaboradas a base de trigo, sin embargo, debido a la posibilidad de preparar también a base de otros cereales y de otras fuentes de origen vegetal, en 1975, el Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP) propuso extender el concepto para abarcar también otro tipo de harinas que no fuera necesariamente sólo a base de trigo y tubérculos, sino también a base de otros alimentos como verduras, leguminosas, oleaginosas y otros cereales diferentes al trigo.¹⁴

Las harinas mixtas están constituidas de una harina base o soporte que puede ser de algún cereal, leguminosa, oleaginosa o vegetal, a la cual se le sustituye parcialmente por harina de otro o varios componentes hasta en 40 % y la adición opcional de una proteína suplementaria, estas harinas mixtas han sido diseñadas debido a dos objetivos principales, la primera, para restaurar los nutrimentos que se pierden durante los procesos para la obtención de harina, y la segunda razón, consiste en la utilización de los cereales como vehículo para aumentar el consumo de uno o varios nutrimentos.³⁴

Las características que debe tener un alimento para que sea considerado como vehículo apropiado para la adición de nutrimentos, son los siguientes:

1. El alimento debe tener un costo accesible de manera que sea ampliamente consumido por la población, especialmente por aquellos que corren mayor riesgo de presentar deficiencias de tales nutrimentos.
2. El alimento debe permitir la adición de nutrimentos en cantidades muy pequeñas, y su consumo en cantidades habituales debe incrementar significativamente la ingestión de los nutrimentos en cuestión.
3. El alimento no debe interferir con la estabilidad o la absorción de los nutrimentos adicionados, o de otros provenientes del resto de la alimentación.
4. Las condiciones de procesamiento y el producto final obtenido son comparables a productos elaborados a base de la harina principal, es decir que no alteren las propiedades físicas, químicas y nutrimentales del alimento original.

La tortilla de maíz es uno de los alimentos básicos de México, su elaboración a partir de harina industrializada es importante y su consumo tiende a aumentar, por lo que compensar sus deficiencias a través de una tecnología poco utilizada en México en comparación de naciones de Centroamérica, podría retribuir en una mejora nutrimental del alimento base de la población y útil en tratamientos médicos en cuadros clínicos de osteopenia.

2.5.1 Nopal en polvo

El nopal, llamado por los aztecas *nochtli* o *nopalli*, es una cactácea endémica del continente americano perteneciente a los géneros *Opuntia* y *Nopalea*, de un total aproximado de 104 especies de *Opuntia* y 10 de *Nopalea*, se utilizan las especies: *Opuntia ficus indica*, *Opuntia robusta* y *Nopalea cochellinifera*, como nopal verdura.⁸

Aunque, el vegetal es preferentemente consumido como nopal verdura, en los últimos años se han aplicado el desecado y la pulverización, con el propósito de convertirlo en una materia prima conveniente para la elaboración de productos alimenticios, tales como dulces, panes, galletas, tostadas, tortillas, debido a ser una excelente fuente de fibra dietaría, minerales y vitamina C.

La composición química del nopal varía de acuerdo a la química, acidez, salinidad y textura del suelo donde se cultiva el vegetal, sin embargo, la caracterización química del nopal ha demostrado que el vegetal contiene cantidades significativas de fibra, proteínas, vitaminas y minerales.³² Los cladidos del nopal tienen un excelente potencial como una nueva fuente de fibra para la nutrición humana. La fibra dietaría puede contribuir a la prevención, o al tratamiento de enfermedades gastrointestinales. De acuerdo a su solubilidad en agua es clasificada en soluble e insoluble. La fibra soluble está formada por mucilago, gomas, pectina y fracciones cortas de hemicelulosas, la fibra insoluble está formada por celulosa, lignina y fracciones largas de hemicelulosa

La fibra dietaría tiene varias propiedades físicas interesantes que están probablemente relacionadas con sus efectos fisiológicos. Por ejemplo, la fibra dietaría aumenta la capacidad de absorción de agua e incrementa la concentración de iones que ligan en el sistema digestivo humano. Las ligninas insolubles y polisacáridos son responsables de las propiedades de absorción de agua.

Las propiedades de la fibra son atribuibles al contenido de ácido urónico. Los ácidos urónicos unen los iones como el calcio, magnesio, hierro y zinc. Las fibras dietarías también forman geles debido a los componentes de la fibra soluble como la pectina, gomas y mucílago.

La fibra soluble puede usarse para controlar las propiedades reológicas de los alimentos. La fibra soluble puede ser usada como un agente gelificánte o emulsificante y para otros efectos. La cantidad de fibra adicionada a los alimentos normalmente es menor al 10%, porque mayor a este nivel, disminuyen las características de calidad sensorial y reológicas.

El nopal deshidratado y molido desde el punto de vista nutrimental, mantiene a pesar del proceso al que es sometido sus cantidades significativas de calcio y fósforo que pueden ser utilizados por el organismo humano, sin embargo, las cactáceas son de las pocas plantas que pueden formar oxalatos de calcio, estos compuestos ya cristalizados son insolubles y se almacenan en los tallos viejos, lo que podría limitar la biodisponibilidad del calcio presente.³⁷

2.5.2 Harina mixta de maíz nixtamalizado - nopal

El término harina mixta o compuesta como ya se mencionó, se refiere a cualquier mezcla de dos o más harinas de cereales, leguminosas o tubérculos; la gran ventaja que presentan los productos elaborados con estas harinas, es que están formulados con una base de cereal y algún otro alimento, rico en componentes que aumentan el valor nutrimental del producto. Por ejemplo, en Venezuela se han desarrollado desde hace más de una década, un amplio programa de sustitución de trigo por arroz, plátano, yuca o maíz; entre los productos desarrollados con esas harinas mixtas se destacan los horneados.

Estudios recientes han demostrado que la harina industrial de maíz nixtamalizado con la cual se elaboran las tortillas actualmente, ha presentado contenidos bajos de calcio.²⁹ La tortilla es en muchos casos, el principal alimento y fuente de calcio de la población mexicana, sin embargo, complementar con nopal en polvo a la harina de maíz nixtamalizado fortifica la harina y equilibra el balance de la relación calcio – fósforo, probablemente resuelven la carencia que presentan las harinas industriales.

Una harina mixta de maíz - nopal, está constituida por una harina de soporte que en este caso es la harina industrializada de maíz nixtamalizado pero presenta deficiencias en el contenido de calcio debido a que el proceso industrial no cumple con la cantidad de agua y los tiempos de reposo necesarios para una nixtamalización óptima y por otra parte el alimento que sustituye parcialmente, es el nopal deshidratado en polvo. Con base en la experiencia en el diseño de otras

harinas para panadería, la sustitución debe realizarse en porcentajes menores al 10% debido a que concentraciones mayores repercuten directamente en la reología de la masa y el perfil sensorial del producto final.²⁰

El porcentaje de adición o sustitución de la harina de nopal está limitado por el efecto en las características sensoriales, por ejemplo, una sustitución mayor a 20 % de harina de nopal afecta la textura de los productos, un caso de estudio, es la sustitución de harina de trigo por nopal en polvo en una sopa de verdura a 15, 20 y 25 % de sustitución, la sopa con la más grande aceptación fue la de 15% de sustitución.³⁶

Actualmente hay un amplio campo para el desarrollo de harinas mixtas de maíz, debido a las notables deficiencias en la composición del grano, por lo que se han desarrollado algunas harinas combinadas de maíz-fríjol para incrementar el contenido de proteínas de la harina. Sin embargo, en la harina de maíz es importante la adición de minerales debido a los cambios que se manifiestan en su transformación, tales diferencias pueden ser compensadas a través de la elaboración de mezclas de harinas sin afectar la calidad o el nivel de aceptación de los alimentos preparados con ellas.

2.6 Relación Calcio / Fósforo

El calcio es un mineral esencial para la formación y desarrollo del esqueleto en el hombre, el cual desempeña un papel fundamental en el contenido de minerales en los huesos del organismo humano y por lo tanto, de su salud ósea. Otras de sus funciones son la transmisión de los impulsos nerviosos, mecanismos de contracción muscular, coagulación de la sangre, vasodilatación y una variedad de reacciones enzimáticas básicas.¹² El fósforo es otro mineral abundante en el hueso, dentro del organismo contribuye a la regulación del equilibrio ácido-base el cual es necesario para la actividad nerviosa y muscular, así como para el almacenamiento y la utilización de energía en forma de trifosfato de adenosina (ATP), también participa en la estructura del ácido desoxirribonucleico (DNA), ácido ribonucleico (RNA) y otros intermediarios del metabolismo. El hueso actúa como depósito de calcio y fósforo en forma amorfa (sales no cristalinas) o como hidroxapatita (sales cristalinas).

Durante el proceso de nixtamalización el contenido de calcio en el maíz se incrementa hasta en un 2000 % respecto al maíz crudo, este hecho es muy importante desde el punto de vista nutricional ya que la tortilla representa una importante fuente de este mineral para la población latinoamericana que no tiene acceso a los productos lácteos. La leche y sus derivados poseen un alto contenido de calcio comparado con otros alimentos.³⁷

La relación calcio – fósforo es un indicador de una adecuada mineralización ósea, se ha demostrado que el cociente de la concentración de calcio y fósforo es la clave de una dieta orientada a la prevención y control de enfermedades, asociadas con anomalías en la estructura ósea. En investigaciones recientes se ha demostrado que la relación ideal en la dieta de los humanos es de 1-1.5 para mantener la densidad mineral ósea en los varones adultos.⁴³

Por lo anterior, el contenido de masa ósea dependerá del consumo de calcio a lo largo de la vida del ser humano. Debido a que la tortilla, por su relación de Ca/P aporta más del 80% del calcio de la dieta, se considera la clave para prevenir y controlar enfermedades asociadas con anomalías en la estructura ósea, como es la osteoporosis que se considera como un problema de salud pública en México, ya que es una enfermedad irreversible y progresiva que prevalece en personas de edad avanzada, misma que se caracteriza por una desmineralización del hueso y con la consecuente pérdida de la masa ósea. Esta reducción conlleva a que los huesos se tornen delgados y porosos, aumentando la fragilidad de los mismos y exista mayor riesgo de fractura.²²

2.7 Propiedades de una harina mixta

El objetivo buscado durante la preparación de una harina mixta es que sus propiedades puedan contribuir a la fortificación del alimento sin que se pierdan las especificaciones de la harina principal, Las propiedades fisicoquímicas que se consideran más importantes para caracterizar una harina mixta, son las mismas que corresponden para una harina comercial de maíz industrializado que está asociado con el grado de aceptación de las tortillas elaboradas con esa harina, según Bedolla⁵, la distribución del tamaño de partícula, el índice de absorción de agua, pH, color y la viscosidad máxima, son las propiedades que influyen en la funcionalidad de la harina y el grado de aceptación de productos alimenticios a base de harina de maíz.

La granulometría es un parámetro físico importante porque establece el contenido de tamaño de partículas en una harina, la cual se ve afectada por factores como la dureza del endospermo del grano, el tiempo de nixtamalización, el tipo y tiempo de molienda y el cribado de la harina. Harinas con tamaño de partícula fino o pequeño son responsables de la retención de agua, cohesividad, flexibilidad y suavidad de la masa, ideales para la producción de masa para tortilla, mientras que, la distribución de partículas gruesas son las responsables de la textura y del grado de poder crujiente en productos fritos y derivados de maíz, debido a que las partículas grandes rompen la red de la tortilla, reducen el calentamiento y disminuyen la incorporación de aceite en la tortilla durante su fritura.¹⁸

El pH de una harina está directamente relacionado con la concentración de hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ aplicado durante el proceso de nixtamalización y con la intensidad de lavado del nixtamal. pH bajos se relacionan con un excesivo proceso de lavado durante la nixtamalización que repercute en una pérdida de materia seca; Se ha reportado que las HMNI tienen un rango de 5.53 a 8.01, y un pH bajo se asocia a una mejora en la conservación. Las industrias harineras comúnmente utilizan conservadores para disminuir el valor de pH e incrementar el tiempo de vida de anaquel de una harina.¹

El índice de absorción de agua (IAA o WAI, mL/g) es una de las propiedades más importantes de una harina porque favorece las características de textura de la masa y las tortillas, si durante la producción de la harina, el secado se realiza durante un periodo prolongado de tiempo, se produce un rompimiento de las cadenas de almidón, generando cadenas cortas que retienen mayor número de moléculas de agua, por lo que se obtiene una masa de consistencia apropiada para la elaboración de las tortillas y estas se endurecen más lentamente.⁶ Bressani¹¹ relaciona esta propiedad con mejores rendimientos en número y peso de tortillas por cada 100 g de harina. Sin embargo, también es indicativo del grado de cocción que ha tenido el grano durante la nixtamalización, si el maíz es cocido en exceso, los gránulos de almidón pierden su estructura e integridad formando una pasta gelatinizada con mayor absorción de agua, con esto se obtienen masas con gran adherencia, lo cual dificulta su manejo durante la elaboración de las tortillas.⁶

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Selección y preparación de la muestras

3.1.1 Harina de maíz nixtamalizado tradicional (HMNT)

La harina de maíz tradicional fue preparada por cocimiento de 3 kg de granos híbridos PUMA (Monsanto 2000) en solución con 6 L de agua destilada y 30 g de hidróxido de calcio (1% w/w) (Reactivo en polvo, Fermont, Monterrey, México), durante 25 min a 92 °C, seguido de un periodo de reposo de 7 h en su solución de cocimiento (Nejayote). Para una mejor observación de los procesos de cocimiento y reposo, se monitoreo con un programa controlado de nixtamalización asistido por computadora.

Posteriormente fue removido el nixtamal del nejayote, la muestra de nixtamal fue lavada por un minuto dos ocasiones con agua destilada en una relación 2:1, después de los lavados y drenados la muestra fue molida (Fumasa, M100) y se continuó con una deshidratación utilizando un horno, las condiciones de secado fueron ajustadas a 40 °C durante 8 h. Entonces el material fue una vez más molido usando un molino de martillos (Pulvex 200, DF, México) equipado con una malla de 0.8 mm de apertura. Toda la muestra fue refrigerada en recipientes cerrados e individualmente etiquetados hasta su análisis.

3.1.2 Harina de maiz nixtamalizado industrial (HMNI)

La harina industrial de maíz nixtamalizado fue adquirida en saco de 20 kg en el centro de distribución de la compañía Agroinsa SA de CV en la Ciudad de Querétaro, México. Toda la muestra fue refrigerada en recipientes cerrados e individualmente etiquetados hasta su análisis.

3.1.3 Nopal en polvo

Los nopales *Opuntia ficus Indica variedad redonda*, fueron cultivados en el invernadero del Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada de la UNAM en Juriquilla, Querétaro, con fertilizante orgánico y cosechados durante el verano del 2008, se cosecharon cladodios de 120

días cuyo peso aproximado era de 500 g, primeramente las espinas fueron removidas en forma manual, después los nopales se lavaron con agua destilada y desinfectaron con una solución de NaClO (4.5 mg/L).

Para obtenerlos en forma de polvo se prepararon rebanadas de 3 mm de espesor y se sometieron a secado a 40 °C durante 16 h en un horno a vacío, posteriormente el material fue molido usando un molino de martillos (PULVEX 200, DF, México) equipado con malla de 0.5 mm. Toda la muestra fue refrigerada en recipientes cerrados e individualmente etiquetados hasta su análisis.

3.1.4 Harinas mixtas

Las harinas mixtas de maíz nixtamalizado se prepararon con porcentajes de sustitución del 2, 4, 6, 8 y 10 % de nopal en polvo, se combinaron en una mezcladora (Hamilton Beach 1-12) durante 20 min a 100 rpm. Todas las muestras fueron refrigeradas en recipientes cerrados e individualmente etiquetados hasta su análisis.

3.2 Caracterización fisicoquímica

3.2.1 Análisis granulométrico

La distribución de tamaño de partícula fue determinada a cada una de las harinas (harina industrial, harina tradicional y harinas mixtas) en un equipo vibrador Ro-Tap con una batería de tamices Tyler (US estándar no. 30, 40, 50, 60, 80, 100 y plato) para 100 g de muestra durante 10 min, las fracciones retenidas en cada una de las mallas fueron separadas y pesadas, el proceso fue realizado por triplicado y reportado con desviación estándar.

3.2.2 Determinación de pH. Método AACC 02-52 (2000)

Consiste en preparar para cada una de las harinas una solución de 10 g de muestra en 100 mL de agua desionizada. Se homogenizó durante 15 min con agitador magnético y después de 15 min de reposo se tomó la lectura en el líquido sobrenadante. Se realizó para cada una de las harinas por triplicado.

Los valores de pH se determinaron usando un potenciómetro Jenco, (modelo pH-vision 6071, USA) calibrado con anterioridad al ensayo con tres soluciones amortiguadoras (J.T. Baker standard buffers pH 4, pH 7 y pH 10) a temperatura ambiente.

3.2.2 Determinación de índice de absorción y solubilidad en agua.

Cada muestra de harina de 2.5 g (base seca) se coloca en tubos de propileno de 50 mL previamente tarados y se adiciona 40 mL de agua destilada, los tubos se colocan en baño maría. La suspensión se mantiene en agitación y temperatura constante durante 30 min. Posteriormente se centrifuga a 3000 g durante 10 min a 25 °C. al finalizar el sobrenadante se separa cuidadosamente y se reporta el peso del residuo sólido como g gel / g muestra de harina como índice de absorción en agua (IAA). El sobrenadante se somete a pedida de humedad en estufa a una temperatura de 105 °C por 12 h, seguidamente se colocan en desecador donde se dejan enfriar hasta peso constante, por último se calcula el peso del residuo solido por 100 g de muestra como índice de solubilidad en agua (ISA).

3.3 Análisis químico proximal

3.3.1 Determinación de humedad. Método No. 925.10 (AOAC, 2000)

El método se basa en una determinación gravimétrica en la que se establece la diferencia de pesos en las harinas antes y después de secarla. Se colocan los recipientes a peso constante dentro de un desecador, se toma uno de los recipientes y se pesan entre 5.0 y 5.5 g de harina (Wmh), la muestra se coloca en un horno a 110°C durante 4 h, al término de este tiempo, se transfieren a un desecador donde se dejan enfriar hasta peso constante, entonces se registra el peso (Wms) y se calcula la humedad de la muestra con la siguiente expresión:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{W_{mh} - W_{ms}}{W_{mh}} \times 100$$

En donde:

Wmh = Peso de la muestra húmeda.

Wms = Peso de la muestra seca.

3.3.2 Determinación de cenizas. Método No. 923.03 (AOAC, 2000)

Es un método que se basa en la descomposición de la materia orgánica quedando solamente material inorgánico. Se colocan crisoles a peso constante dentro de un desecador (W_c), se toma un crisol y se pesan 2.5 g de harina y se lleva nuevamente a peso constante (W_{cm}); Incinerar las muestras con mechero hasta carbonización, luego se colocan en una mufla y se someten nuevamente a incineración durante 4 h a 550°C, al término de ese tiempo, las harinas se inspeccionan para verificar si la materia orgánica ha sido consumida, una vez que la materia orgánica es consumida, los crisoles se transfieren a un desecador hasta que se enfrían y se registra su peso (W_{cc}). Se calcula de acuerdo a la siguiente expresión.

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{W_{cc} - W_c}{W_{cm} - W_c} \times 100$$

En donde:

W_c = Peso del crisol sin muestra.

W_{cm} = Peso del crisol con muestra.

W_{cc} = Peso del crisol con cenizas.

3.3.3 Determinación de proteína. Método No. 920.87 (AOAC, 2000)

La determinación de proteína se realizó por el método de Kjeldahl, el cual consiste en convertir el nitrógeno proteínico en nitrógeno amoniacal y por medio de una titulación conocer el porcentaje de nitrógeno liberado.

Se pesa 1 g de harina (W_m), esta muestra es agregada al digestor junto con 4 g de catalizador, el cual consiste en una mezcla de 3.5 g de sulfato de sodio y 0.5 g de sulfato cúprico, después se agrega 10 ml de ácido sulfúrico, los tubos se calientan hasta que adquieran un color verdoso, se dejan enfriar y se transfieren a un destilador, en el destilador se colocan aproximadamente 50 mL de una solución de hidróxido de sodio al 50%. En los matraces de recolección se colocan 25 mL de ácido bórico con indicador de verde de bromocresol y rojo de metilo, en los cuales se colecta el destilado. El destilado se titula con una solución de HCl 0.1 N.

se registra el volumen de HCl consumido en la titulación (V_{HCl}), posteriormente se realiza el siguiente cálculo, empleando 6.25 de factor para la proteína.

$$\% \text{ Proteína} = \frac{V_{HCl} \times N_{HCl} \times 0.014 \times 6.25}{W_M} \times 100$$

En donde:

V_{HCl} = Volumen de HCl en ml consumido en la titulación.

N_{HCl} = Normalidad del HCl.

W_m = Peso de la muestra.

3.3.4. Determinación de lípidos. Método No. 920.85 (AOAC, 2000)

Es un método que se basa en la extracción de lípidos debido a su naturaleza hidrofóbica con disolventes orgánicos como el éter, cloroformo, benceno o acetona.

Se coloca primeramente un matraz de bola limpio y desengrasado a peso constante (W_i), después se ensambla en un sistema de extracción Soxhlet con 200 mL de éter etílico. La muestra desecada y de peso conocido (W_m) se pone en un cartucho de filtro para extracción, que se acopla al sistema; armado el equipo se enciende la parrilla y se permite la volatilización y condensación del éter a una velocidad constante de goteo sobre el cartucho, durante un lapso de 4 a 5 h hasta que el éter sea incoloro, pasado el tiempo, se recupera el líquido y se elimina el éter residual al colocar el matraz en una estufa por 30 min a 100 °C, después se deja enfriar en el desecador y finalmente se pesa (W_f). Posteriormente se realiza el cálculo:

$$\% \text{ Ex. etéreo} = \frac{W_f - W_i}{W_m} \times 100$$

En donde:

W_m = Peso de la muestra.

W_i = Peso del matraz limpio y desengrasado al inicio.

W_f = Peso del matraz al final de la extracción.

3.3.5 Determinación de fibra dietaria total. Método No. 985.29 (AOAC, 2000).

La fibra dietaria se define como los polisacáridos y lignina que no pueden ser digeridas por las enzimas humanas, el método consiste en hidrolizar el almidón y las proteínas con las enzimas digestivas amilasa, proteasa y amiloglucosidasa, aislar y extraer las fracciones de interés y determinar su peso.

Toda la determinación es realizada por duplicado y además se corre un blanco. En un matraz Erlenmeyer de 500 mL con 50 mL de buffer de fosfatos pH 6.0 se pesan 1 g de harina desengrasada (Wm) y se adiciona 0.1 mL de α amilasa termoestable (TDF100A, Sigma-Aldrich), se cubre con papel aluminio los matraces y se somete a baño maría durante 30 min a una temperatura interna entre 75 y 100 °C, al finalizar la incubación se enfría la solución a temperatura ambiente y se ajusta el pH a 7.5.

Se adicionan 5 mg de proteasa (TDF100A, Sigma-Aldrich) en solución, (Se prepara la enzima en solución: 50 mg en 1 ml de buffer de fosfato), Se cubre el matraz con papel aluminio e incuba durante 30 min a 60 °C con agitación continua, al terminar se enfría a temperatura ambiente y se ajusta el pH entre 4.0 y 4.6.

Se agregan 0.3 ml de amiloglucosidasa (TDF100A, Sigma-Aldrich), se cubre el matraz con papel aluminio e incuba nuevamente durante 30 minutos a 60 °C con agitación continua. Una vez finalizada la incubación se adiciona 280 mL de etanol a 60 °C. Se somete a filtración. El residuo del tratamiento enzimático, se lava 2 veces con 10 mL de agua, 2 veces con etanol al 95 % y 2 veces con 10 mL de acetona. Se determina fibra dietaria soluble e insoluble y se calcula:

$$\% \text{ FDT} = \% \text{ FDI} + \% \text{ FDI}$$

3.3.5.1 Fibra dietaria insoluble. Método No. 991.42 (AOAC, 2000).

El residuo se retira del equipo de filtrado y se seca a 105 °C durante 5 h, se transfiere al desecador y se determina el peso. (W residuo FDI). Uno de los residuos se utiliza para obtener la

proteína de la fracción insoluble (W proteína FDI), el segundo residuo se incinera por 5 h a 525 °C, se enfría en desecador hasta peso constante. (W cenizas FDI). Se calcula:

$$\% \text{ FDI} = \frac{W_{\text{residuo FDI}} - W_{\text{proteína FDI}} - W_{\text{cenizas FDI}} - W_{\text{blanco}}}{W_m} \times 100$$

En donde

$\% \text{ FDI}$ = Por ciento de fibra dietaría insoluble.

$W_{\text{residuo FDI}}$ = Peso en mg del residuo de la filtración de fibra dietaría insoluble.

$W_{\text{proteína FDI}}$ = Peso en mg de proteína en la fracción de fibra dietaría insoluble.

$W_{\text{cenizas FDI}}$ = Peso en mg de material inorgánico en la fracción de fibra dietaría insoluble.

W_{blanco} = Peso en mg de $W_{\text{residuo FDI}}$ de las muestras corridas como blanco menos los pesos en mg de proteína y cenizas de las muestras corridas como blanco.

W_m = Peso de la muestra.

3.3.5.2 Fibra dietaría soluble. Método No. 993.19 (AOAC, 2000).

Al filtrado de la solución del tratamiento enzimático se agregan 400 mL de etanol al 95 % a 60 °C, mismo que se deja reposar a temperatura ambiente por 1 h. Más tarde la muestra se filtra a vacío y se enjuaga el material con etanol al 78 % para transferir todas las partículas al embudo. El nuevo residuo obtenido se lava 3 veces con 20 mL de etanol al 78 %, en seguida 2 veces con 10 mL de etanol al 95% y por último 2 veces con 10 mL de acetona, para finalizar se seca a 105 °C, se transfiere al desecador y se determina el peso. (W residuo FDS).

El residuo se retira del equipo de filtrado y se seca a 105 °C durante 5 h, se transfiere al desecador y se determina el peso. (W residuo FDS). Uno de los residuos se utiliza para obtener la proteína de la fracción soluble (W proteína FDS), el segundo residuo se incinera por 5 h a 525 °C, se enfría en desecador hasta peso constante. (W cenizas FDS). Se calcula:

$$\% \text{ FDS} = \frac{W_{\text{residuo FDS}} - W_{\text{proteína FDS}} - W_{\text{cenizas FDS}} - W_{\text{blanco}}}{W_m} \times 100$$

En donde

% FDS = Por ciento de fibra dietaria soluble.

Wresiduo FDS = Peso en mg del residuo de la filtración de fibra dietaria soluble.

Wproteína FDS = Peso en mg de proteína en la fracción de fibra dietaria soluble.

Wcenizas FDS = Peso en mg de material inorgánico en la fracción de fibra dietaria soluble.

Wblanco = Peso en mg de WresiduoFDS de las muestras corridas como blanco menos los pesos en mg de proteína y cenizas de las muestras corridas como blanco.

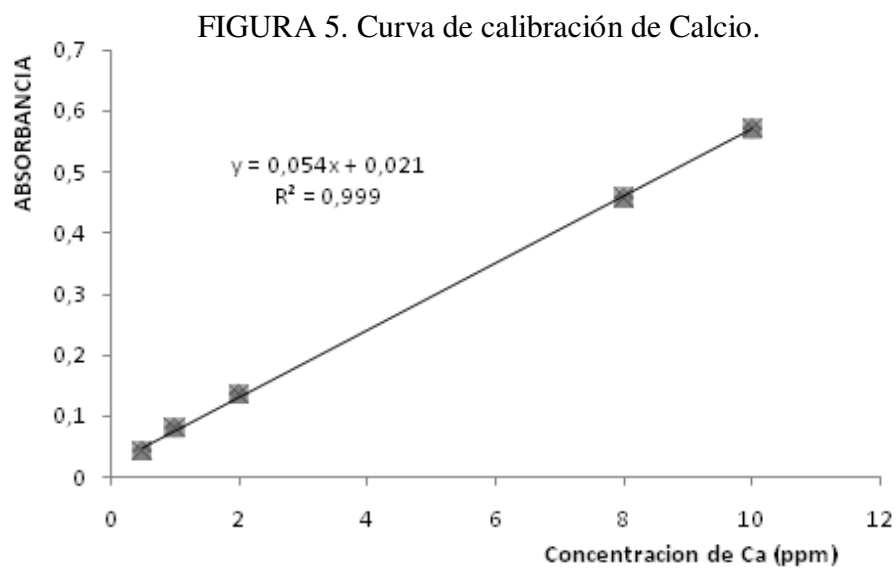
Wm = Peso de la muestra.

3.4 Análisis químico mineral

3.4.1 Determinación de Calcio. Método No. 968.08 (AOAC, 2000)

La cuantificación del contenido de calcio se obtuvo mediante espectroscopía de absorción atómica utilizando un Analyst 300 de Perkin Elmer.

Para realizar la cuantificación de calcio en las harinas se utiliza una curva de calibración elaborada con un estándar certificado de calcio, con este estándar se prepararon soluciones a las siguientes concentraciones 0.5 ppm, 1 ppm, 2 ppm, 8 ppm y 10 ppm de Ca y un blanco con óxido de lantano al 0.1%, Cada una de estas concentraciones de Calcio origina una señal de diferente intensidad como se muestra en la figura 5.



Para efectuar una adecuada preparación de muestras se realiza el siguiente procedimiento: Por triplicado, se pesa un gramo de harina para cada una de las muestras, el gramo de harina contenido en un crisol de porcelana se lleva a cenizas al introducirlo a una mufla a temperatura de 550 °C durante 4 h, las cenizas se agregan a 100 mL de solución acuosa de HCl al 25%. Se calienta a punto de ebullición con agitación para incrementar la disolución de las cenizas hasta reducir el volumen total a 50 mL y se afora a 100 mL con agua destilada, se elige una longitud de onda de 422.7 nm característica del calcio.

El equipo de absorción atómica proporciona una lectura que está relacionada con la intensidad del haz, para convertir a concentración en ppm se utiliza la curva de calibración de la siguiente forma:

$$Y = 0.0549 + 0.0216 X$$

Y: la intensidad del haz de luz.

X: Concentración en partes por millón de calcio en la solución

Para convertir unidades de partes por millón a porcentaje de calcio de la muestra se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Ca} = X / 10\,000 \text{ ppm.}$$

Los parámetros bajo los cuales se utiliza el equipo de espectroscopía de absorción atómica fueron los siguientes:

Presión del aire seco: 12 psi.

Presión del acetileno: 70 psi.

La longitud de onda del láser: 422.76 nm.

Corriente de la lámpara: 10 mA.

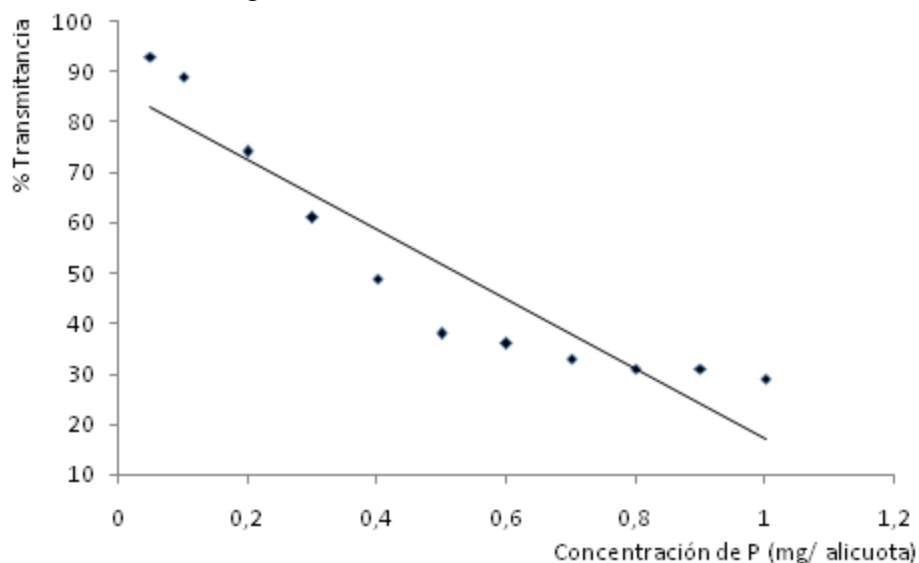
Apertura de la rejilla: 0.7 nm.

3.4.2 Determinación de Fósforo. Método No. 965.17 (AOAC, 2000)

Se prepara una solución de trabajo de concentración 0.1 mg P/mL, de la cual se realizan una serie de alícuotas que contengan, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0 y 1.2 mg de P para leer % de transmitancia a 400 nm,

El tratamiento de las harinas consiste en una calcinación a 600 °C durante 4 h, después un tratamiento ácido con 40 mL de HCL diluido (1+3) y varias gotas de HNO₃ concentrado, se calienta hasta ebullición y se deja enfriar para aforar a 200 mL con agua destilada. Finalmente se filtra y toma una alícuota a la cual se le adiciona 20 mL de molibdovanadato, para después aforar a 100 mL con agua destilada y posteriormente tomar la lectura de % transmitancia a 400 nm, se determinan los mg de P en la alícuota en la curva de calibración interpolando % de transmitancia.

Figura 6. Curva de calibración de Fósforo.



Se calcula:

$$\% P = \text{mg P en alícuota (mg/mL)} / \text{g de muestra en la alícuota} \times 10.$$

3.5 Propiedades de *pasting*

3.5.1 Análisis de viscosidad

Para esta determinación se preparan suspensiones de cada una de las harinas. Se preparan mezclando 4 gramos de harina a 14 % de humedad con 28 mL de agua destilada. A cada una de las suspensiones de las muestras realizadas se les determina la viscosidad empleando el equipo Rapid Visco Analyser RVA, (Newport Scientific Narabee, NSW Australia), girando a una

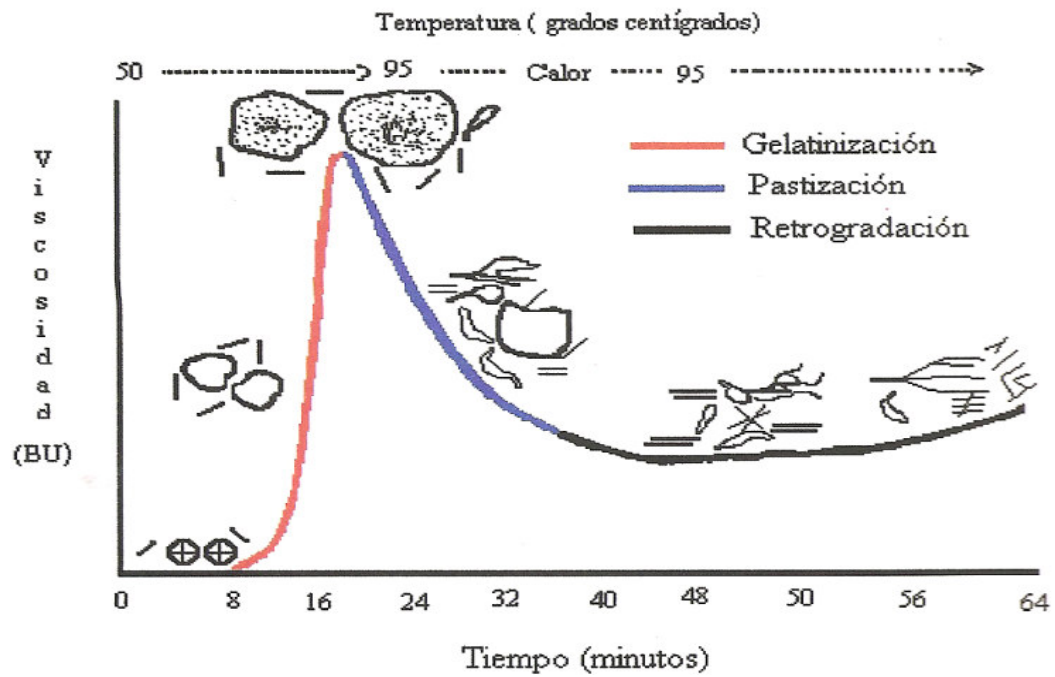
velocidad de 160 rpm, con una tasa de calentamiento de 5.6 °C/min., manteniendo esta tasa durante todo el ciclo de medición.

Los viscoamilogramas se obtienen con ascensos de temperatura de la suspensión de 50 °C hasta 90 °C, al alcanzar esta última temperatura, la muestra se mantiene durante 5 min, luego se le somete a un ciclo de descenso de temperatura con la misma velocidad utilizada para el ascenso. Cada prueba tiene una duración de 15 min, con lo cual se obtienen viscoamilogramas completos para caracterizar cada harina.

Los perfiles de viscosidad (figura 7) son un parámetro importante para evaluar el grado de gelatinización en las harinas, pues refleja principalmente las transformaciones físicoquímicas que ha sufrido el grano de almidón durante el tratamiento térmico alcalino, la molienda húmeda, el proceso de secado y finalmente la molienda seca, que se ven reflejados en la gelatinización del gránulo de almidón, ya que una harina sobre gelatinizada, presenta problemas de absorción de agua y textura inadecuada. La gelatinización es el colapso del orden molecular provocado por los cambios irreversibles en el gránulo y fundición de cristales.

Cuando el almidón es solubilizado por el agua y se eleva la temperatura, los gránulos se hinchan gradualmente aumentando varias veces su tamaño original resultando en un incremento de la viscosidad de la pasta, con el calentamiento las moléculas comienzan a lixiviarse y la amilosa es liberada del gránulo, la viscosidad del medio alcanza un máximo en la gráfica, en este punto se considera que se ha formado completamente una pasta. Posteriormente ocurre el fenómeno de pastización que involucra la exudación de componentes moleculares debido a la ruptura total de los gránulos de almidón, finalmente las moléculas de almidón comienzan a asociarse formando una estructura ordenada, es decir, la retrogradación es un proceso de cristalización de almidón gelatinizado. En una harina, se encuentran básicamente gránulos pregelatinizados, sobre gelatinizados y en muy poca cantidad gránulos con bajo índice de gelatinización.²⁶

Figura 7. Viscoamilograma de una harina de maíz



3.6 Análisis estadístico

Se utilizó el paquete estadístico STATGRAPHICS en la versión 5.0 para analizar los resultados; sometidos a un análisis de varianza de una sola vía y comparación de medias mediante la prueba de Duncan con un nivel de significancia del 95 % ($p > 0.05$).

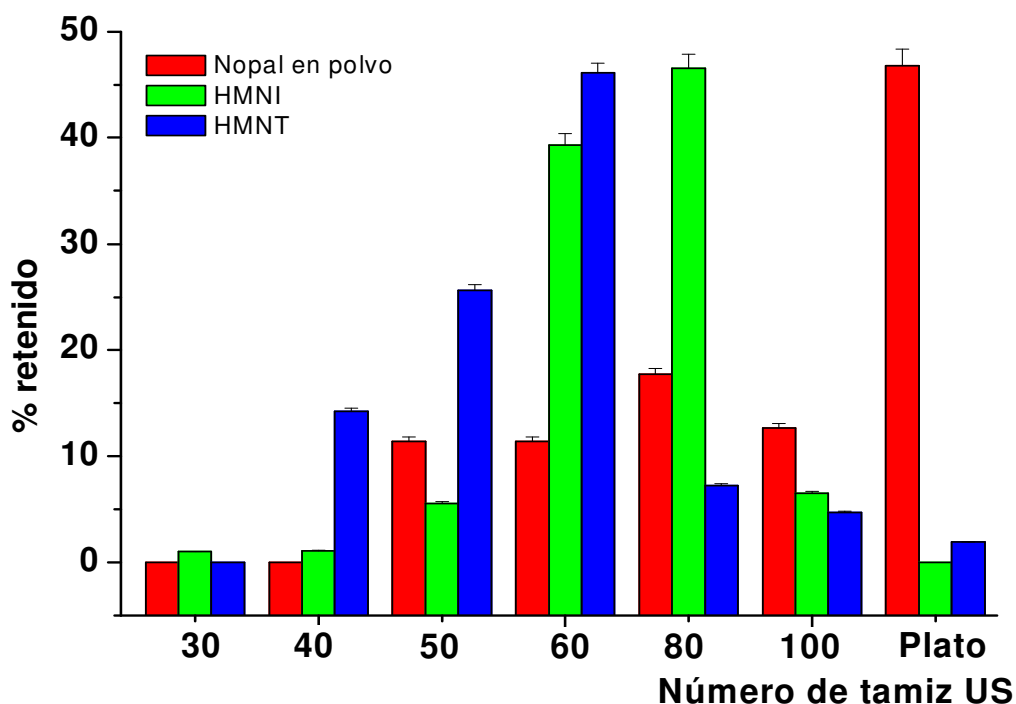
CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Granulometría

La figura 8 muestra los porcentajes de distribución del tamaño de partícula para harina industrial (HMNI), harina tradicional (HMNT) y nopal en polvo. Las HMNI y HMNT no reúnen las condiciones que establece la NMX-046-S-1980, en el sentido de que 75% de la harina debe pasar a través de un tamiz US no. 60.

Figura 8. Análisis granulométrico



En el caso de HMNI, se observó que está formada en un 60% por partículas finas mientras que para la HMNT se encontró un 85% de contenido de partículas de mayor grosor. El tamaño de partícula determina la funcionalidad de la harina, harinas con granulometría pequeña confieren mayor superficie para la absorción de agua que se traduce en masas y tortillas flexibles, por el contrario, una distribución de partículas gruesas participa con una menor superficie de absorción, por tanto se desarrolla menor flexibilidad y cohesividad, propiedades buscadas para productos nixtamalizados fritos porque confiere textura y grado de poder crujiente.

Para el nopal en polvo se observó un nivel alto de pequeñas partículas en donde más del 45% es retenido en el plato. La incorporación de partículas finas del nopal en polvo ayuda en la capacidad de absorción de agua e influye en las propiedades reológicas de la masa.

4.2 Análisis químico proximal

La tabla 1 muestra los resultados del análisis químico proximal realizado a harinas instantáneas y nopal en polvo, encontrando que el nopal contiene una baja humedad, característica que facilita su mezclado con harinas de otros materiales, además es abundante en calcio, cenizas y fibra total. La fibra soluble encontrada en el nopal fue 14.61%, que es casi 7 veces la fibra soluble encontrada en la HMNI.

Tabla 1. Análisis químico proximal de nopal y harinas nixtamalizadas (g/100g).

MUESTRA	HUMEDAD	PROTEINA	EX.ETereo	FIBRA TOTAL	FIBRA SOLUBLE	FIBRA INSOLUBLE	CENIZAS
Nopal 500g	7.32±0.06a	11.73±0.26c	1.89±0.04a	55.05±1.21a	14.61±0.95c	40.39±0.95b	23.05±0.72b
HMNT-7h	10.46±0.23c	9.49±0.30b	4.24±0.08c	7.29±0.28c	5.45±0.17b	1.83±0.596a	1.38±0.08a
HMNI	9.90±0.48b	8.51±0.34a	3.48±0.01b	3.3±0.15b	2.33±0.08a	0.96±0.09a	1.05±0.07a

Los valores expresan un promedio de 3 repeticiones ± DS ($x \pm s$).

Subíndices iguales en una misma columna expresa que no son significativamente diferentes. ($P < 0.05$).

La HMNI y la HMNT cumplen con la norma oficial mexicana (NMX-F-046-S-1980) que establece un máximo de 11% de humedad y un mínimo de 8% de proteína, sin embargo la HMNI no cumple el 4% como mínimo de lípidos que establece la norma. Los resultados de humedad, proteína, lípidos y fibra dietaria soluble encontrados son diferentes estadísticamente entre HMNI y HMNT, esto quiere decir que no son harinas semejantes. También se observa que la HMNI exhibe un bajo contenido de fibra total, esto puede ser explicado a que durante el proceso industrial es eliminado el pericarpio para que no interfiera con el color de la harina en consecuencia se reducen los contenidos de fibra total y calcio. Bresanni¹¹, reporto que remover el pericarpio del grano durante el proceso industrial reduce la fibra insoluble.

La tabla 2 y figura 9 muestran los contenidos de calcio y fósforo en HMNI y HMNT. La HMNT muestra una concentración de calcio de 0.34% para un tiempo de reposo de 7h, mientras

que en el caso de la HMNI se encontró de 0.12 %, es decir una diferencia de aproximadamente del 200% entre métodos de nixtamalización.

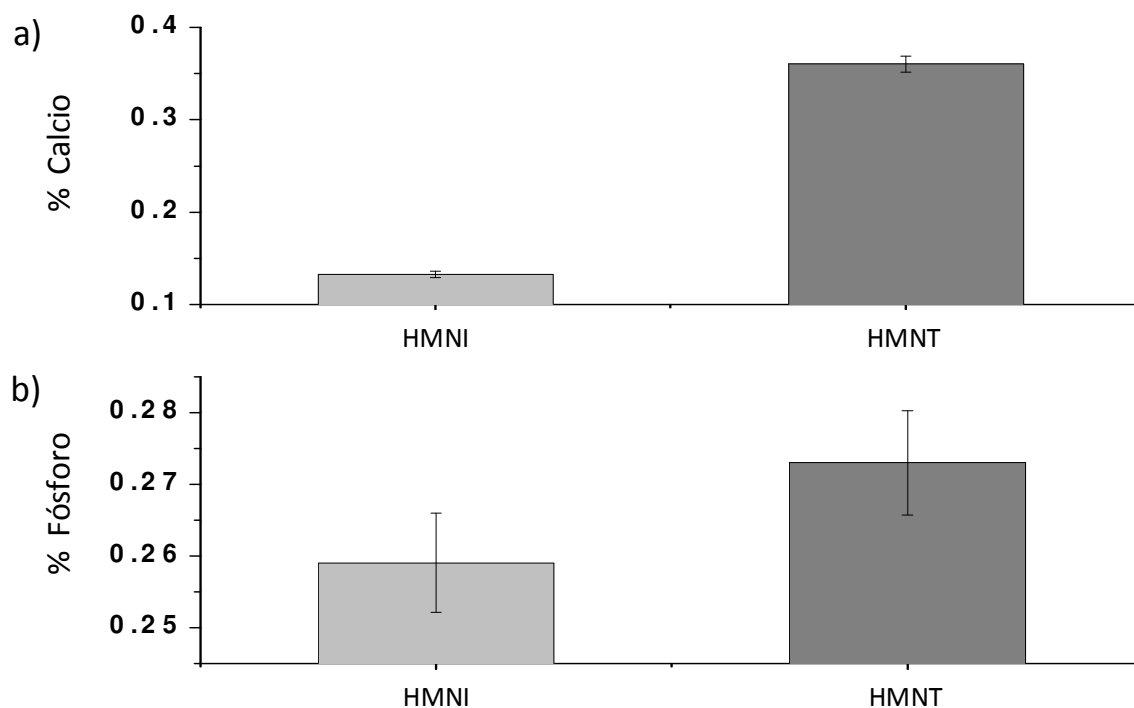
Tabla 2. Composición mineral de nopal y harinas nixtamalizadas (g/100g)

MUESTRA	Calcio	Fósforo	Relación Ca/P	Oxalatos de calcio	pH
Nopal 500g	3.26±0.01c	0.28±0.001b	11.54	3.94±0.18	4.35±0.20a
HMNT-7h	0.34±0.001b	0.26±0.002ab	1.32	N.A.	7.03±0.25b
HMNI	0.12±0.001a	0.25±0.004a	0.51	N.A.	7.44±0.24b

Los valores expresan un promedio de 3 repeticiones ± DS ($\bar{x} \pm \sigma$).

Subíndices iguales en una misma columna expresa que no son significativamente diferentes. ($P < 0.05$).

Figura 9. Contenido de Ca y P en HMNI y HMNT

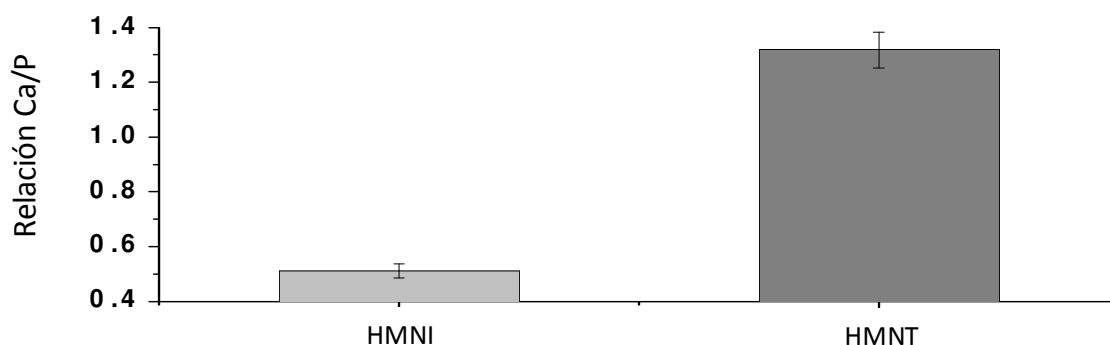


Estos valores bajos en HMNI son debidos a que la cinética de difusión del calcio al interior del sistema durante la nixtamalización se ve afectado por el tiempo de reposo y el recorrido del calcio al interior del grano que sigue la ruta pericarpio-germen-endospermo, en periodos de reposo cortos (2 a 3 h) como es el caso de la nixtamalización industrial la incorporación no excede más del 0.11 %, ³⁰ por tanto, significa que casi todo el calcio está determinado por la

concentración presente en el pericarpio si es mantenido en el proceso como ocurre en la nixtamalización tradicional al no ser de esa manera en el proceso industrial se refleja la disminución del calcio.

La relación Ca/P en alimentos que tienen una buena biodisponibilidad es alrededor de 1.1, en el caso del nopal es 11.54 y para HMNT es 1.32, en contraste, la HMNI tiene el valor más bajo (0.51), esto significa, que la relación estequiométrica calcio-fósforo no es suficiente como para mantener la densidad mineral ósea. Los resultados relacionados a fibra, calcio y relación Ca/P para nopal y HMNI abren una nueva oportunidad para desarrollar productos fortificados con base en estos.

Figura 10. Relación Ca/P en HMNI y HMNT



4.3 Fortificación de HMNI con Nopal

El análisis químico proximal de HMNI muestra que esta harina tiene bajo contenido de calcio, fibra y relación de Ca/P, en las mismas tablas, se encontró que el nopal en contraparte contiene altos niveles de calcio y fibra. Por esta razón a la HMNI se adiciono nopal en polvo en concentraciones del 2 al 10% como se observa en la tabla 3.

La sustitución con nopal al 10% no muestra alguna diferencia en el contenido de humedad y extracto etéreo de las harinas mixtas, pero por arriba del 6% de sustitución se observa un ligero aumento en el contenido de proteína, aunque solo representa cerca del 3% en relación con la HMNI cuando la sustitución es al 10%, mientras que en el caso de la fibra la inclusión del 10% del nopal en polvo, representa el 26.31%, este hecho es muy importante desde el punto de vista nutrimental.

MUESTRA	HUMEDAD	PROTEINA	EX.ETEREO	FIBRA TOTAL	FIBRA SOLUBLE	FIBRA INSOLUBLE	CENIZAS	ELN
HMNI	9.56±0.33a	8.44±0.14a	3.06±0.08b	3.28±0.04a	2.17±0.02a	1.09±0.01a	1.02±0.02a	73.13±0.78a
HC2%	10.1±0.12b	8.67±0.17ab	3.03±0.05ab	4.37±0.05b	2.48±0.02b	1.94±0.01b	1.45±0.03b	71.77±0.50b
HC4%	10.14±0.08b	8.53±0.31a	3.04±0.04b	5.54±0.09c	2.73±0.02c	2.75±0.02c	1.87±0.05c	70.25±0.82c
HC6%	10.19±0.31b	8.81±0.10bc	3.08±0.02b	6.61±0.07d	3.03±0.18d	3.59±0.01d	2.34±0.06d	68.73±0.79d
HC8%	9.89±0.24ab	8.94±0.07c	3.03±0.01ab	7.76±0.04e	3.37±0.20e	4.42±0.01e	2.8±0.03e	67.54±0.32e
HC10%	9.86±0.16ab	8.98±0.10c	2.96±0.04a	8.88±0.07f	3.66±0.05f	5.58±0.03f	3.2±0.07f	66.07±0.14f

Los valores expresan un promedio de 3 repeticiones ± DS ($\bar{x} \pm \sigma$).

Subíndices iguales en una misma columna expresa que no son significativamente diferentes. ($P < 0.05$).

Tabla 3. Análisis proximal de harinas mixtas.

De acuerdo con Wang et al (2002) hay una buena correlación entre el consumo de fibra y la reducción de enfermedades coronarias e incidencia de diabetes.⁴¹

El contenido de cenizas se incrementa para la harina mixta 10% debido al aumento de sodio y potasio, también se observa un crecimiento en el contenido de cenizas y calcio, para fósforo se refleja un ligero aumento significativo pero esto sólo favorece la relación Ca/P a un nivel adecuado a partir del 4% de sustitución. Tabla 4. Si a la HMNI se adiciona 10 % de nopal, el contenido de calcio se incrementa alrededor de 300 %. Figura 11.

Tabla 4. Composición mineral de harinas mixtas (g/100 g)

MUESTRA	CENIZAS	Calcio	Fósforo	Relación Ca/P
HMNI	1.02±0.02a	0.1225±0.02a	0.254±0.01a	0.50±.06a
HC2%	1.45±0.03b	0.2055±0.03b	0.250±0.00a	0.77±.04b
HC4%	1.87±0.05c	0.2796±0.002c	0.270±0.001b	1.02±.01c
HC6%	2.34±0.06d	0.325±0.001d	0.272±0.001b	1.20±.01d
HC8%	2.8±0.03e	0.414±0.001e	0.279±0.002b	1.49±.03e
HC10%	3.2±0.07f	0.489±0.002f	0.269±0.001b	1.77±.06f

Los valores expresan un promedio de 3 repeticiones ± DS ($\bar{x} \pm \sigma$).
Subíndices iguales en una misma columna expresa que no son significativamente diferentes. (P <0.05).

La figura 11 muestra el contenido de calcio, fósforo en función de la fortificación, es muy importante notar que la adición de nopal en polvo en 10% incrementa la relación Ca/P alrededor de tres veces el valor original. Figura 12. Este hecho es importante desde el punto de vista nutricional porque el consumo de tortilla en México es alrededor de 326 g/día y en algunas áreas este producto es el principal recurso de minerales. Para harinas mixtas con más del 4% de nopal, el contenido de calcio satisface los requerimientos diarios para una buena ingesta de calcio.

Figura 11. Contenido de Ca y P en harinas mixtas

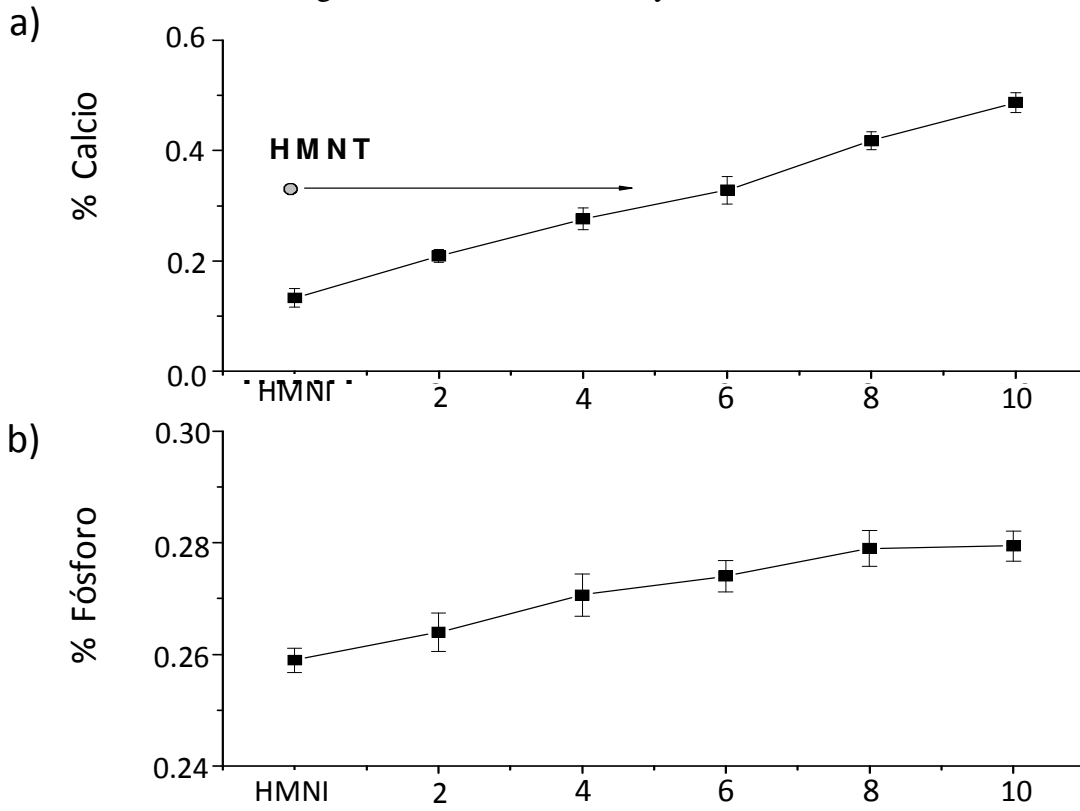
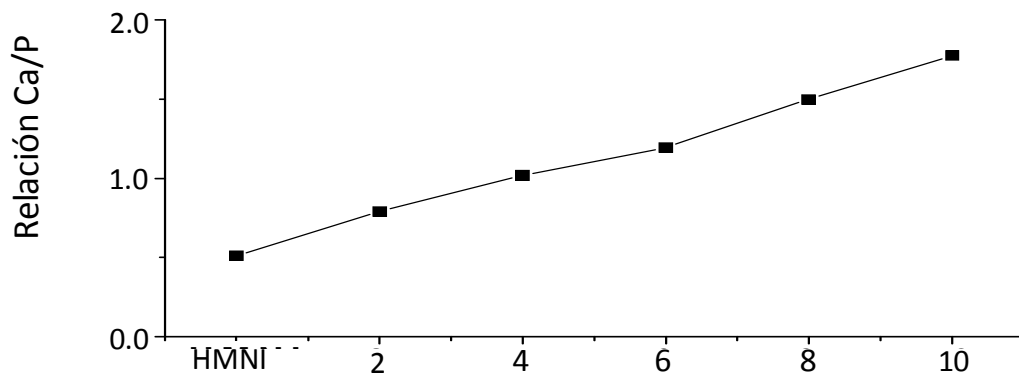


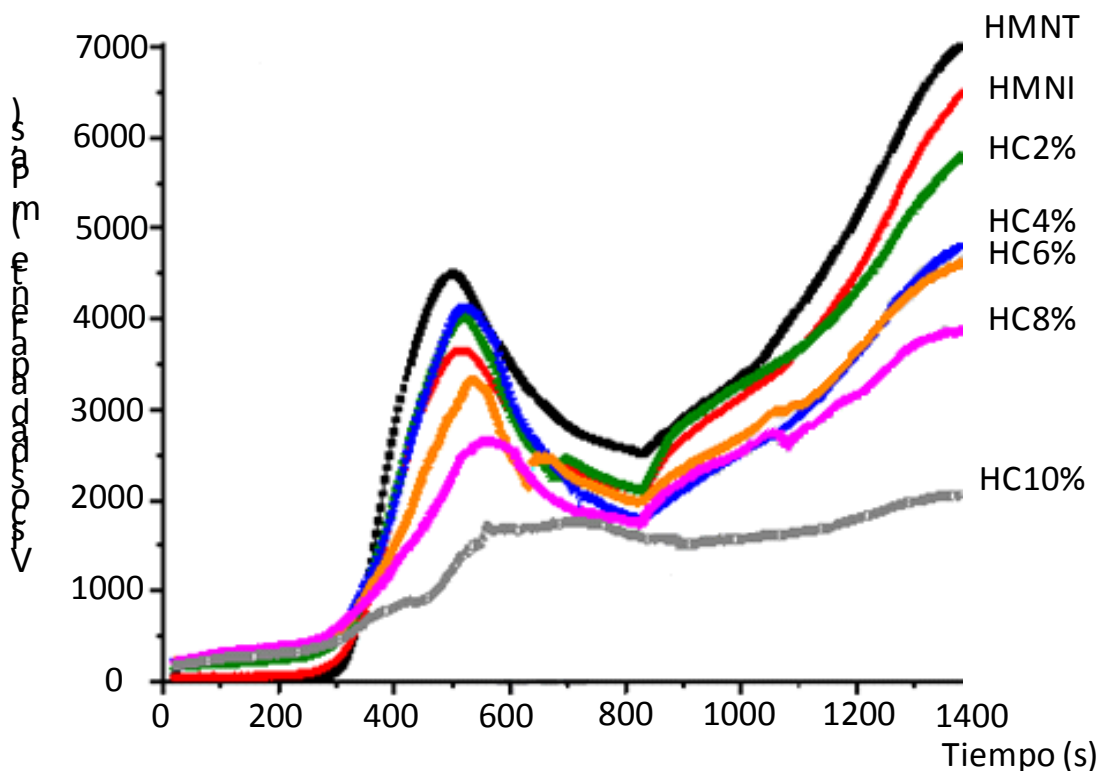
Figura 12. Relación Ca/ P en harinas mixtas



4.4 Comportamiento de viscosidad

En la figura 13 se los perfiles de viscosidad, se observan las viscosidades máximas alcanzadas por las harinas; se aprecia como la HMNT muestra el máximo de viscosidad que alcanza una harina sin sustituir, este fenómeno es importante porque establece el límite de adición de nopal en polvo. La inclusión del 4% de nopal permite el mejor desarrollo de viscosidad que se pueda comparar al de la HMNT, es interesante notar que a pesar de la inclusión de fibra soluble e insoluble, el producto comercial nunca alcanza el pico de viscosidad del proceso tradicional figura 14.

Figura 13. Perfiles de viscosidad de harinas



Una parte muy relevante de las curvas del RVA se muestra en la figura 15, es el rango de tiempo entre el inicio de la prueba y el tiempo por debajo del desarrollo de viscosidad. En este punto es claro como la adición de fibra soluble e insoluble afecta el desarrollo inicial de la viscosidad, la HMNT y HMNI no muestran diferencias en las condiciones de *pasting*, sin embargo la adición de nopal especialmente a tiempos breves de desarrollo de viscosidad afecta principalmente la absorción de agua debido a la presencia de gomas, mucílagos y pectinas.

Figura 14. Picos máximos de viscosidad

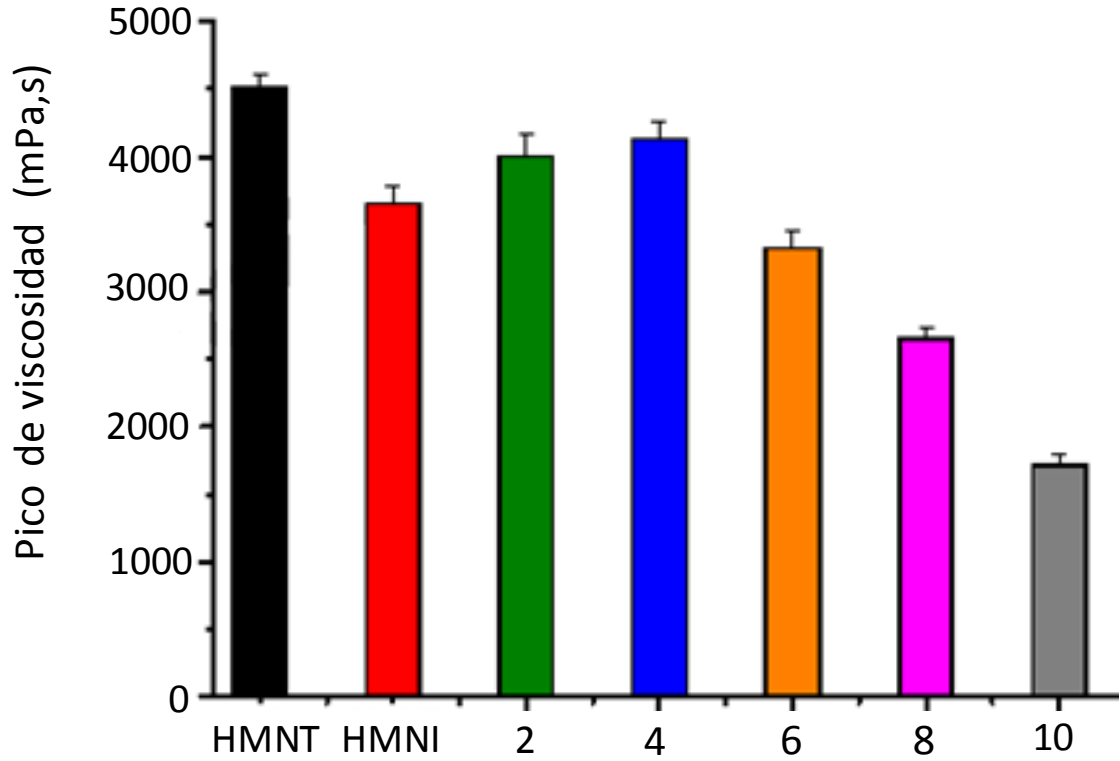
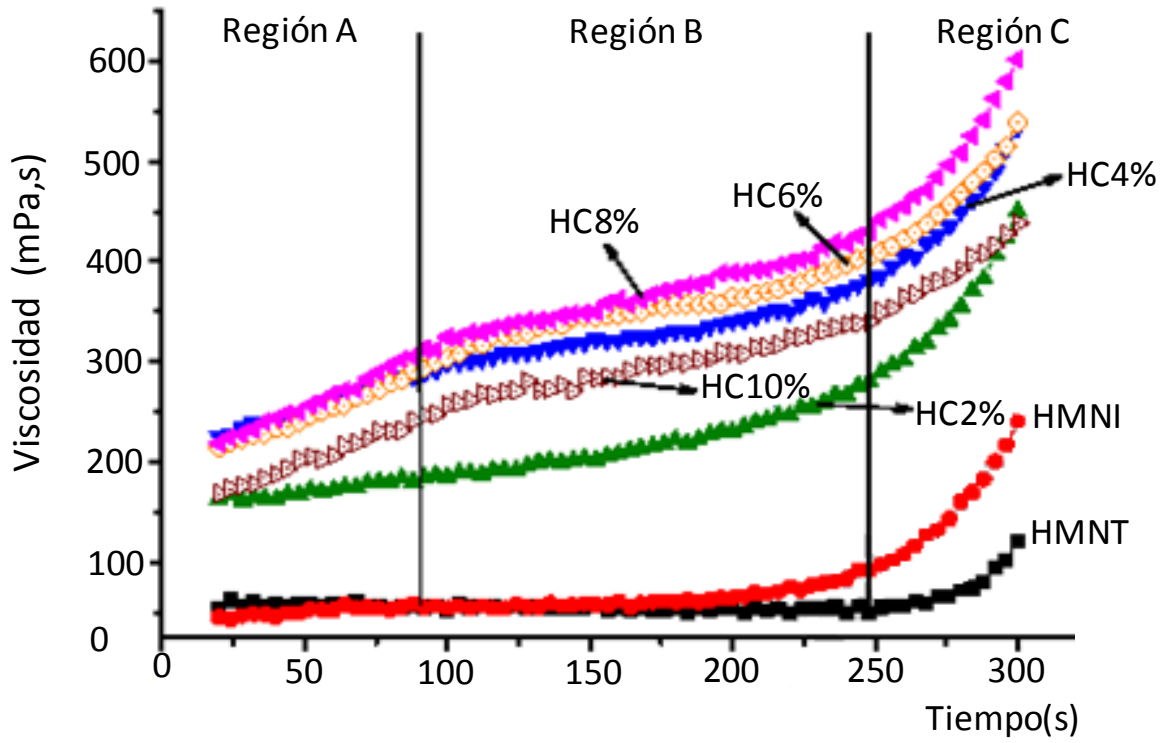


Figura 15. Desarrollo inicial de viscosidad



En la región A (0 a 70 s, 50 °C) se observa en la HMNT y HMNI que no hay desarrollo inicial de viscosidad, debido a que el agua absorbida es poca, y en el caso de las harinas mixtas este fenómeno está gobernado por la absorción de agua de las fibras solubles. Para la región B (70 a 250 s, De 50 a 70 °C) debido al aumento de temperatura (Por debajo de la temperatura de gelatinización) inicia una competencia entre los gránulos de almidón y las fibras solubles por el agua remanente. Para HMNI y HMNT ésta relación resulta casi sin cambio. Para nopal al 2% ésta competencia no es trascendente, pero para los casos restantes (4, 6, 8 y 10%) el fenómeno de absorción de agua es gobernado por las fibras solubles.

Los componentes de la fibra soluble del nopal como mucílago, pectina y gomas son capaces de formar geles que permiten aumentar la capacidad de absorción de agua y formar masas más adherentes. Sáenz en el 2004, mostró que el mucílago es un hidrato de carbono complejo con gran capacidad de absorción de agua.³⁶ McGarvie et al (1981) encontraron que el mucílago de nopal está compuesto de 6% arabinosa, 3% de galactosa y 2.5 % xilosa.²⁵ Flores-Farías et al (2002) estudio la presencia de aditivos en la HMNI, encontraron goma guar y goma xantana. A estas gomas se les adjudica la retención de agua y el cambio de las propiedades reológicas.¹⁶ La tabla 5 nos muestra como la tendencia del índice de absorción de agua aumenta en función de la sustitución al punto (HC8%) donde se observa que se llega al límite de absorción debido a una saturación.

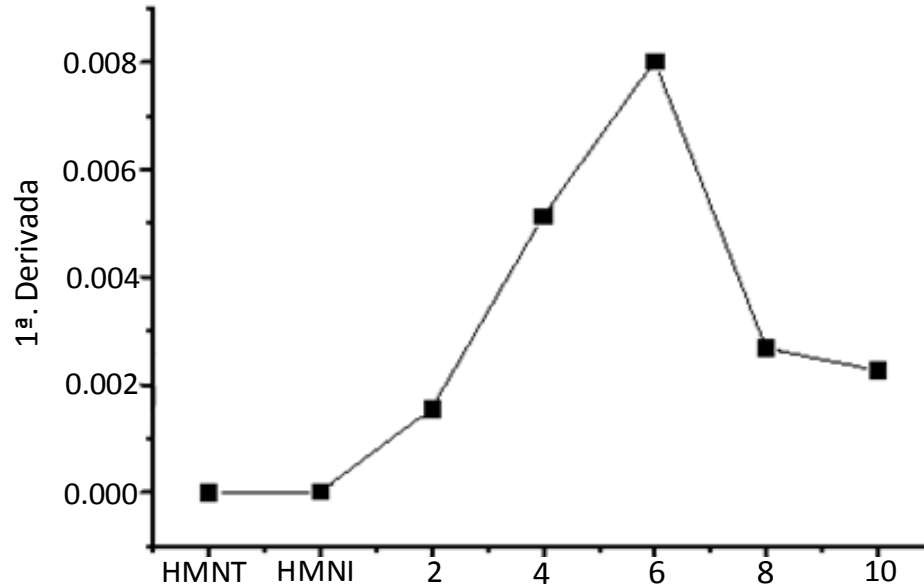
Tabla 5. Índices de absorción y solubilidad en agua

MUESTRA	IAA (g gel/g)	ISA (%)
HMNI	3.06±0.12a	3.81±0.24a
HC2%	3.30±0.23b	3.23±0.31ab
HC4%	3.24±0.06b	3.87±0.85a
HC6%	3.38±0.67b	3.42±0.66ab
HC8%	3.44±0.39c	3.77±0.84ab
HC10%	3.44±0.41c	4.18±0.80a

Los valores expresan un promedio de 3 repeticiones ± DS ($\bar{x} \pm \sigma$).

Subíndices iguales en una misma columna expresa que no son significativamente diferentes. (P <0.05).

Figura 16. Efecto de la adición de nopal en el comportamiento de la viscosidad



Los resultados presentados en la tabla 4, dejan ver que por arriba del 4% de nopal en polvo la fibra insoluble aumenta 100% y esta concentración afecta las condiciones de *pasting* la cual está reflejada como una disminución de la viscosidad después del 6% de sustitución. Figura 16. Aparte de esto, el incremento en la fibra soluble por una concentración de nopal por arriba del 6% disminuye la viscosidad porque hay una competencia interna entre el almidón gelatinizado y la fibra soluble.

La tabla 6 muestra las principales características del estudio de los perfiles de viscosidad de las harinas estudiadas.

Tabla 6. Características de *pasting* de HMNT, HMNI y harinas mixtas.

Muestra	Temperatura (°C)	Pico de viscosidad (mPa.s)	Punto del colapso (mPa.s)	Resistencia (mPa.s)	Viscosidad final (mPa.s)	Tiempo del pico de viscosidad (min)
HMNT	72.33±0.15f	4506±5.3g	1985±7.4f	2517±8.3f	7005±6.5g	8.25±0.02a
HMNI	69.33±0.22c	3649±8.3d	1547±9.5d	2113±3.7e	6480±5.2f	8.36±0.02b
HC2%	70.79±0.26d	4007±9.1e	1892±9.7e	2104±1.7e	5782±5.6e	8.41±0.03c
HC4%	71.09±0.22e	4127±7.5f	2327±9.4g	1807±1.7c	4806±9.4d	8.42±0.01c
HC6%	69.45±0.19c	3318±8.7c	1331±7.9c	1986±5.8d	4607±5.4c	8.55±0.02d
HC8%	67.77±0.18b	2651±9.7b	911±5.5b	1731±4.6b	3875±7.5b	9.13±0.03e
HC10%	67.34±0.1 ^a	1715±8.7 ^a	196±2.9 ^a	1518±6.9 ^a	2055±7.5 ^a	9.23±0.03f

Los valores expresan un promedio de 3 repeticiones ± DS ($x \pm \sigma$).

Subíndices iguales en una misma columna expresa que no son significativamente diferentes. ($P < 0.05$).

La figura 17 muestra el punto en donde ocurre el fenómeno de colapso de los gránulos de almidón, en este punto la amilosa comienza a ser lixiviada. Es claro que más del 6% reduce este valor y podría deberse a la formación de sistemas complejos principalmente con gomas. La viscosidad final es un parámetro relacionado a la habilidad de un material para formar una pasta viscosa o gel después del cocimiento o enfriamiento. La figura 18 muestra la viscosidad final para todas las muestras estudiadas, puede verse que el efecto de la adición de nopal reduce la retrogradación, es decir que la adición de nopal evita la reorganización del almidón después de la gelificación, este hecho puede estar directamente relacionado al incremento de la fibra insoluble (Tabla 3).

Figura 17. Viscosidad a la que se efectúa el colapso del almidón

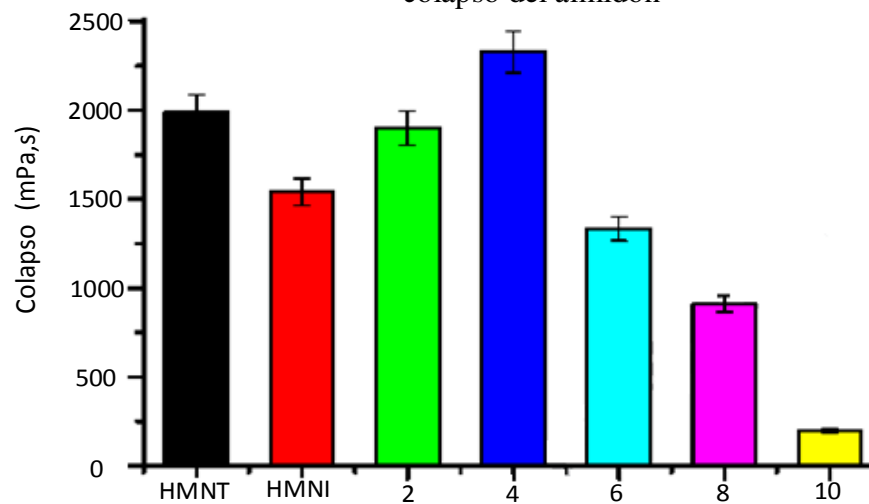
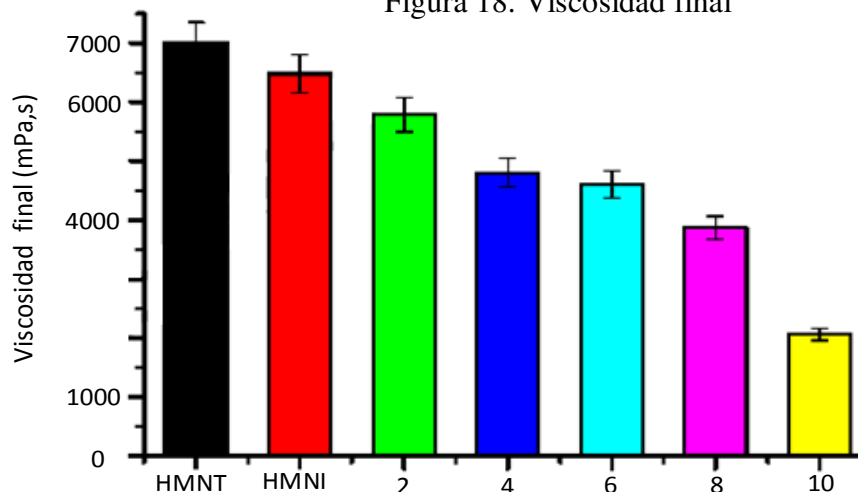


Figura 18. Viscosidad final



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

5.1 Conclusiones finales

De acuerdo a lo expuesto en los resultados de granulometría, los granos híbridos PUMA (Monsanto 2000) utilizados en la nixtamalización tradicional y el maíz de la HMNI muy probablemente son de endospermo duro porque su tamaño de partícula no atraviesa la malla US No. 60.

La eliminación del pericarpio durante la nixtamalización industrial y el poco tiempo de reposo al que es sometido el nejayote inducen en la HMNI reducidas concentraciones de calcio, fibra dietaría total y un marcado desequilibrio de la relación Ca/P.

El nopal cubre las condiciones para fortificar la HMNI, una inclusión entre de nopal en polvo de 4 o 6 % aumenta el contenido de calcio a niveles de las harinas tradicionales y aun mas importante la relación Ca/P es superior a 1. En función del contenido de fibra las harinas mixtas presentan niveles similares a las de harinas tradicionales.

Los componentes de la fibra dietaría insolubles (mucilago, gomas, pectinas y fracciones cortas de hemicelulosas) que aporta el nopal son responsables de la retención de agua durante el desarrollo de viscosidad de las harinas mixtas.

Las harinas mixtas de 2 y 4 % describen un comportamiento de viscosidad lo más semejante a una HMNT y mediante esto es posible determinar la cantidad de nopal que puede ser adicionada para mejorar las propiedades reológicas de la masa y para comprender la influencia de la fibra insoluble. Eso significa que la mejor concentración de nopal agregado al producto puede ser alrededor del 4 %, debido a que por arriba del 6% ocurren fenómenos de competencia por el agua entre el almidón gelatinizado y la fibra insoluble que originan masas más adherentes que no son aptas para elaboración de tortilla.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

6.1 Bibliografía

1. Almeida-Domínguez H.D., 1996. Properties of comercial nixtamalized corn flours. *Cereal Chem.* 41(7): 624-630.
2. AOAC, 2000. Official Methods of Analysis of AOAC International, 17th edition, Gaithersburg, MD, USA.
3. Badui, S., 1996. "Química de los alimentos". Cap II: Hidratos de Carbono, Cap. III: Proteínas. Edit. Alambra mexicana. 3ª edición. México, D.F. pp 94-96, 197-200.
4. Barrios, M.G. "Efecto del reposo durante la nixtamalización tradicional del maíz". Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingeniería. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, México. 2001.
5. Bedolla S. and Rooney L.W., 1984. Characteristics of U.S. and Mexican Instant Maize Flours for Tortilla and Snack Preparation. *Cereal Foods World.*
6. Bello Pérez, L. Osorio, P. Agama, E. Núñez, C. Paredes, O. 2002. Propiedades químicas, fisicoquímicas y reológicas de masas y harinas de maíz nixtamalizado. *Agrociencia.* 36:319-328.
7. Bjarnason, M. and Palmer, W. G. 1972. The maize germ: its role as a contributing factor to protein quality and quality. *Z. Pflanzenzücht* 68:83-89.
8. Bravo, H.H., 1987 Las cactáceas de México, UNAM, México.
9. Bressani, R. 1997. Nutritional Quality of Nixtamalized Corn Masa Flour: Achievement Through Fortification with Micronutrients. In: Fortification of Corn Masa with Iron and/or Other Nutrients - A Literature and Industry Experience Review. SUSTAIN, US Agency for International Development, Washington, D.C
10. Bressani, R., Paz y Paz, R. y Scrimshaw, N.S. 1958. "Chemical changes in corn during preparation of tortillas". *J. Agric. Food Chem.* 6: 770-774.
11. Bressani, R., 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. *Arch. Lat. Amer. Nutr.* 51:309-313.
12. Cashman, K.D. 2002. Calcium intake, calcium bioavailability and bone health. *Brit. J. Nutr.* 87: 169-177.
13. Chaisawang, M., Supphantharika, M., 2006. Pasting and rheological properties of native and anionic tapioca starches as modified by guar gum and xanthan gum. *Food Hydrocolloids.* 20, 641-649.
14. Elías, Luis G. 1999. Concepto y Tecnologías para la elaboración y uso de harinas compuestas. *Notas Técnicas del Instituto de nutrición de Centro América y Panamá.* PP/NT/006.
15. Figueroa, JDD. 2001. Fortificación y evaluación de tortillas de nixtamal. *Archivos latinoamericanos de nutrición.* Vol 51. No. 3. 293: 302.

16. Flores-Farias, R., Martínez-Bustos, F., Salinas Moreno, Y., Rios, E., 2002. Caracterización de harinas comerciales de maíz nixtamalizado. *Agrociencia*. 36, 557-567.
17. Gómez, A.C., Martínez, F., Figueroa, J.D., Ordorica, C.A., González, J. 1991. Cambios en algunos componentes químicos y nutricionales durante la preparación de tortillas de maíz elaboradas con harinas instantáneas obtenidas por extrusión continua. *Arch. Lat. Nut.* Vol. 46, No. 4. 1996. 315-319.
18. Gómez, M.H., Rooney, L.W. Waniska, R.D. and Pflugfelder, R.L. 1987. Dry corn masa flours for tortilla and snack food production. *Cereal Foods World*. pp 32: 372-377
19. Gutiérrez, E., Rojas-Molina, I., Hernandez, J.L., Guzman, H., Aguas-Angel, B., Arenas, J., Fernandez, P., Palacios-Fonseca, A., Herrera, G., Rodríguez, M. E., 2007. Study of calcium ion diffusion in nixtamalized quality protein maize as a function of cooking temperature. *Cereal Chemistry*. 84, 186–194.
20. Hernández, B.D. Guerra, M.J. Rivero, F. 1999. Obtención y caracterización de harinas compuestas de endospermo germen de maíz y su uso en la preparación de arepas. *Ciencia y tecnología alimentaria*. Vol 19 may-aug. 1999.
21. Hosney, C.R. “Principles of cereal science and technology”. Ed. By the American Association of Cereal Chemist Inc. 1986. St. Paul. MN. USA.
22. Ilich J., Zito M., Brownbill R. A. and Joyce M. E. 2000. Change in bone mass after colles’ fracture: a case report on unique data collection and long-term implications. *J Clinical Densitometry*. 3(4):383-390.
23. Inglett, G.E., 1970. Kernel Structure, composition and quality. Chapter 7. In corn: culture, processing, products. The AVI Publishing Company, Inc. USA.
24. MacNeish, R. 1967. The prehistory of the Tehuacán valley. D. Byers, ed. Vol. 1. University of Texas Press, Austin, TX.
25. Mc Garvie, D., Parolis, H., 1981. Methylation analysis of the mucilage of *Opuntia ficus indica*. *Carbohydrate Research*. 88, 305–314.
26. Palacios Fonseca, Alin Jael., 2005. Tesis de Licenciatura, Caracterización fisicoquímica de tres harinas instantáneas comerciales de maíz nixtamalizado, elaboradas por procesos industriales. Universidad Autónoma de Querétaro. Pp. 22-45
27. Palacios-Fonseca, A.J., Vazquez-Ramos, C., Rodríguez, M.E., 2009. Physicochemical Characterizing of Industrial and Traditional Nixtamalized Corn Flours. *Journal of Food Engineering*. 93, 45–51.
28. Paredes-López, O., and Saharopoulos, M. F. 1982. Scanning electron microscopy studies of lime corn kernels for tortilla making. *J. Food. Tech.* 17:687-693.
29. Rodríguez M. E., et al. 2006. Study of Calcium Ion diffusion in Maize Kernels during traditional nixtamalization. *Cereal Chem.* 81:65-69.
30. Rodríguez M. E., Pless R. C., Martínez-Flores H. E., Leal M. Martínez J. L. and Baños L., 2002. Changes in nixtamalized corn flour dependent on postcooking steeping time. *Cereal Chem.* 79(1): 162-166.
31. Rodríguez, M.E., De Lira, C., Hernández-Becerra, E., Cornejo-Villegas, M.A., Palacios- Fonseca, A.J., Rojas-Molina, I., Reynoso, R., Quintero, L.C., Del-Real, A., Zepeda, T.A., Muñoz-Torres, C., 2007.

- Physicochemical characterization of nopal pads (*Opuntia ficus indica*) and dry vacuum nopal powders as a function of the maturation. *Plant Foods for Hum.* 62, 107–112.
32. Rodríguez-Felix, A, Cantwell M, 1988. Developmental changes in composition and quality of prickly pear cactus cladodes. *Plant Foods Hum.* 38: 83-89.
 33. Rooney, L.W. 1999 Perspectives on nixtamalization (alkaline cooking) of maize for tortillas and snacks. *Cereal foods world* 44:466-470.
 34. Rosado, J.L., Camacho, S.R., Bourges H. 1999. Adición de vitaminas y minerales a harinas de maíz y de trigo en México. *Salud Publica de México.* vol. 41, No. 2 marzo-abril p.p. 130-136.
 35. Sáenz, C. 1997. Cladodes: A source of dietary fiber. Universidad de Chile.
 36. Saenz, C., Sepulveda, E., Matsuhira, B., 2004. *Opuntia* spp mucilage's: a functional component with industrial perspectives. *Journal of Arid Environments.* 57, 275–290.
 37. Serna-Saldivar, S. O., Rooney, L. and Greene, L. W. 1991. Effect of lime treatment on the availability of calcium in diets of tortillas and beans: rat growth and balance studies. *Cereal Chem.* 68:565-570.
 38. Serna-Saldivar, S.O., Gómez, M.H., and Rooney, L.W. 1990. Technology, chemistry and nutritive value of alkaline-cooked corn products. Ch. 4 In: *Advances in Cereal Sci. & Technol.* Vol. 10. AACC, St. Paul, MN.
 39. Tortosa, M.E. Cap. I. E. Primo Yutera. “Química Agrícola III: Alimentos”. Edit. Alambra. 1ª edición. México, D.F. 1982. pp. 28-46, 91-102.
 40. Trejo-González, A., Feria-Morales, A., and Wild-Altamirano, C. 1982. The role of lime in the alkaline treatment of corn for tortilla preparation. In: *Advances in Chemistry.* Series 198. 245-263.
 41. Wang J., Rosell, M., Benedito de, B.C., 2002. Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. *Food chemistry.* 79, 221-226.
 42. Watson S.A., Ramstad P. E. 1987. *Corn Chemistry and Technology*, American Association of Cereal Chemists Inc. St. Paul, Minnesota, U.S.A.
 43. Whiting S. J., Boyle J. L., Thompson A., Mirwald R. L. and Faulkner R. A. 2002. Dietary Protein, Phosphorus and Potassium Are Beneficial to Bone Mineral Density in Adult Men Consuming Adequate Dietary Calcium. *J Am Coll Nutr.* 21(5):402-409.

CAPÍTULO VII

ANEXOS

7.1 Artículo

Journal of Food Engineering 96 (2010) 401–409



Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Food Engineering

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jfoodeng



Study of the physicochemical and pasting properties of instant corn flour added with calcium and fibers from nopal powder

M.A. Cornejo-Villegas^{a,b}, A.A. Acosta-Osorio^a, I. Rojas-Molina^c, E. Gutiérrez-Cortéz^{b,d}, M.A. Quiroga^d, M. Gaytán^e, G. Herrera^a, M.E. Rodríguez-García^{d,*}

^a División de Investigación y Posgrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, Cerro de las Campanas s/n, C.P. 76010 Querétaro, Qro., Mexico

^b Departamento de Ciencias Químicas, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México, Av.1° de mayo s/n, C.P. 54740 Cuautitlán Izcalli Edo. de, Mexico

^c Facultad de Ciencias Naturales, Licenciatura en Nutrición, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, Campus Juriquilla, Avenida de las Ciencias s/n Col. Juriquilla CP. 76230 Querétaro, Qro, Mexico

^d Departamento de Nanotecnología, Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Juriquilla, Querétaro, A.P. 1-1010, C.P. 76000, Mexico

^e Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Libramiento Norponiente No. 2000, Fracc. Real de Juriquilla CP 76230, Querétaro, Qro, Mexico

ARTICLE INFO

Article history:

Received 23 March 2009

Received in revised form 11 August 2009

Accepted 12 August 2009

Available online 15 August 2009

Keywords:

Nopal

Traditional corn flours

Instant corn flours

Calcium content

Viscosity

Fiber

ABSTRACT

This work presents a physicochemical and apparent viscosity characterization of commercial nixtamalized corn flours (CNCF) added with nopal powder. The chemical proximate analysis of CNCF and traditional nixtamalized corn flours (TNCF) shows equal amounts of protein and fat, but the calcium content and total dietary fiber is higher in the TNCF. Nopal powder contains a high amount of Ca, soluble and insoluble fiber. The inclusion of 4% of nopal powder increases the calcium and fiber content of the CNCF to the level of traditional nixtamalized products steeped at 7 h. A pasting characteristics analysis based on the profile curves was done in order to study the influence of soluble and insoluble fibers on the pasting conditions of the studied samples added with nopal. At low temperatures the insoluble fiber governs the water absorption and below the gelatinization temperature (T_g) a competition between starch swelling and water absorption was found; for T higher than T_g the system is complex because it includes the interactions between soluble–insoluble fibers and exuding amylose.

© 2009 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

Tortillas and nopal have been, for centuries, allies of Mesoamerican people, in Mexico, nopal and tortilla are the basis of the daily diet with a percapita consumption of 234 g of tortilla and 16.1 g of nopal per day (Rojas-Molina et al., 2007). Nixtamalized instant corn flours are extensively used in Mexico, North and Central America, and their development is growing in importance because their use reduces the tortilla time preparation and elaboration. The traditional nixtamalization process is the base of commercial methods for producing tortilla and a variety of corn snacks and Mexican food products such as tamales, gorditas, chilaquiles, some kind of burritos, tostadas, and tacos among others. Traditional tortillas made by using the traditional method (Rojas-Molina et al., 2007, 2008; Gutiérrez et al., 2007) have a significant importance because they provide 70% of the calories and 50% of the daily protein consumption. In addition, this product supplies 37% of the calcium requirement for adults, as well as insoluble fiber (Serna-Saldivar et al., 1991, 1992).

Commercial production of instant corn flours has differences as related to the traditional nixtamalization process. The main modifications made to the traditional process include the reduction of the alkaline cooking time, the steeping time of cooked grains; the number of washes to remove the alkaline liquor in order to remove components such as pericarp and germ (to improve the color of the product), and steeping after the washing process. The foregoing modifications had strong influence in the sensorial quality of tortillas and nutritional losses, and especially in the final content of Ca (Gutiérrez et al., 2007), that is lower than the Ca content in traditional products.

For centuries, especially in Mexico, the nopal has proved to be one of the important allies in the human and animal diets as a vegetable and as forage; nopal is consumed as a vegetable at different stages of maturation, from 20 to 90 days or more (Rodríguez-García et al., 2007). According to the medical reports carried out especially in Mexico, it has been found that the ingestion of nopal before each meal causes a decrease in corporal weight, as well as a reduction in cholesterol, glucose and insulin (Frati-Munari et al., 1988).

Both scientific and general public, especially in Mexico and Latin America are becoming increasingly aware of the importance

* Corresponding author. Tel.: +52 442 2381141; fax: +52 442 2381165.
E-mail address: marioga@fata.unam.mx (M.E. Rodríguez-García).

of dietary calcium. This is fundamentally due to the many research studies that have demonstrated links between dietary calcium intake and diseases such as osteoporosis, arterial hypertension and colon cancer (Muñoz-Chávez et al., 1995). These diseases have many causes, but the scientific community now recognizes that dietary calcium helps to prevent those (Trejo-Gonzalez et al., 1996). Calcium plays an essential role as an intracellular messenger between many systems and the cell, in mediating vascular contraction and in vasodilatation, muscle contraction, nerve transmission and glandular secretion (Frati-Munari et al., 1988). The average recommended dietary allowance (RDA) or adequate intake of calcium is about 800–1200 mg per day, depending on the country, being this consumption considered as a protection against a negative calcium balance and against bone loss. In the first world countries, about 70% of dietary calcium comes from milk and dairy products, mainly from cheese. Only a few vegetables are good sources of calcium. However, the calcium intake from dairy products in developing countries such as Mexico is limited by the high cost of milk and other dairy products and some vegetables. Another important problem associated with the calcium intake is the lactose intolerance that is present in some segments of the population and whose prevalence increases with age: 32.9% in adults (Mann, 1989).

It is well known that the Ca/P ratio is an important factor for bone formation. Many experiments have shown that calcium to phosphorus ratio much beyond the range of 0.66–1.0 in diets leads to pathological symptoms and poor skeletal health (Bernier et al., 1990). The ideal ratio of Ca/P in diets is 1:1.5 for maintaining bone mineral density in adult men (Serna-Saldivar et al., 1991).

Recently, (Palacios-Fonseca et al., 2009), studied commercial and traditional nixtamalized corn flours, focusing on the fiber and calcium contents. Results indicated that the chemical analysis of commercial nixtamalized corn flours (CNCF) and traditional nixtamalized corn flours (TNCF) presented equal amounts of protein, fat, ashes and moisture. However, the calcium content and total dietary fiber (TDF) is higher in the TNCF sample than in that of the CNCF sample. The final results suggest, in the case of CNCF, that these products had to be fortified with calcium and fiber which could be included by using additional sources, such as nopal.

The main objective of this work is to study the physicochemical and pasting properties of commercial nixtamalized corn flours added with nopal powder in order to achieve the Ca and fiber content of the traditional nixtamalized corn flour steeped for 7 h, which is the usual time used for the traditional processing of nixtamal. Atomic absorption spectroscopy was used to study the calcium content of the samples, UV-Vis spectroscopy was used to study the Phosphorous content, chemical proximate analysis was used to determine the amount of fiber, fat, moisture, and protein, and, in addition, soluble and insoluble fiber determination was done. Rapid Visco Analysis was used to study the pasting properties.

2. Materials and methods

2.1. Traditional corn flour preparation

The traditional corn flour was prepared according to the Gutierrez et al. (2007) methodology. In brief: For a better control of the nixtamalization process for the cooking and steeping steps, as well as for reproducibility of the samples, nixtamalization computer controlled process (NCCP) was developed to control the cooking temperature and to monitor temperature for the cooking and cooling steps in real time. In the initial cooking step of the nixtamalization process, the sample was prepared by cooking 3 kg of PUMA hybrid from Semillas s y Agrosumos Monsanto, Mexico

kernels in a solution of 6 L of distilled water and 30 g of calcium hydroxide (1%, w/w) (reagent powder, Fermont, Monterrey, NL, México). The sample was cooked at 92 °C for 25 min. After cooking, the maize was steeped for 7 h. The cooking liquor (nejayote) was drained off and the nixtamal. The sample was washed twice in water (distilled water was used to avoid Ca interference) with a 2:1 (v/w) ratio, where the kernels were washed for 1 min each time. After washing and draining, the sample was ground (Fumasa, M100, Qto.) into corn dough (masa) and then dehydrated by using a furnace. Drying conditions were adjusted to 40 °C over 8 h. Then the material was remilled using a hammer mill (Pulvex 200, México D.F. México) equipped with a 0.8-mm screen.

2.2. Commercial instant corn flour

A commercial corn flour sample, produced in Mexico was used for this study. The corn flour was stored frozen in closed jars for analysis. Triplicate samples were analyzed, and the means with standard deviations of each determination were reported.

2.3. Nopal powder preparation

A detailed description of the nopal powder preparation has been done elsewhere (Rodriguez-Garcia et al., 2007). In brief: Nopal (*Opuntia ficus indica*, Redonda variety) was cultivated in an experimental field in Silao, Guanajuato (Rancho los Lores), México, with organic fertilizer, and harvested during the summer of 2008. Nopal powders were prepared by drying the nopal slices in a vacuum furnace using 10–2 Torr and 40 °C to avoid protein damage. The dehydration process was carried out for 12 h; each pan containing 4 kg of 3 mm thick nopal slices. The thorns were manually removed; nopal was washed with distilled water and disinfected using NaClO (4.5 mg/l). The dry material was milled using a hammer mill (PULVEX 200, México D.F., México) equipped with 0.5 mm screen. The samples were obtained from nopal of 500 g.

2.4. Commercial instant corn flour with nopal powder preparation

An Industrial corn flour was added with 2, 4, 6, 8, and 10% w/w of nopal powder. The samples were blended with the machine mixture (Hamilton Beach 1-12) at 100 rpm for 20 min. All samples were stored frozen in closed jars and individually labeled for analysis.

2.5. Chemical proximate analysis

Instant corn flours (commercial and traditional) and Nopal powder (NP) (500 g) were studied. The crude protein ($N \times 6.25$) was measured by the micro-Kjeldahl (Method 46-13, AACC, 2000), moisture (Method 925.10, AOAC, 2000), total ether extract (Method 30-25, AACC, 2000) and ashes (Method 08-01, AACC, 2000), insoluble dietary fiber, soluble dietary fiber and total dietary fiber (Method 992.16, AOAC, 2000). All the measurements were carried out three times.

2.6. Particle size distribution

Particle size distribution of commercial nixtamalized corn flour, traditional nixtamalized corn flour and nopal powder was measured using a Ro-TAP equipment with a set of meshes (U.S. standard Nos. 30, 40, 60, 80, 100 and pan). The sieve size determined the particle size categories. The sieving procedure was done according to ASAE Standards (1995) for 100 g of flour 10 min sieving. The fractions retained in each of the different meshes were separated and weighed. The fractionation process was performed in triplicate. Means with standard deviations are reported.

2.7. Atomic absorption spectroscopy

Calcium, sodium and potassium content of the nopal powder and instant corn flours (traditional and commercial) were determined by the dry-ashing procedure 968.08 (AOAC, 2000). The mineral concentration was measured with a double beam atomic absorption spectrometer (Analyst 300 Perkin–Elmer, USA) equipped with a deuterium lamp, background corrector and a hollow cathode lamp. The equipment was operated with 12 psi of dry air, 70 psi of acetylene, a 422.7 nm flame, a 65 mA lamp current, and a 0.7 nm slit width. Phosphorous in nopal powders and instant corn flours was determined according to AOAC official method 965.17 (2000).

2.8. Sample pH values

The pH values of the TNCF and CNCF samples, as well as of the nopal powder were determined using a pH meter (Jenco, model pH-vision 6071, USA) according to approved method 44-19 (AACC, 2000). The pH meter was calibrated at room temperature with three different buffers (J.T. Baker standard buffers pH 4, 7, and 10). A 10 g sample of nopal powder was placed in a beaker containing 100 ml of distilled and deionized water and stirred for 15 min to homogenize the sample. The resulting suspension was left to stand for 15 min, and the pH level was read in the supernatant liquid. Next, 100 g of fresh nopal were blended without water for 1 min until a uniform consistence was achieved, readings were taken on three replicate samples and averaged.

2.9. Apparent viscosity

The apparent viscosities of the water suspensions of CNCF and TNCF-7 h and flours added with nopal powder were determined using a Rapid Visco-Analyzer (RVA-4; Newport Scientific Pty, Australia). Samples were adjusted to 14% moisture content, and distilled water was added to keep the total weight of water and sample constant at 28 g. The corn flour suspensions for different nopal powder concentration (2, 4, 6, 8 and 10% w/w) were suspended in 24 ml of water. The mixture was heated over 5 min from 50 °C to 90 °C, and then held at a constant temperature of 90 °C for 4.50 min. The samples were then cooled down to 50 °C over 5.50 min. The total time for this test was 15 min. The operation conditions were: vessel diameter 0.037 m, high 0.068 m; impeller diameter 0.034 m and high 0.013 m and the frequency of the system was 160 rpm. Peak viscosity or maximum viscosity (mPa s) was recorded from the pasting curve at 90 °C.

2.10. Statistical analysis

One way analysis of variance was performed using the Statgraphics ANOVA procedure (Graphics Software System, Manufistics, Inc. USA) and applying the multiple range tests with a probability $P \leq 0.05$. The effect of the instant corn flour (TNCF, CNCF and CNCF with nopal powder) on the chemical composition, Ca, Ca/P ratio, and pasting properties was studied as the factor.

3. Results and discussion

3.1. Particle size distribution

Fig. 1 shows the percentage of particle size distribution (PSD) for Nopal powder (NP), CNCF and TNCF-7 h. For the NP a high level of small particles can be observed; more than 45% are retained in the pan. In this case the CNCF are formed mainly by fine particles; for TNCF the coarse particles can be influenced by the fiber content

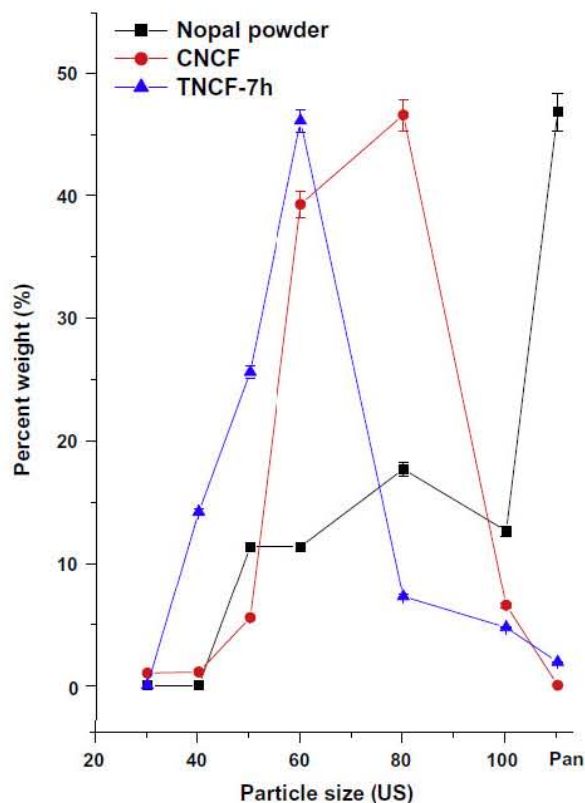


Fig. 1. Percentage particle size distributions of TNCF, CNCF and nopal powder.

(see Table 1). An important point for the formulation of different kinds of products for the different functionalities is the size of the particles. Some authors have reported and recommended finer particles for tortillas (Bressani et al., 2001). The incorporation of fine particles coming from nopal powder could help in the water absorption and could also have an influence on the rheological properties.

3.2. Chemical proximate analysis

Tables 1 and 2 show the chemical proximate analysis of instant corn flours (traditional and commercial), and nopal powder (nopal 500 g), the reported values correspond to the average of three determinations. It can be seen, in the case of nopal powder, that it is rich in Ca, ash, and total fiber (soluble and insoluble), and the Ca/P ratio is 11.33. The pH value is low (acid) and it is important to notice the existence of low calcium oxalates concentration that according to Rodriguez-Garcia et al. (2007), decreases with the maturation stage. The soluble fiber (gums, mucilage and pectins) found in nopal powder was 14.61% which is almost seven times the soluble fiber found in CNCF. It means that the incorporation of nopal powder in instant corn flour increases the insoluble fiber. It is also observed that, the TNCF-7 h exhibits a high content of total fiber in comparison to commercial nixtamalized corn flours. This can be explained as follows: during the traditional process, the alkaline treatment promotes physicochemical changes into the kernel and removes part of the pericarp that depends directly on the steeping time. If the steeping time increases the dry matter also increases (Gutierrez et al., 2007) and in the traditional process, there is no intentional removing of this structure. In contrast,

Table 1

Chemical composition of nopal powder and instant corn flour (Traditional TNCF and Commercial CNCF) (g/100 g).

Samples	Moisture	Protein	Fat	Total fiber	Soluble fiber	Insoluble fiber	Ashes
Nopal 500 g	7.32 ± 0.06a	11.73 ± 0.26c	1.89 ± 0.04a	55.05 ± 1.21a	14.61 ± 0.95c	40.39 ± 0.95b	23.05 ± 0.72b
TNCF-7 h	10.46 ± 0.23c	9.49 ± 0.30b	4.24 ± 0.08c	7.29 ± 0.28c	5.45 ± 0.17b	1.83 ± 0.596a	1.38 ± 0.08a
CNCF	9.90 ± 0.48b	8.51 ± 0.34a	3.48 ± 0.01b	3.3 ± 0.15b	2.33 ± 0.08a	0.96 ± 0.09a	1.05 ± 0.07a

Assays were performed in triplicate. Mean ± SD values followed by the same letter in each column are not significantly different ($P < 0.05$).**Table 2**

Mineral composition of nopal powder and instant corn flour (Traditional TNCF and Commercial CNCF) (g/100 g).

Samples	Calcium	Phosphorous	Ca/P ratio	Calcium oxalates	pH powders
Nopal 500 g	3.26 ± 0.01c	0.28 ± 0.001b	11.54	3.94 ± 0.18	4.35 ± 0.20a
TNCF-7 h	0.34 ± 0.001b	0.26 ± 0.002ab	1.32	NA.	7.03 ± 0.25b
CNCF	0.12 ± 0.001a	0.25 ± 0.004a	0.51	NA.	7.44 ± 0.24b

Assays were performed in triplicate. Mean ± SD values followed by the same letter in each column are not significantly different ($P < 0.05$).

during the industrial process most of the pericarp is intentionally removed because its presence affects mainly the final color of the product and also reduces the total fiber. Bressani et al., 2001, reported that the removal of pericarp from corn kernels during the industrial flour process reduced the insoluble dietary fiber.

Fig. 2 shows the Calcium, Phosphorous and Ca/P ratio for CNCF and TNCF-7 h. Calcium and Phosphorous are important for the human diet; TNCF-7 h exhibits a Ca value of 0.34% for 7 h of

steeping time, while in the case of CNCF it was found to be of 0.12%. The higher values of traditional products are related to the aforementioned discussion regarding the total fiber. Gutierrez et al., 2007 showed that the Ca is located in the pericarp and they found that the Ca concentration could be varied from 1% to 1.8% in this structure. It means that almost all Ca in the total corn flour is influenced by the Ca concentration in the pericarp. In addition, it is well known that the steeping time for the traditional process is longer than in the industrial process allowing the incorporation of Ca into the pericarp, endosperm and germ. The Ca content in the corn flour has also a strong dependence on the pericarp thickness (Gutierrez et al., 2007). Ca/P ratio in food for a good Ca and P bio availability is around 1.1. In the case of nopal the Ca/P ratio is 11.54, and for TNCF-7 h it is 1.32. In contrast, CNCF has the lowest value (0.51); it means that the addition of nopal powder increases the Ca/P ratio in the final product. According to Tables 1 and 2, the results related to fiber, Ca and Ca/P ratio for nopal and CNCF open a new opportunity to develop fortified products based on these, especially on the ones related to the fiber and Ca content that could be in the limits of the traditional products.

3.3. Supplementation of CNCF with nopal powder

According to Tables 1 and 2 the chemical proximate analysis of CNCF showed that this corn flour has: low calcium concentration, low fiber content, and low Ca/P ratio. In the same Table, it was found that nopal contains a high level of Ca and fiber (soluble and insoluble), for this reason the CNCF was added with nopal powder in the range of 2%–10% (w/w). If the CNCF is added with 10% of nopal powder, the total calcium content increases around 300% (Table 4), while for Phosphorous there are not any significant changes.

Fig. 3a shows the calcium content (measured) for CNCF as a function of the nopal powder supplementation, Fig. 3b shows the Phosphorous content and Fig. 3c shows the Ca/P ratio. It is very important to note that the addition of 10% of nopal powder increases the Ca/P ratio around three times the original value (see Table 4). This fact is important from a nutritional point of view because the tortilla consumption in Mexico is around 326 g/day and in some areas this product is the main source of minerals. For CNCF with more than 4% of nopal, the final calcium content satisfied the daily requirements for a good Ca intake.

The inclusion of 10% of nopal powder does not change the total protein and fat in the product, this change only represents about 3% in relation to the corn flour (see Table 3). While in the case of fiber, the inclusion of 10% of nopal flour represents 26.31%. This fact is very interesting from a nutritional point of view. According

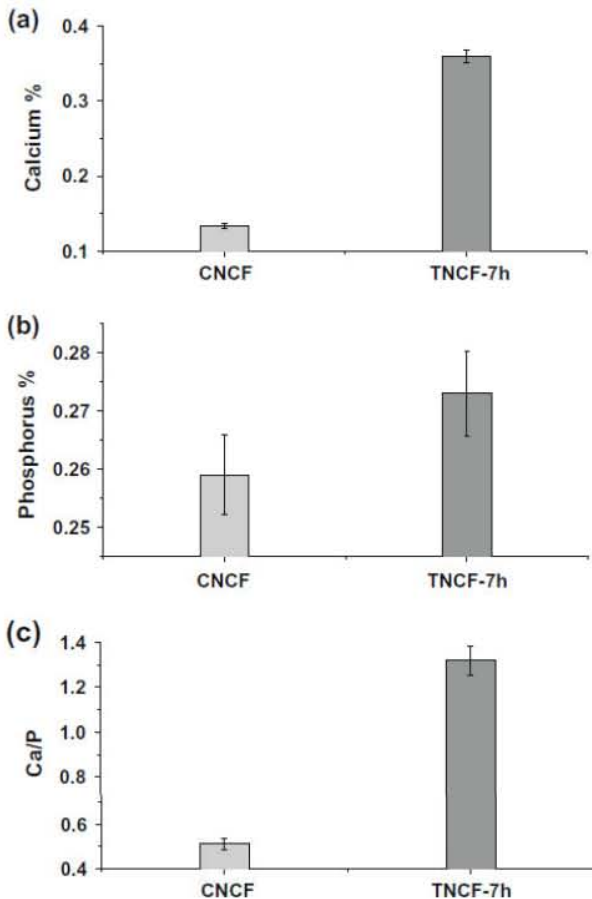


Fig. 2. Calcium, phosphorous and Ca/P ratio for TNCF and CNCF.

Table 3
Chemical composition of CNCF and CNCF with nopal powder (g/100 g).

Samples	Moisture	Protein	Fat	Total fiber	Soluble fiber	Insoluble fiber	Ashes	ELN
CNCF	9.56 ± 0.33a	8.44 ± 0.14a	3.06 ± 0.08b	3.28 ± 0.04a	2.17 ± 0.02a	1.09 ± 0.01a	1.02 ± 0.02a	73.13 ± 0.78a
Two percent nopal	10.1 ± 0.12b	8.67 ± 0.17ab	3.03 ± 0.05ab	4.37 ± 0.05b	2.48 ± 0.02b	1.94 ± 0.01b	1.45 ± 0.03b	71.77 ± 0.50b
Four percent nopal	10.14 ± 0.08b	8.53 ± 0.31a	3.04 ± 0.04b	5.54 ± 0.09c	2.73 ± 0.02c	2.75 ± 0.02c	1.87 ± 0.05c	70.25 ± 0.82c
Six percent nopal	10.19 ± 0.31b	8.81 ± 0.10bc	3.08 ± 0.02b	6.61 ± 0.07d	3.03 ± 0.18d	3.59 ± 0.01d	2.34 ± 0.06d	68.73 ± 0.79d
Eight percent nopal	9.89 ± 0.24ab	8.94 ± 0.07c	3.03 ± 0.01ab	7.76 ± 0.04e	3.37 ± 0.20e	4.42 ± 0.01e	2.8 ± 0.03e	67.54 ± 0.32e
Ten percent nopal	9.86 ± 0.16ab	8.98 ± 0.10c	2.96 ± 0.04a	8.88 ± 0.07f	3.66 ± 0.05f	5.58 ± 0.03f	3.2 ± 0.07f	66.07 ± 0.14f

Assays were performed in triplicate. Mean ± SD values followed by the same letter in each column are not significantly different ($P < 0.05$).

Table 4
Minerals composition of CNCF with nopal powder (g/100 g).

Samples	Ashes	Calcium	Phosphorous	Ca/P ratio
CNCF	1.02 ± 0.02a	0.1225 ± 0.02a	0.254 ± 0.01a	0.50 ± 0.06a
Two percent nopal	1.45 ± 0.03b	0.2055 ± 0.03b	0.250 ± 0.00a	0.77 ± 0.04b
Four percent nopal	1.87 ± 0.05c	0.2796 ± 0.002c	0.270 ± 0.001b	1.02 ± 0.01c
Six percent nopal	2.34 ± 0.06d	0.325 ± 0.001d	0.272 ± 0.001b	1.20 ± 0.01d
Eight percent nopal	2.8 ± 0.03e	0.414 ± 0.001e	0.279 ± 0.002b	1.49 ± 0.03e
Ten percent nopal	3.2 ± 0.07f	0.489 ± 0.002f	0.269 ± 0.001b	1.77 ± 0.06f

Assays were performed in triplicate. Mean ± SD values followed by the same letter in each column are not significantly different ($P < 0.05$).

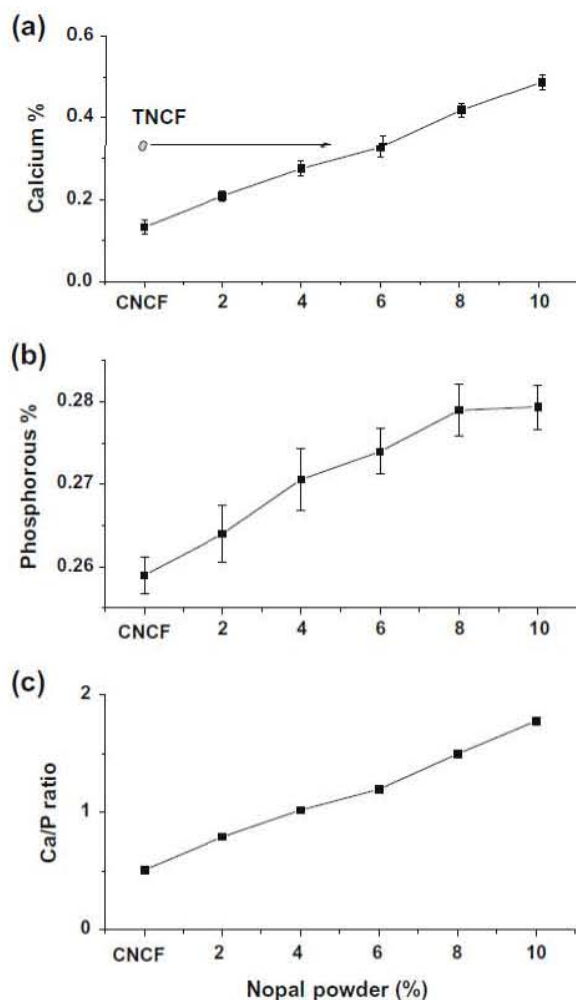


Fig. 3. Calcium, phosphorous and Ca/P ratio for CNCF and CNCF added with nopal powder.

to Wang et al. (2002) there is a good correlation between fiber consumption and the reduction of coronary heart-related diseases and diabetes incidence, also it is well known that the fiber intake is lower than that recommended. The ash content for nopal-corn flour at 10% of nopal, increases its content and that is due to the increases in potassium and sodium.

3.4. Apparent viscosity behavior

From an industrial point of view, the inclusion of nopal powder drastically increases the soluble and insoluble fiber that could change the rheological properties, mainly because the inclusion of gums increases the water absorption and, in addition, the excess of insoluble fiber could affect the pasting conditions of the final product (see Tables 3 and 5).

Fig. 4a shows the viscosity profiles of TNCF, CNCF and CNCF added with nopal. It is possible to observe that due to the inclusion of soluble fiber (gums, mucilage and pectins) coming from nopal, the water absorption increases, and so does the apparent viscosity up to 4% of nopal powder. The apparent viscosity increases for nopal concentration up to 4% while the inclusion of more than 6% reveals an opposite trend. Saenz et al. (2004) showed that mucilage is a complex carbohydrate with a great capacity to absorb water, and according to their work it should be considered as a potential source of industrial hydrocolloid. Mc Garvie and Parolis (1981) found 6.2% of arabinose, 3% of galactose, 2.5% xylose, 1% rhamnose in nopal mucilage. Flores-Farias et al. (2002) studied the presence of additives and preservatives in nixtamalized industrial corn flours, guar gum was found in the range of 0.20–0.38%, xanthan gum (0.18%). These gums are included to increase the water retention and to change the rheological properties.

Fig. 4b shows the peak viscosity for TNCF-7 h, CNCF and CNCF with a nopal powder concentration between 2% and 10% (see Table 5). The TNCF-7 h shows a higher value. This figure is important from an engineering point of view because it establishes the limit of the nopal powder concentration. The inclusion of 4% of nopal powder increases the development of viscosity, while concentration up to this value conducted to decreases of the peak viscosity due to the increases in the insoluble fiber content, gums and mucilages. It is interesting to note that despite the inclusion of soluble and insoluble fiber the commercial product does not reach the peak viscosity of the traditional process.

Table 5

Pasting characteristics of TNCF, CNCF, and CNCF with nopal powder solutions determined by the Rapid Visco-Analyzer (RVA).

Samples	Pasting temperature (°C)	Peak viscosity (mPa s)	Breakdown (mPa s)	Holding strength (mPa s)	Setback (mPa s)	Final viscosity (mPa s)	Peak time (min)
TNCF	72.33 ± 0.15f	4506 ± 5.3 g	1985 ± 7.4f	2517 ± 8.3f	4487 ± 6.6 g	7005 ± 6.5 g	8.41 ± 0.02a
CNCF	69.33 ± 0.22c	3649 ± 8.3d	1547 ± 9.5d	2113 ± 3.7e	4365 ± 3.7f	6480 ± 5.2f	8.6 ± 0.02b
Two percent nopal	70.79 ± 0.26d	4007 ± 9.1e	1892 ± 9.7e	2104 ± 1.7e	3680 ± 5.4e	5782 ± 5.6e	8.69 ± 0.03c
Four percent nopal	71.09 ± 0.22e	4127 ± 7.5f	2327 ± 9.4 g	1807 ± 1.7c	3004 ± 7.8d	4806 ± 9.4d	8.70 ± 0.01c
Six percent nopal	69.45 ± 0.19c	3318 ± 8.7c	1331 ± 7.9c	1986 ± 5.8d	2615 ± 3.8c	4607 ± 5.4c	8.91 ± 0.02d
Eight percent nopal	67.77 ± 0.18b	2651 ± 9.7b	911 ± 5.5b	1731 ± 4.6b	2131 ± 3.3b	3875 ± 7.5b	9.21 ± 0.03e
Ten percent nopal	67.34 ± 0.1a	1715 ± 8.7a	196 ± 2.9a	1518 ± 6.9a	538 ± 5.4a	2055 ± 7.5a	9.38 ± 0.03f

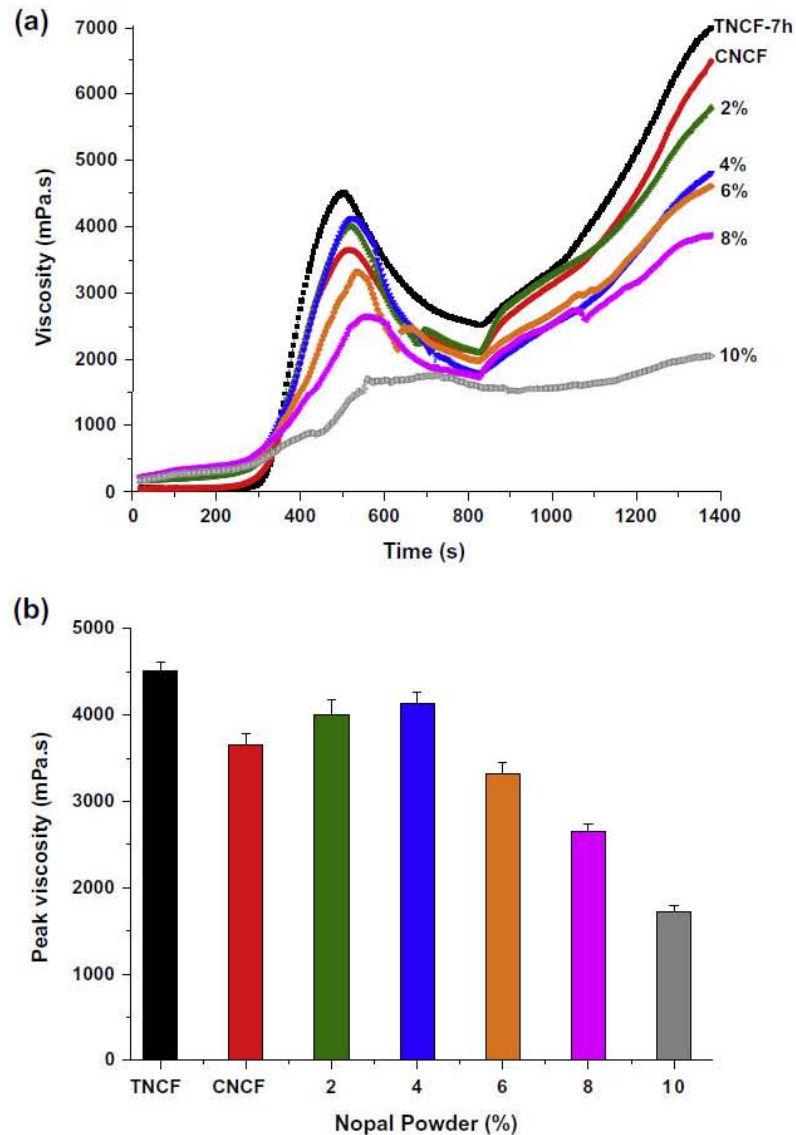
Assays were performed in triplicate. Mean ± SD values followed by the same letter in each column are not significantly different ($P < 0.05$).

Fig. 4. (a) Pasting profiles of TNCF, CNCF and CNCF added with nopal powder and (b) the peak viscosity for the same samples.

A very interesting part of the RVA pasting curves shown in Fig. 5a, is the window time between the beginning of the test and time below pasting temperature. It is clear that the inclusion

of nopal powders (soluble and insoluble fibers) affects the pasting condition. TNCF and CNCF do not exhibit significant differences in the pasting conditions; however the addition of nopal powders

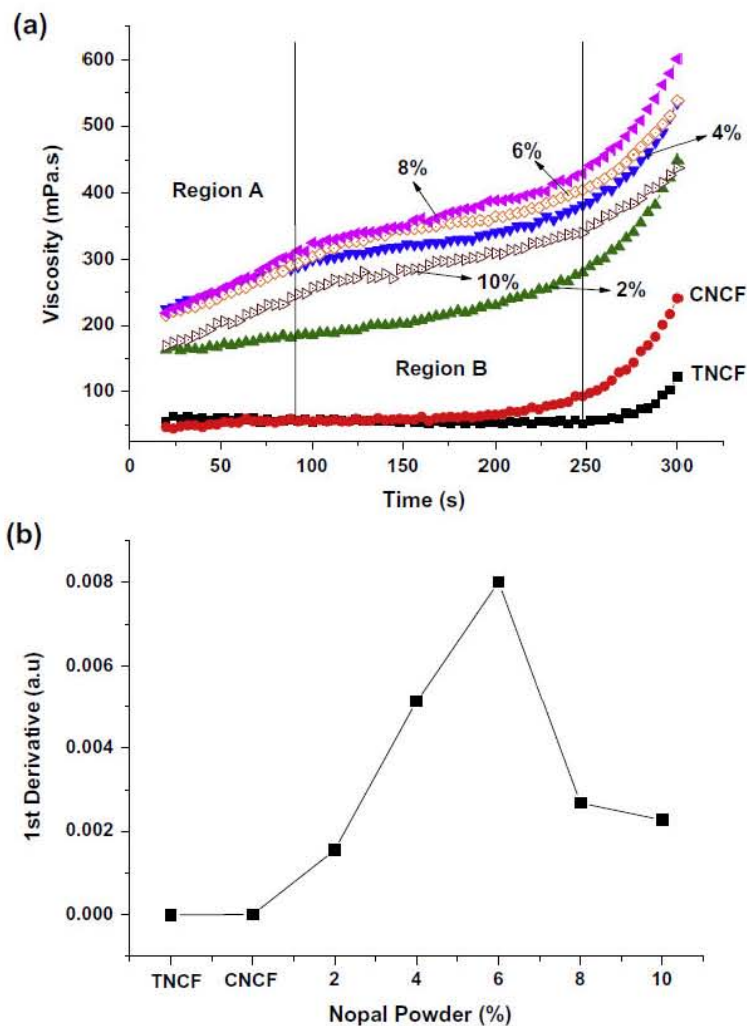


Fig. 5. (a) Pasting profiles of TNCf, CNCF and CNCF added with nopal powder, for first 300 s of the test and (b) first derivative for the same samples.

especially at short times affects the water absorption mainly due to the presence of gums, mucilages and pectins. Region A for isothermal region ($T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, 0–70 s) from the viscosity profile shows the water absorption phenomena. In the case of TNCf and CNCF the water absorption is low (see Fig. 5a), while in the case of CNCF added with nopal this phenomena is governed by water absorption of the soluble fibers.

For Region B ($50\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $67\text{ }^{\circ}\text{C}$, 70–250 s), the temperature increases (lower than gelatinization temperature) and there is a competition between the swelling of the starch granules and soluble fibers for the remaining water. For TNCf and CNCF this relation remains almost constant (Fig. 5a). For 2% of nopal powder this competition is not remarkable, while in the case of samples with 4%, 6%, 8% and 10% the absorption phenomena of water is governed by soluble fibers.

For a better understanding of the water absorption phenomena Fig. 5b shows the first derivative of the apparent viscosity for all the studied samples that shows the changes in this parameter as a function of the nopal powder concentration. For nopal concentration higher than 6% the insoluble fiber content increases almost

45% (cellulose, hemicellulose and lignine) and this value decreases. Arambula et al. (2002) studied the effect of insoluble fiber (dry pericarp) on the physicochemical and rheological properties of fresh corn dough (masa) and tortillas with IF around 6%. They found that the addition of insoluble fiber improves the textural characteristics of tortilla but decreases the dehydration rate that agrees with the results presented in Fig. 5b. Above 4% of nopal powder the insoluble fiber in CNCF increases 100% and, this concentration affects the pasting condition which is reflected as a decrease in the apparent viscosity. Apart from that, the increases in the soluble fiber for nopal concentration higher than 4% decrease the apparent viscosity because there is an internal competition between gelatinized starch and soluble fiber.

In relation to the pasting condition it is also important to study the breakdown and final viscosity of these products.

(Table 5) shows the pasting temperature, peak viscosity, breakdown, set back, final viscosity and peak time. Fig. 6a shows the breakdown of TNCf, CNCF and CNCF added with nopal. It is clear that more than 6% reduces this value and it could be due to the formation of complex systems mainly with gums. As it is well known,

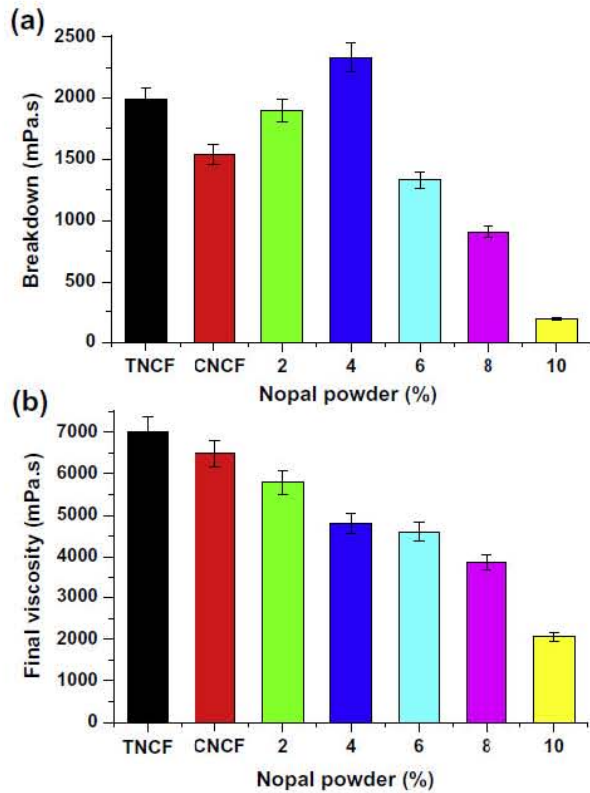


Fig. 6. (a) Breakdown of TNCF, CNCF and CNCF added with nopal powder and (b) final viscosity for the same samples.

the final viscosity is a parameter related to the ability of the material to form a viscous paste or gel after cooking and cooling. Fig. 6b shows the final viscosity for all the studied samples. It can be seen that the effect of the inclusion of nopal powder reduces the retrogradation process; this fact could be directly related to the increase of the insoluble fiber (see Table 3). In terms of pasting conditions, these systems are multiphase. Chaisawang and Suphantharika (2006) studied the pasting and rheological properties of tapioca starches with and without gums (guar and xanthan), they found that these gums behave differently. In the case of guar gum it formed a sheet structure that did not wrap the starch granules that allowed these granules to freely swell with water. On the other hand, with xanthan gums the starch granules were completely wrapped by a tight adhering layer; this caused a decrease in the swelling at high temperatures and produced, as a main effect, the retardation of gelatinization. According to (Table 5), it is possible that the increases of the xanthan gum may originate the increase (retardation) of the peak time.

4. Conclusions

According to the aforementioned experiments the industrial nixtamalized corn flours are low in calcium and fiber; Nopal powders are rich in these elements and could be an excellent source to be added in CNCF and other products. The inclusion of nopal powder between 4% and 6% increases the calcium content at levels of the traditional instant corn flours and more important, the Ca/P ratio is around 1. In terms of fiber content also the final products have a similar fibers level as the one of the TNCF. In terms of food

engineering Figs. 4–6 are very important because by using apparent viscosity it is possible to determine the amount of nopal powder that can be added in order to improve the rheological properties and workability of the dough (masa); and to sense the influence of insoluble fibers in each of the window times. That means that the best nopal powder concentration added in the product has to be around 4%. The addition of nopal powder makes these systems multiphase due to the incorporation of gums.

Acknowledgements

This work was partially supported by CONACYT project 14059 and Researcher Consolidation 2008, México. We want to thank M. en C. Carolina Muñoz T (CGEO-UNAM), M. en I. Alicia Del Real, Q. Carmen Vázquez Ramos (CFATA-UNAM), M. en I. Estela Audelo Vucovich (FESC-UNAM), and M T J Juan Velez M (CINVESTAV Qro) for technical support. M.A. Cornejo-Villegas and A. Acosta-Osorio would like to thank CONACYT-Mexico for their financial support of their Ph. D. studies and E. Gutierrez for the financial support for her postdoctoral position at UNAM-Juriquilla.

References

- AACC, 2000. Approved Methods 08–01 30–25 and 46–13. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA.
- AOAC, 2000. Official Methods of Analysis of AOAC International, seventeenth ed. AOAC, Gaithersburg, MD, USA.
- ASAE Standards, 1995. S319.2: Methods for Determining and Expressing Fineness of Feed Materials by Sieving. ASAE, St. Joseph, Michigan.
- Arambula, V.G., Gonzalez-Hernandez, J., Moreno, M.E., Ordorica, C.A., 2002. Characteristics of tortillas prepared from dry extruded masa flour added with maize pericarp. *Journal of Food Science* 67, 1444–1448.
- Berner, L.A., McBean, L.D., Logfrem, P.A., 1990. Calcium and chronic disease prevention: challengers to the food industry. *Food Technology* 44 (3), 50–70.
- Bressani, R., Turcios, J.C., Reyes, L., Mérida, R., 2001. Caracterización física y química de harinas industriales nixtamalizadas de maíz de consumo humano en América Central. *Archivos Latinoamericanos De Nutricion* 51 (3), 309–313.
- Chaisawang, M., Suphantharika, M., 2006. Pasting and rheological properties of native and anionic tapioca starches as modified by guar gum and xanthan gum. *Food Hydrocolloids* 20, 641–649.
- Frati-Munari, A.C., Gordillo, B.E., Altamirano, P., Araiza, C.R., 1988. Hypoglycemic effect of *Opuntia streptacantha* Lemaire in NIDDM. *Diabetes Care* 11, 63–66.
- Flores-Farias, R., Martínez-Bustos, F., Salinas Moreno, Y., Rios, E., 2002. Caracterización de harinas comerciales de maíz nixtamalizado. *Agrociencia* 36, 557–567.
- Gutiérrez, E., Rojas-Molina, I., Pons-Hernández, J.L., Guzmán, H., Aguas-Angel, B., Arenas, J., Fernández, P., Palacios-Fonseca, A., Herrera, G., Rodríguez, M.E., 2007. Study of calcium ion diffusion in nixtamalized quality protein maize as a function of cooking temperature. *Cereal Chemistry* 84, 186–194.
- Mann, S., 1989. Crystallochemical strategies in biomineralization. In: Mann, J., Webb, R.J.P., Williams (Eds.), *Biomineralization*. VCH Publishers, New York, pp. 35–62.
- McGarvie, D., Parolis, H., 1981. Methylation analysis of the mucilage of *Opuntia ficus indica*. *Carbohydrate Research* 88, 305–314.
- Muñoz-Chávez, M., Chávez, A., Valles, V., Roldán, J.A., 1995. The nopal: a plant of manifold qualities. In: *Plants in Human Nutrition (World Review of Nutrition and Dietetics)*. Simopoulos, A.P. Karger Publishing, Basel, Switzerland, pp. 109–134.
- Palacios-Fonseca, A.J., Vázquez-Ramos, C., Rodríguez, M.E., 2009. Physicochemical characterizing of industrial and traditional nixtamalized corn flours. *Journal of Food Engineering* 93, 45–51.
- Rodríguez-García, M.E., De Lira, C., Hernández-Becerra, E., Cornejo-Villegas, M.A., Palacios-Fonseca, A.J., Rojas-Molina, I., Reynoso, R., Quintero, L.C., Del-Real, A., Zepeda, T.A., Muñoz-Torres, C., 2007. Physicochemical characterization of nopal pads (*Opuntia ficus indica*) and dry vacuum nopal powders as a function of the maturation. *Plant Foods for Human Nutrition* 62, 107–112.
- Rojas-Molina, I., Gutiérrez, E., Cortés-Acevedo, M.E., Falcón, A., Bressani, R., Rojas, A., Ibarra, C., Pons-Hernández, J.L., Guzmán-Maldonado, S.H., Cornejo-Villegas, M.A., Rodríguez, M.E., 2008. Analysis of quality protein changes in nixtamalized QPM flours as a function of the steeping time. *Cereal Chemistry* 85, 409–416.
- Rojas-Molina, I., Gutiérrez Cortés, E., Palacios-Fonseca, A., Baños, L., Pons-Hernández, J.L., Guzmán-Maldonado, S.H., Pineda-Gómez, P., Rodríguez, M.E., 2007. Study of structural changes in endosperm of quality protein maize during traditional nixtamalization process. *Cereal Chemistry* 84, 304–312.
- Saenz, C., Sepulveda, E., Matsuhira, B., 2004. *Opuntia* spp mucilage's: a functional component with industrial perspectives. *Journal of Arid Environments* 57, 275–290.

- Serna-Saldivar, S.O., Rooney, L.W., Greene, L.W., 1992. Effects of lime treatment on the bioavailability of calcium in diets of tortillas and beans: bone and plasma composition in rats. *Cereal Chemistry* 69, 78–81.
- Serna-Saldivar, S.O., Rooney, L.W., Greene, L.W., 1991. Effects of lime treatment on the bioavailability of calcium in diets of tortillas and beans: growth/metabolic studies. *Cereal Chemistry* 68, 565–570.
- Trejo-Gonzalez, A., Gabriel-Ortiz, G., Puebla-Perez, A.M., Huizar-Contreras, M.D., Munguia-Mazariegos, M.R., Mejia-Arregin, S., Calva, E., 1996. A purified extract from prickly pear cactus (*Opuntia fuliginosa*) controls experimentally induced diabetes in rats. *Journal of Ethnopharmacology* 55, 27–33.
- Wang, J., Rosell, M., Benedito de, B.C., 2002. Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. *Food Chemistry* 79, 221–226.