



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
RECURSOS NATURALES

“EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE
MASAS DE MAÍZ NIXTAMALIZADO COCIDAS AL VAPOR
ADICIONADAS CON ARROZ Y TRITICALE”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

PRESENTA:

CLAUDIA NAYELI LÓPEZ TAPIA

Campus universitario “El Cerrillo Piedras Blancas”, Toluca, Estado de
México, Diciembre de 2019



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
RECURSOS NATURALES

“EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE
MASAS DE MAÍZ NIXTAMALIZADO COCIDAS AL VAPOR
ADICIONADAS CON ARROZ Y TRITICALE”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

PRESENTA:

CLAUDIA NAYELI LÓPEZ TAPIA

TUTORA ACADÉMICA
DRA. ADRIANA VILLANUEVA CARVAJAL

TUTORES ADJUNTOS
DR. AURELIO DOMÍNGUEZ LÓPEZ
DRA. MAYRA DÍAZ RAMÍREZ

DICIEMBRE 2019

Campus universitario “El Cerrillo Piedras Blancas”, Toluca, Estado de
México.

AGRADECIMIENTOS

A CONACYT por la beca otorgada para poder realizar este proyecto

A COMECYT por la beca para titulación

A la Facultad por permirme hacer uso de sus instalaciones

A mi Comité tutorial por su dedicación y compromiso para el presente trabajo

A mis profesores por sus enseñanzas

DEDICATORIAS

GRACIAS A MI FAMILIA. Principalmente a mis padres y hermanas por estar a mi lado, por su apoyo incondicional, por sus consejos, sus valores, por el ejemplo de perseverancia y constancia que me han brindado cada día y por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada por su amor. Agradezco el sacrificio y esfuerzo constante para lograr este objetivo el cual también es suyo.

INDICE GENERAL

INDICE GENERAL.....	iii
LISTA DE CUADROS	v
LISTA DE FIGURAS	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT.....	vii
I. INTRODUCCIÓN.....	8
II. JUSTIFICACIÓN	10
III. HIPÓTESIS	11
IV. OBJETIVOS	12
4.2 Objetivo general.....	12
4.2 Objetivos específicos.....	12
V. REVISIÓN DE LITERATURA	13
5.1 Masas cocidas al vapor	13
5.1.1 En China	13
5.1.1.1 Pan al vapor (Mantou o Moo).....	14
5.1.1.2 Bollos al vapor (Bao Zi o Bao).....	14
5.1.1.3 Rollitos al vapor (Huajuan)	15
5.1.1.4 La torta cocida al vapor, fagao	15
5.1.2 En Sudáfrica.....	16
5.1.3 En América Latina.....	17
5.1.3.1 Bollos	17
5.1.3.2 Tamales	18
5.2 Masas cocidas al vapor con distintos cereales.....	20
5.3 El tamal	22
5.4 Nixtamalización.....	24
5.5 Interacciones del maíz con otros cereales.....	26
5.6 Triticale	26

5.6.1	Triticale en la industria	27
5.7	Arroz	28
5.8	Microestructura	28
VI.	MATERIALES Y MÉTODOS	29
6.1	Ubicación del sitio	29
6.2	Materia prima	29
6.3	Equipo y reactivos	29
6.3.1	Equipo	29
6.3.2	Reactivos	30
6.4	Métodos	30
6.4.1	Elaboración de harinas	30
6.4.2	Maíz nixtamalizado	30
6.4.3	Triticale nixtamalizado	31
6.4.4	Harina de arroz	31
6.4.5	Elaboración de masas cocidas al vapor (tamales).....	31
6.4.5.1	Preparación de la masa y elaboración de tamales	31
6.5	Determinación de Textura.....	33
6.6	Determinación de porcentaje de amilosa	34
6.7	Determinación de humedad	34
6.8	Microscopia del tamal.....	35
6.9	Análisis estadístico	35
VII.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
7.1	Efecto del tamaño de partícula y del contenido de amilosa en la textura de tamales elaborados con mezclas de maíz, triticale y arroz.	36
7.2	Resultados adicionales	63
7.2.1	Microscopia del tamal	63
VIII.	CONCLUSIONES GENERALES	66
IX.	BIBLIOGRAFÍA.....	67

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1: Diseño de mezclas con sustitución total de harina de maíz por triticale o arroz. 33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Pan, bollos, y rollitos al vapor.	15
Figura 2: Torta al vapor	16
Figura 3: Pan de trigo (izquierda), pan de maíz (Centro) y pan de sorgo (derecha).	17
Figura 4: Bollo colombiano	18
Figura 5: Tamales (1. El salvador, 2. Venezuela, 3. Guatemala)	20
Figura 6: Molino de martillos	31
Figura 7: Elaboración de masas cocidas al vapor.	32
Figura 8. Prueba de textura en tamales.....	34
Figura 9: Curva de calibración para determinación de % de amilosa.....	34
Figura 10: Microscopia del tamal (1 maíz, 2 triticale, 3 arroz)	63
Figura 11: Área y perímetro de alveolos de aire	65

RESUMEN

Un tamal se define como “una masa cocida y envuelta”. Es producido mediante nixtamalización ($\text{Ca}(\text{OH})_2$, grano y agua) y puede ser elaborado con distintos granos. Aunque los tamales son un alimento popular y de gran importancia económica, el estudio científico de su elaboración y propiedades es escaso. Entre otros cereales, el triticale, por ser rico en compuestos antioxidantes y prebióticos, además de ser un cultivo tolerante a condiciones ambientales desfavorables no aptas para la producción de maíz, se sugiere como ingrediente para la producción de tamales. El arroz, ya utilizado en la producción de algunos tipos de tamales, se propone como modificador de textura, mejorando algunas características fisicoquímicas. En el presente trabajo se evaluó la sustitución parcial de harina de maíz nixtamalizado por harina de triticale y de arroz y su efecto sobre la textura de los tamales utilizando diez mezclas. Se observó que los tamales con mayor contenido de arroz tendían a ser más duros seguidos por los de maíz y triticale. A medida que en las mezclas se incrementaba el arroz, la dureza del tamal era mayor, mientras que con el aumento de triticale la adhesividad aumentaba, el maíz produce tamales con dureza y adhesividad intermedios. En cuanto al tamaño de partícula de las harinas, la que presentó mayor tamaño fue la de triticale seguida por maíz y arroz; la harina de arroz contiene la mayor cantidad de amilosa, seguida por la de maíz y finalmente triticale. La dureza de los tamales se debió a la contribución de los componentes unitarios derivado de las propiedades de cada harina. Las harinas con gránulos más pequeños y homogéneos produjeron tamales más duros pero menos adhesivos. La relación amilosa-dureza indica la fuerte influencia de este componente sobre la dureza del tamal.

Palabras clave: Masas de Maíz Nixtamalizado, Triticale, Arroz, Nixtamalización.

ABSTRACT

Tamal could be defined as "a cooked and wrapped dough." It is produced by nixtamalization (Ca (OH)₂, grain and water) and can be made with different grains. Although tamales are a popular food and of great economic importance, the scientific study of their elaboration and properties is scarce. Among other cereals, triticale is suggested as an ingredient for the production of tamales, because of its antioxidant and prebiotic compounds, in addition to being a crop tolerant to unfavorable environmental conditions not suitable for corn production. Rice, already used in the production of some types of tamales, is proposed as a texture modifier, improving some physicochemical characteristics of this product. This paper evaluated the partial substitution of nixtamalized corn flour with triticale and rice flour and their effect on the texture of tamales using ten mixtures. It was observed that tamales with higher rice content tend to be harder than corn and triticale. As the rice content increased in the mixtures, tamales' hardness was higher, while the increase in triticale increased the adhesiveness as well, corn flour produced tamales with intermediate hardness and adhesiveness. Regarding particle size, triticale flour presented the largest size followed by corn and rice. Rice flour contained the highest amount of amylose, then corn flour and finally triticale. Tamales' hardness could be attributed to the contribution of the unit components derived from the properties of each flour. Flours with smaller and more homogeneous granules produced harder but less adhesive tamales. Amylose-hardness ratio indicated the strong influence of this component on the hardness of tamales.

Keywords: Nixtamalized Corn Dough, Triticale, Rice, Nixtamalization.

I. INTRODUCCIÓN

La cocción al vapor ha sido aplicable a distintos tipos de pan tradicional en varias regiones, como China, Sudáfrica y América Latina

Un tamal se define como una masa envuelta y cocida al vapor (Figuroa et al., 2016), se encuentran íntimamente ligados a la vida cotidiana del mexicano, ya sea que se preparen para conmemorar una festividad cívico-religiosa o simplemente para comida rápida (Miranda, 2011). Uno de los principales ingredientes de los tamales, es el maíz, sin embargo, no estrictamente lo llevan, pues la inventiva popular ha creado los de harina de arroz, de maíz tierno y amaranto. En cuanto a su proceso de elaboración son producidos mediante nixtamalización del grano con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y agua (Hoyer, 2008). Respecto a sus formas y tamaños, estos varían dependiendo el relleno y la localidad; pueden ser cilíndricos, triangulares, rectangulares o en bola, sus medidas también son diferentes, los rectangulares van de 10-15cm, los tamalones de 30-35cm y los miniatura de 3-5cm, referente a sus envolturas las principales son brácteas de maíz, hojas de plátano o de hoja santa (*Piper auritum*) (De`Angeli et al. 2011; Staller et al., 2010).

A pesar de que los tamales son un alimento popular y de gran importancia económica, existe un gran rezago científico acerca del proceso de elaboración y propiedades, sin embargo existen pocos estudios al respecto, Figuroa et al. (2016) evalúan la formación de almidón resistente en el procesamiento de tamales y complejos almidón-lípidos; Mariscal et al., (2017) hacen tamales con distinto tipo de nixtamalización así como una evaluación química, propiedades del almidón e índice glicémico; Pérez et al. (2016) determinan la aceptabilidad de tamales en función de la sustitución de manteca de cerdo por aceites vegetales mientras Rodríguez et al., (2017) observan las propiedades físico-químicas y la digestibilidad de proteínas sobre el efecto de la sustitución de grasa animal o vegetal; Cruz et al., (2019) evalúan la propiedades texturales de los tamales en función del tipo de endospermo.

La demanda del tamal es constante, pero a medida que el número de piezas producidas se incrementa es necesario hacer uso de la tecnología y optimizar el proceso de producción.

Por otro lado, se propone el uso de Triticale, debido a que es un cultivo con gran tolerancia a condiciones ambientales desfavorables no aptas para la producción de maíz, como resistencia a plagas y enfermedades y capacidad de producción en zonas con baja precipitación, además tiene mayor contenido de aminoácidos esenciales como lisina y triptófano, (Amaya *et al.*, 1991 y 1992); su alta concentración de α -amilasa, fibra dietética (arabinoxilanos y β -glucanos) y compuestos polifenólicos hacen que se pueda identificar como una fuente potencial de compuestos prebióticos y antioxidantes, así que su consumo cotidiano puede estimular el desarrollo de bacterias benéficas, por tal motivo se sugiere como un ingrediente idóneo para la producción de tamales (Vardakou *et al.*, 2008). En cuanto al arroz, desde hace algunos años se ha sugerido en la industria de la panificación, debido a que este tipo de harinas produce pan sin gluten, especial para personas sensibles a éste, siendo por lo general utilizado en alimentos para bebés. En México, se utiliza la harina de arroz para la elaboración de tamales dulces comúnmente llamados “canarios”, con la finalidad de dar una textura más granulosa, sin embargo, el estudio del efecto de la adición de triticale y arroz sobre las características textura del tamal no se ha estudiado.

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es, evaluar el efecto de la sustitución de masa de maíz nixtamalizado con harina de triticale y/o arroz sobre las características de textura del tamal, con la finalidad de aprovechar las características de estos tres cereales y obtener tamales con una textura similar a los elaborados únicamente con maíz. La elaboración de los tamales se hará de acuerdo a un diseño de mezclas (Cornell, 1990) a las que se le realizará un perfil de análisis de textura (TPA) reportando dureza, elasticidad, cohesividad y gomosidad y la relación con el tamaño de partícula del harina y el contenido de amilosa de cada cereal.

II. JUSTIFICACIÓN

El tamal es un alimento popular y de gran importancia económica, pero a pesar de ello no se han estudiado los efectos de procesamiento del grano sobre las propiedades del tamal, por lo tanto, no se conocen sus parámetros fisicoquímicos ni de calidad, esto debido a la falta de literatura con aspectos tecnológicos acerca de su producción.

Los tamales de maíz son tradicionales en Centroamérica (Hoyer, 2008) sin embargo, se sugiere el uso de triticale debido a que es un cultivo con gran tolerancia a condiciones ambientales desfavorables no aptas para la producción de maíz, y puede ser una alternativa para producción agrícola en regiones de suelos pobres y poca precipitación pluvial, además de ser resistente a plagas y enfermedades. De la misma manera el arroz puede actuar como coadyuvante en la modificación de textura, mejorando algunas características fisicoquímicas (Figuroa *et al.*, 2016; Santoyo y Quiroz 2010; Serna *et al.*, 2004).

III. HIPÓTESIS

La sustitución parcial de harina de maíz nixtamalizado por harina de triticale y/o de arroz modifica significativamente los parámetros fisicoquímicos de los tamales producidos (humedad, textura y microestructura) respecto de aquellos elaborados solamente con maíz.

IV. OBJETIVOS

4.2 Objetivo general

Evaluar la sustitución parcial de harina de maíz nixtamalizado por harina de triticales y/o harina de arroz mediante la determinación de parámetros fisicoquímicos de los tamales producidos respecto de aquellos elaborados únicamente con maíz.

4.2 Objetivos específicos

- Proponer diferentes formulaciones de tamales con sustitución parcial de harina de maíz nixtamalizado por harina de triticales o de arroz.
- Evaluar, con base en las formulaciones propuestas, el efecto de la sustitución parcial de harina de maíz nixtamalizado por harina de triticales o de arroz mediante la determinación de tamaño de partícula, % de amilosa, humedad, además de textura y microestructura de tamales.
- Proponer una formulación de tamales con sustitución parcial de harina de triticales o arroz que no muestre diferencias significativas con una masa de maíz.

V. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1 Masas cocidas al vapor

La cocción al vapor ha sido aplicable a distintos tipos de pan tradicional, en varias regiones como China, Sudáfrica y América Latina (Sim Y., *et al.*, 2011; Pulane Nkhabutlane 2014; Staller *et al.* 2010). En el caso del pan chino, su proceso de cocción se hace cocinando masa fermentada a través de vapor, este método de cocción produce un producto con una textura de miga suave, húmeda y uniforme, y una piel fina, lisa y blanca en lugar de la corteza marrón del pan tradicional; mientras que el pan occidental (tradicional) se hornea en un horno a 200°C, el pan al vapor se vaporiza a unos 100°C (Rubenthaler *et al.*, 1990). En Sudáfrica se elabora un pan de trigo cocido al vapor, la masa preparada se introduce en un molde, el cual se coloca en una cacerola con agua. En América se preparan los tamales, que son una masa envuelta y su cocción es al vapor dentro de una vaporera; también están los bollos que son elaborados a base maíz, se envuelven en hojas de mazorca y se cocinan por ebullición.

La producción mecanizada de productos al vapor requiere el uso de harinas aptas para el propósito con una buena mezcla y tolerancia de procesamiento y la consistencia de la calidad de la harina. Es importante que los parámetros como el contenido de proteínas, el contenido de cenizas, la absorción de agua y la resistencia de la masa estén dentro de estrictas tolerancias de especificación. (Zhang *et al.*, 2014).

5.1.1 En China

El pan chino al vapor es un tipo de comida fermentada tradicional a base de trigo, se ha consumido durante casi dos milenios en China y es ampliamente consumido por personas que residen en la región del sudeste asiático (Sim Y., *et al.*, 2011). Los ingredientes básicos para hacer pan chino al vapor son: harina de trigo, agua, levadura y sal; el azúcar y la manteca son opcionales (Pomeranz *et al.*, 1991). El pan al vapor representa aproximadamente el 40% del consumo de productos de trigo en China (Qing Gao *et al.*, 2017).

Existen tres tipos principales de pan al vapor hecho en China. El pan al vapor al estilo del norte, el cual, tiene una textura muy cohesiva, elástica y densa y generalmente se prepara a partir de harina de gluten fuerte. El pan al vapor al estilo del sur es comúnmente conocido por una estructura de miga más abierta, una textura más suave y una superficie blanca, y generalmente se prepara a partir de harina de gluten débil. En la parte sur de China, está el pan al vapor al estilo cantonés, el cual es muy singular, por lo que la miga es de color extremadamente blanco, muy suave pero no cohesiva en textura y tiene un sabor muy dulce (Crosbie *et al.*,1998; Jiang *et al.*, 2008).

Los consumidores prefieren el pan al vapor que tiene una superficie suave, una miga blanca suave, húmeda y uniforme con un volumen específico más alto (Rubenthaler *et al.*, 1990). Algunos ejemplos de pan al vapor son:

5.1.1.1 Pan al vapor (Mantou o Moo)

El pan al vapor se llama mantou o moo en China y se hace sin relleno. El pan al vapor es más popular en China que en otros países asiáticos. El pan al vapor suele tener forma redonda o cilíndrica. Los tipos redondos de estilo del norte pesan comúnmente aproximadamente 130 g, mientras que el tipo de estilo del sur se produce en dos tamaños de 65 o 130 g y el tipo de estilo Guangdong es más pequeño, con un peso de solo 25 g. (Figura 1).

5.1.1.2 Bollos al vapor (Bao Zi o Bao)

Los bollos al vapor contienen muchos rellenos diferentes. Se pueden dividir ampliamente en dos tipos: rellenos salados y dulces. (Figura 1).

5.1.1.3 Rollitos al vapor (Huajuan)

Los rollos cocidos al vapor tienen condimentos como el aceite de sésamo extendido entre las capas de la masa. Son diferentes en el corte, estiramiento, el enrollado y plegado de la masa y de los procesos de cocción al vapor pueden dar diversas formas y sabores. (Figura 1).



Figura 1: Pan, bollos, y rollitos al vapor.

Fuente: Rubenthaler *et al.*, 1990

Existen muchos tipos de pasteles al vapor que se consumen en Asia y que utilizan ingredientes y condiciones de procesamiento variados.

5.1.1.4 La torta cocida al vapor, fagao

Generalmente tiene una textura mucho más abierta que el pan cocido al vapor. Por lo general, se hace con harina de trigo o mezclas de harina de trigo y otras harinas de grano como la harina de maíz o la harina de mijo, junto con agua, levadura y azúcar. El procesamiento incluye mezclar hasta obtener una masa suave, fermentación, moldeado, pruebas y cocción al vapor. Fagao tiene una textura suave y abierta y un sabor dulce, y se consume más comúnmente como un refrigerio o en el desayuno (Figura 2).



Figura 2: Torta al vapor

Fuente: Rubenthaler *et al.*, 1990

El consumo de pan chino al vapor se ha extendido por Japón, Corea del Sur, Indonesia, Tailandia, Malasia, Filipinas, Vietnam, Australia (Huang, 2016) y otras partes del mundo, Ha desarrollado un rápido desarrollo en términos de comercialización.

5.1.2 En Sudáfrica

Existen varios panes de nombre Basotho preparados en zonas urbanas de Lesotho los cuales se preparan a partir de trigo, maíz y sorgo (Figura 3). Las preparaciones de panes Basotho tradicionales implican la preparación de granos (lavado, clasificación, remojo, descascarillado, molienda en seco y molienda húmeda) preparación o amasado, fermentación y cocción.

El pan de trigo al vapor (leqebekoane), el pan de trigo con base (bohoobeba polata) y el pan de trigo rosado (liphaphatha) son panes tradicionales preparados a partir de harina de trigo, sorgo o levadura comercial, sal y agua tibia. El método de preparación de la masa de pan es el mismo para todos los 3 panes, pero la diferencia viene con los métodos de enfriamiento que los nombres sugieren. Los panes de maíz y sorgo tienen miga frágil (desmoronable) esto debido a que las harinas no estaban bien calentadas. En comparación con el pan de trigo, los panes compuestos siempre son más pesados con una textura más densa. El tipo de grano utilizado para cada una de las harinas influye en las características sensoriales. La harina fina

produce panes más livianos que la gruesa. Los panes de sorgo tienen una miga oscura y los panes de maíz blanco miga blanca. (Pulane *et al.*, 2014).



Figura 3: Pan de trigo (izquierda), pan de maíz (Centro) y pan de sorgo (derecha).

Fuente: León *et al.*, 2008

5.1.3 En América Latina

5.1.3.1 Bollos

Son un alimento autóctono de Colombia, elaborados a base de maíz (*Zea mays*), la masa preparada se envuelve en hojas de maíz y se somete a cocción por ebullición a fuego de leña. Se elabora con maíz blanco, amarillo o verde en la figura 4 se muestra un ejemplo de bollo con maíz blanco.

En el caso de maíz verde, se desgrana y los granos son molidos en un molino de disco hasta formar una masa suave a la que se le adiciona sal y azúcar y se mezclan hasta homogeneizar posteriormente se envuelve en hojas de mazorca y se atan, se introducen en una olla con agua y se llevan a cocción, se verifica que esté listo introduciendo un cuchillo y debe salir limpio. Bollo de maíz trillado o limpio (blanco o amarillo): se hace con mazorca desgranada, se somete a calentamiento a 95°C hasta que el grano esté blando se elimina el agua y se deja enfriar. De la molienda se obtiene una masa suave que se mezcla con sal y azúcar, su envoltura y cocción es igual que en el bollo verde. El contenido de humedad es mayor en el

producto final, lo cual se explica por la cantidad de agua que ingresa al alimento durante la cocción por inmersión (Torres *et al.*, 2016a y b).

Torrenegra *et al.*, (2013) evaluaron la obtención de bollos de maíz por dos vías: la artesanal y la tecnificada (proceso mejorado), en el municipio de Villanueva, en el departamento de Bolívar (Colombia). En cada uno de los tipos de bollo obtenidos, se midieron las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas debido a la cantidad de bollos producida, se obtuvieron buenos porcentajes de rendimiento para el bollo limpio, tanto en el proceso artesanal como en el mejorado (80 y 87%, respectivamente), El mejor rendimiento fue exhibido siempre por el proceso mejorado. Los resultados microbiológicos fueron satisfactorios en todos los casos. Se describen bollos de maíz verde y de maíz trillado, en ambos casos de manera artesanal y tecnificada.



Figura 4: Bollo colombiano

Fuente: propia

5.1.3.2 Tamales

Diversas variedades de tamales han sido desarrolladas en casi todos los países del continente americano, especialmente en México, Perú, Argentina, Chile, Bolivia, los países de Centroamérica, y otros países de América donde el maíz tiene preponderancia en la dieta. Es posible pensar que el tamal fue inventado en la región origen del maíz, es decir México y de ahí llevado a otras culturas y regiones. Sin embargo, el intercambio cultural también pudo haber traído al tamal de otra región a

México. Staller *et al.* 2010 relacionan algunos de los países latinoamericanos con los tamales que se producen regionalmente (Figura 5):

- Guatemala: tamales de chipilín, chocolate, almendra, ciruelas y chile, se consumen en diversas festividades.
- El Salvador: de elote y rellenos de frijol conocidos como “pishques”, se consumen en celebraciones familiares y religiosas.
- Costa Rica: relleno de carne de res o pollo y existe una variedad sin relleno cuya masa de maíz se mezcla con chipilín.
- Panamá: dependiendo de la región se prepara con maíz tierno o seco, con un guiso a base de cebolla, ají, tomate y cilantro. En ocasiones se le pone gallina.
- Perú: se le conoce como “criollo”. Se hacen de dulce de guayaba, de azúcar morena, de cerdo, maní, nuez, aceitunas, anís y huevos duros.
- Chile: llamado “humita” se prepara a base de elote molido con albahaca.
- Bolivia: se preparan humitas de maíz tierno, pero el más típico es el “choclo”.
- Argentina: el más conocido es el “tajireño” elaborado con carne y cuero de cerdo, uvas pasas, sal y azúcar. No se acostumbra mucho comer estos platillos.
- Honduras: el nacatamal envuelto en hoja de plátano, elaborado a base de dos masas: una de maíz y manteca y otra también de maíz, pero con axiote y chile de árbol, se rellena con carne de cerdo, arroz, papas y zanahorias picadas.
- Nicaragua: nacatamal con costillas de puerco, tocino, hojas de menta, jugo de naranja agria y leche. Toda esta mezcla va envuelta en hojas de platanero.
- México: existe una gran variedad regional la cual depende de la disposición de ingredientes locales.



Figura 5: Tamales (1. El salvador, 2. Venezuela, 3. Guatemala)

Fuente: propia

5.2 Masas cocidas al vapor con distintos cereales

Actualmente hay un gran desarrollo de nuevos productos disponibles para el Mercado, ofreciendo una diversidad para que el consumidor pueda elegir según sus necesidades. Lo más novedoso es la incorporando de ingredientes funcionales que ayudan a la salud del consumidor (fibra, fitoquímicos, antioxidantes). (Huang, 2016).

El mercado asiático proporciona productos para consumo local y de exportación por ejemplo en productos cocidos al vapor. Al respecto se informa que la adición de ingredientes funcionales como fibra y antioxidantes de granos y productos integrales tiene beneficios para la salud, pero se debe prestar atención a la adición de granos procesados adecuadamente, por ejemplo, los granos grandes pueden ser crocados, agrietados o remojados. La inclusión de

fibra, granos y semillas en productos a base de harina a menudo requiere harina de mayor contenido de proteína para "transportar" el material mezclado. Otros cambios en las formulaciones podrían limitar el uso de aditivos químicos y promover etiquetas limpias que están siendo impulsadas por el sector minorista y las demandas de los consumidores. Las etiquetas limpias envían una señal a los consumidores a través de la información de empaquetado de que el producto contiene ingredientes simples y naturales. (Zhang *et al.*, 2014; Poutanen *et al.*, 2009).

Qing Gao *et al.*, (2017) evalúan el efecto del tratamiento térmico de la harina de centeno en el pan al vapor de centeno y trigo debido a que el tratamiento con calor siempre ha sido considerado como una forma muy efectiva de lograr modificaciones en la viscosidad, propiedades reológicas, de procesamiento o de conservación de la harina de cereales y otros productos de molienda. El tratamiento térmico llevó a un aumento de la viscosidad de la harina y la elasticidad de la masa, lo que produjo efectos positivos sobre el volumen específico y la dureza del producto final, mientras que con el aumento de la proporción de harina de centeno en la harina de trigo, la elasticidad y el efecto de fermentación de la masa disminuyeron, el color de la masa tendió a oscurecerse y el sabor del pan y la textura empeoraron debido al aumento de la dureza y la masticabilidad.

Debido a que hay una tendencia a hacer mantou más saludable con ingredientes funcionales naturales, como el extracto de cáscara de cereal y granos enteros, se investigó las propiedades fisicoquímicas de masas y mantou elaborados con harina de trigo regular y con harina de trigo integral. La harina de trigo integral es rica en nutrientes y fitoquímicos, como vitaminas, fibras y compuestos fenólicos, la ingesta de granos integrales ofrece beneficios para la salud, incluido un menor riesgo de enfermedades coronarias, diabetes y cáncer colorrectal. Se mostro que la sustitución por harina de trigo integral resultó en una masa más rígida y menos extensible. El mantou con 100% de harina integral tuvo una dureza significativamente más alta pero una menor cohesión y volumen específico que el mantou normal mientras el que tenia 25% de harina integral tuvo el puntaje sensorial más alto entre todos los mantus evaluados. Debido a que la harina integral es rica en fibra, el reemplazo de la harina de afecta

la condición de procesamiento y la calidad del pan, pero el uso de granos enteros puede mejorar las actividades fenólicas y antioxidantes del pan (Yi-Tien Chen *et al.*, 2016).

Pei-Hsuan *et al.*, (2017) realizaron en mantou sustituciones de harina de trigo con harinas integrales de avena para ver cómo afecta la aceptación sensorial, así como propiedades físicas y digestión del almidón. A pesar de que los cereales integrales pueden tener efectos beneficiosos en la prevención de enfermedades, la aceptación por parte del público en general puede verse limitada debido al sabor y la textura desfavorables. La incorporación de cereales integrales aumentó significativamente los niveles de dureza, adhesividad, gomosidad y masticabilidad, y disminuyó los grados de cohesión, la elasticidad y el volumen específico de Mantou. Esto podría ser debido a la falta de gluten para la formación de la estructura de la masa de la red. El brillo es el principal indicador sensorial. La mayor sustitución integral de Mantou tuvo un aspecto más oscuro y dio lugar a una menor aceptación. Altas cantidades de avena que retrasan la accesibilidad del almidón a la α -amilasa pueden modular la respuesta de la glucosa posprandial, lo que puede llevar a estos tipos de Mantou a una opción dietética alternativa.

5.3 El tamal

El tamal (*del náhuatl tamalli, que significa envuelto*) es un nombre dado a varios platos americanos de origen indígena. Los tamales se encuentran íntimamente ligados a la vida cotidiana del mexicano, ya sea que se preparen para conmemorar una festividad cívico-religiosa o simplemente para comida rápida (Miranda, 2011; González de la Vara, 1996). Existen varias definiciones de tamal, González (1996) lo define como una porción de masa de maíz mezclada o rellena con otros ingredientes, envuelta en hoja y cocida al vapor, mientras Figueroa *et al.*, (2016) lo define como “una masa cocida y envuelta”.

El tamal es producido mediante nixtamalización tradicional, es decir, la cocción del grano con agua e Hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) (Hoyer, 2008), generalmente son elaborados a base de maíz, sin embargo, no estrictamente lo llevan, pues la inventiva popular ha creado los de harina de arroz, con maíz tierno y amaranto. En cuanto a sus formas y tamaños varían dependiendo el relleno y la localidad, pueden ser cilíndricos, triangulares, rectangulares o en bola, sus medidas también son diferentes, los rectangulares van de 10-15cm, los tamalones de 30-35cm y los miniaturas de 3-5cm, referente a sus envolturas las principales son brácteas de maíz, hojas de plátano, maguey, aguacate o de hoja santa (*Piper auritum*). Pueden llevar o no relleno, el cual puede contener carne, vegetales, chile, frutas, salsa, etc. además pueden ser con sabor dulce o salado. (De`Angeli *et al.* 2011; Staller *et al.*, 2010; Tamales Emporio, 2017).

Los tamales son de origen precolombino, y las civilizaciones azteca y maya, así como los olmeca y tolteca, usaban tamales como comida fácilmente portátil, para viajes de caza y para viajar grandes distancias, así como para apoyar a sus ejércitos (Hoyer *et al.*, 2008). Los tamales también se consideraban sagrados, ya que es la comida de los dioses, por lo que desempeñaron un papel importante en sus rituales y festivales (1200-250 aC) (Clark *et al.*, 2011).

Los tamales se consumen ampliamente en América Central y del Sur, el Caribe, Estados Unidos y hasta Filipinas. Las estimaciones brutas de los autores sugieren que alrededor de 10 millones de tamales de 90 g cada uno, se consumen diariamente solo en la Ciudad de México. Los tamales representan una importante fuente de energía para los consumidores, pero también puede contribuir al aumento del riesgo de enfermedades relacionadas con el síndrome metabólico, particularmente en poblaciones urbanas (Riccardi *et al.*, 2004), sugiriendo por lo tanto productos "más saludables" con mayor contenido de fibra.

La demanda del tamal es constante, pero a medida que el número de piezas producidas se incrementa es necesario hacer uso de la tecnología y optimizar el proceso de producción. Aunque los tamales son un alimento popular y de gran importancia económica, existe un gran rezago científico acerca del proceso de elaboración y propiedades, sin embargo, existen pocos estudios al respecto, Figueroa *et al.*, (2016) evalúan las propiedades térmicas,

microestructurales y reológicas del almidón en varios pasos del procesamiento de tamales para determinar los efectos del procesamiento (tipo de endospermo, tamaño de partícula) en la textura, recocido de gránulos de almidón, formación de almidón resistente y complejos almidón-lípidos. Mariscal *et al.*, (2017) hacen tamales con distinto tipo de nixtamalización (tradicional con $\text{Ca}(\text{OH})_2$, ecológico carbonato de calcio y clásico con ceniza de madera) y se evaluaron para composición química, propiedades del almidón e índice glicémico, obteniendo mayor contenido de fibra en la nixtamalización clásica y ecológica. Pérez *et al.*, (2016) determinan la aceptabilidad de tamales en función de la sustitución de manteca de cerdo por distintos tipos de materia grasa (manteca vegetal, mantequilla, aceite de olivo, aceite capullo y maltodextrina) mientras Rodríguez *et al.*, (2017) observan las propiedades fisicoquímicas y la digestibilidad de proteínas en tamales sobre el efecto de uso de manteca de cerdo y manteca vegetal, ya que ambos tipos de grasas se utilizan en la producción artesanal y mecanizada, mostrando que el tipo de grasa determina las propiedades de digestibilidad de los tamales. Cruz *et al.*, (2019) evalúan las propiedades texturales de los tamales en función del tipo de endospermo (duro, intermedio y blando) deduciendo que las variaciones en las propiedades de textura de los tamales están influenciadas por la dureza del grano, el tamaño de las partículas de harina de maíz, así como su dispersión y su contenido de amilosa.

De acuerdo con los autores antes mencionados para la elaboración de tamales primero se necesita harina nixtamalizada.

5.4 Nixtamalización

La nixtamalización del maíz es un proceso desarrollado por los aztecas que consiste en cocer el grano de maíz en una solución alcalina usando hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Después de la cocción del maíz se lava el nixtamal con el objetivo de eliminar el exceso de cal, este se molutura en molinos de piedra hasta obtener una pasta suave y cohesiva conocida como masa. Esta técnica de cocimiento alcalino sirve para suavizar el grano de maíz y permite que las tortillas tengan mayor calidad nutricional comparada con el maíz crudo, por los cambios químicos de los nutrientes que en él ocurren (Bello *et al.*, 2002). Durante la cocción se

modifican las características fisicoquímicas y estructurales, sirve para suavizar el grano, hace al pericarpio removible; es selectivo para las proteínas de maíz debido a que disminuye la solubilidad de la zeína mientras que la de la glutelina aumenta, por lo tanto, incrementa el aporte nutricional debido a que por medio de esta solubilidad se hacen disponibles algunos aminoácidos esenciales. Este proceso provoca que la estructura que une las células del endospermo, llamada lámina media, y las paredes celulares se degraden y solubilizan parcialmente (Paredes *et al.*, 2009). El hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ actúa en componentes de la pared celular, disminuye la fibra dietética debido a que se hace más fácil la remoción, el reposo controla la actividad microbiana, mejora el sabor, olor, vida de anaquel y aporte nutricional. Conforme incrementa la concentración de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y tiempo de cocción la concentración de calcio absorbido es mayor (Castillo *et al.*, 2016). Una vez terminada la fase de cocción sigue el remojo en el cual el almidón se retrograda, es decir, se cristaliza y se reasocia para formar nuevas estructuras. Durante la molienda el maíz nixtamalizado pierde su estructura a fragmentos de germen, residuos de pericarpio y endospermo unido al almidón parcialmente gelatinizado, en este proceso se libera el almidón del endospermo. El tamaño de partícula obtenido de la molienda influye en la funcionalidad de las masas; partículas finas dan mayor flexibilidad, cohesividad y captación de agua, mientras que partículas grandes son menos cohesivas, el tiempo de cocción es menor, al igual que la captación de aceite debido a esto son utilizadas en la elaboración de frituras (Sahai *et al.*, 2001). Existen dos tipos de masas: las primeras son masas obtenidas a partir de nixtamalización tradicional y tienen baja cantidad de humedad lo que las hace ligeramente pegajosas; por otro lado, están las harinas de maíz nixtamalizado (marcas comerciales) en las cuales no se sigue la nixtamalización tradicional, entre sus ventajas esta la reducción de costos y para utilizarla solo se necesita una rehidratación mientras que las desventajas son el cambio de sabor y textura (Bello *et al.*, 2002; Paredes *et al.*, 2009).

El producto principal obtenido de masa de maíz nixtamalizado son las tortillas las cuales aportan a la población aproximadamente 39% de las proteínas, 45% de las calorías y 49% del calcio (Arámbula *et al.*, 2016). La popularidad de las tortillas y productos derivados del proceso de nixtamalización ha generado una industria en expansión que emplea la tortilla

como producto básico para la elaboración de una diversidad de alimentos tradicionales, además de otros alimentos como tamales, bebidas y, recientemente, las botanas.

5.5 Interacciones del maíz con otros cereales

La alimentación humana ha contado siempre con los cereales como fuente importante de aminoácidos, sin embargo, cada cereal cuenta con distintos es por ello que al realizar mezclas de entre cereales se puede incrementar el balance de aminoácidos.

En estudios realizados por Hurtado *et al.*, (2001). Se hicieron mezclas de maíz con frijol aplicadas en snacks con el fin de aumentar el consumo de legumbres y mejorar la calidad de la proteína. En Costa Rica se analizaron varios productos alimenticios elaborados a partir de trigo y maíz como galletas saladas y dulces, pan y tortillas con el fin de evaluar la composición química mostrando cuales tienen mayor aporte de energía (Blanco *et al.*, 2000). Recientemente se han realizado mezclas en pan tipo esponja a partir de maíz nixtamalizado y harina de trigo, con el fin de mejorar algunas de las características texturales de este producto (Guadarrama *et al.* 2016). Debido a que existen mezclas de maíz en otros productos como pan, se sugiere hacer mezclas de maíz con triticale y arroz en tamales con el fin de mejorar algunas de sus características.

5.6 Triticale

El triticale es un cereal creado artificialmente por el hombre, mediante cruces entre trigo (*Triticum aestivum* L. o *Triticum turgidum* L.) y centeno (*Secale cereale* L.). La hibridación entre estos cereales se llevó a cabo para aprovechar algunas propiedades del trigo, tales como su valor proteico y energético, así como otras del centeno, entre las que destacan su actividad proteica y su resistencia agronómica. Se considera ambientalmente más flexible que otros cereales, ya que muestra, al mismo tiempo, una mejor tolerancia a la sequía, a bajas temperaturas, a plagas, enfermedades y a suelos relativamente pobres en relación a sus especies parentales (Darvey *et al.*, 2000).

El valor nutritivo del grano de triticale es mejor que el de otros cereales, debido a que tiene mayor contenido de aminoácidos esenciales como lisina, treonina y triptofano. En general, la cantidad de proteína del grano de triticale es similar a la del trigo; sin embargo, el grano de triticale tiene un mejor balance de aminoácidos esenciales y un mayor contenido de azúcares libres (Hernández *et al.*, 2004). Algunos estudios han demostrado que las harinas de triticale producen masas para pan débiles, debido a su bajo contenido y fuerza de gluten, así como por la alta actividad de la enzima amilolítica α -amilasa (Amaya y Peña, 1991). Dado lo anterior, el grano de triticale no es adecuado para la industria de la panificación, aunque en algunos casos se emplea como un sustituto del trigo blando, por ejemplo, en la producción de pasteles y galletas (Mergoum *et al.*, 2004). El aprovechamiento de estas harinas para la producción de alimentos con características nutricionales y funcionales da un enfoque importante en el desarrollo de sistemas alimenticios hacia poblaciones con poca disponibilidad de niveles de energía y de nutrientes (Maldonado y Pacheco, 2000).

5.6.1 Triticale en la industria

La utilización del grano de triticale en la industria molinera y panificadora es escasa debido a la apariencia arrugada y al poco brillo de su grano, lo que lo hace menos atractivo en comparación al trigo. El poco desarrollo del endospermo y el poco llenado de su grano generan bajos rendimientos de harina. La poca producción que se tiene a nivel nacional de este cereal es otro de los factores que afecta su utilización en la industria molinera, ya que la industria requiere de una producción estable de materia prima para tener una buena producción (Peña, 1995). El grano de triticale también puede ser usado en la industria cervecera y destiladora, con buenos resultados ya que llega a igualar la calidad de las cervezas obtenidas tradicionalmente con cebada (Gupta, 1985).

5.7 Arroz

El arroz es un cereal que ha sido incluido dentro de la panificación principalmente para personas sensibles al gluten. Se han realizado diversos estudios en lo referente a su uso en panificación, tal es el caso de Han *et al.*, (2012) en donde se evaluó el contenido de amilosa en relación con la calidad panadera en distintas variedades de arroz. Sivaramakrishnan *et al.*, (2004) hicieron estudios acerca de las propiedades reológicas de la masa de arroz para hacer pan de arroz. De acuerdo con Torbica, *et al.*, (2009) el crear productos sin gluten a partir de mezclas con trigo sarraceno y harina de arroz posee un efecto promotor de la salud por medio del contenido de fibra dietética y proporcionando actividad antioxidante al producto. Por otro lado, se ha enriquecido pan con salvado de arroz incrementando las proporciones de proteína (Sadawarte *et al.*, 2007).

5.8 Microestructura

La estructura es un atributo importante que está influenciado por la composición del producto. La microscopía es una herramienta poderosa para la observación estructural de estructuras espumosas como la del pan (Polaki *et al.*, 2010). Respecto a tamales no se reportan estudios sobre análisis de imagen, en cuanto a este tipo de análisis se han reportado únicamente sobre estudios de miga de pan blanco y se realizan con el fin de conocer la arquitectura interna, forma y microestructura de productos de panificación finales (Zghal et al 1999; Aguilera 2000).

En México además del pan blanco y de dulce, están los tamales los cuales son una especie de panecillo cocido al vapor, en el cual su forma o estructura de miga solo se ve de manera visual cuando es desprendido de la hoja y se determina que tan compacto es (miga abierta o cerrada) y su forma por lo que es un juicio impreciso, es por ello que se optimizó una metodología para evaluar la miga estableciendo distintos niveles de brillos y contraste.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Ubicación del sitio

El experimento se realizó en la Facultad de Ciencias Agrícolas en el Laboratorio de Textura de Alimentos, con ubicación en Campus Universitario “El Cerrillo Piedra Blancas”.

6.2 Materia prima

Se utilizó Maíz (Blanco criollo) y Triticale (mezcla bicentenario y siglo XXI) previamente seleccionado, originalmente producido en la Facultad de Ciencias Agrícolas, bajo condiciones de temporal y cosechado en el Campus Universitario “El Cerrillo Piedras Blancas”. Además de arroz variedad Morelos.

Para la elaboración de las harinas, se utilizaron los granos antes mencionados e Hidróxido de Calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) (J.T. Baker).

Para elaborar los tamales cloruro de sodio (NaCl) de La Fina, Sales del Istmo, SA de CV, Coatzacoalcos, Veracruz, México, manteca de cerdo (Frigoríficos y Rastro de Santa Ana SA de CV. TIF 137 Carr La Piedad, Pénjamo, Guanajuato), y polvo de hornear de Mondelez México S. de R.L. de C.V., Col. Tres Estrellas, México, D.F. Para la envoltura, brácteas de maíz deshidratadas comercializadas por productores locales de Toluca

6.3 Equipo y reactivos

6.3.1 Equipo

- ❖ Texturómetro TA.XT.PLUS Texture Analyser (Stable Microsystems, Scarsdale NY, USA).
- ❖ Konica Minolta (Chroma Meter, modelo CR-400, Konica Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japón).

- ❖ Espectrofotómetro (Rochester NY USA, Modelo Ganasya TQ-S, Equipos S.A. de C.V. Juan Sánchez Azcona 1447 Col. Del Valle)
- ❖ Estufa (RIOSSA, Modelo HCF.62.D, Aparatos para Laboratorio e Industria en General, México)
- ❖ Mezcladora (Kitchen Aid. Modelo Artisan, St. Joseph Michigan USA)
- ❖ Molino de martillos Pulvex, México (maquinaria para moliendas y mezclas, s.a. de c.v. Plutarco Elías Calles No. 290, Col. Los reyes Iztacalco C.P. 08620, México 8, D.F.)
- ❖ Tamizador (Hynotec, WQS, Beijing, China).
- ❖ Vaporera con rejilla
- ❖ Desecador
- ❖ Balanza analítica
- ❖ Microscopio estereoscópico

6.3.2 Reactivos

- ❖ Etanol al 95%
- ❖ Hidróxido de sodio 1M
- ❖ Ácido acético 1M
- ❖ Solución de Lugol

6.4 Métodos

6.4.1 Elaboración de harinas

Para la molienda de las tres harinas se utilizó un molino de martillos (figura 6).

6.4.2 Maíz nixtamalizado

Se realizó la nixtamalización del grano de maíz con hidróxido de calcio al 1 %, se calentó hasta 90°C y se dejó hervir por 10 min, después se reposo por 60 min en el nejayote. El

lavado se realizó hasta llegar a un pH de 7 y se secó en una estufa a 80°C por 3h para en seguida ser molido por un molino de martillos con criba # 60 (0.25 mm).

6.4.3 Triticale nixtamalizado

La cocción, reposo y lavado del grano se realizaron de la misma manera que con el maíz, en cuanto a el secado este fue a 80°C por 8h con movimientos en el grano cada 30 min para tener un secado homogéneo, la molienda se realizó en un molino de martillos.

6.4.4 Harina de arroz

Se realizó la limpieza del grano y se molió en un molino de martillos.



Figura 6: Molino de martillos

Fuente: propia

6.4.5 Elaboración de masas cocidas al vapor (tamales)

6.4.5.1 Preparación de la masa y elaboración de tamales

Se utilizó una fórmula tradicional de tamales de acuerdo con lo reportado por Cruz *et al.*, (2019) (Figura 7), esta fórmula fue sustituida por distintos niveles de inclusión por triticale y/o arroz de acuerdo con lo indicado en el cuadro 1.

Se utilizó la siguiente composición: harina 400 g, manteca de cerdo 120 g, sal 6 g y polvo de hornear 3 g, además de 350 ml de agua.

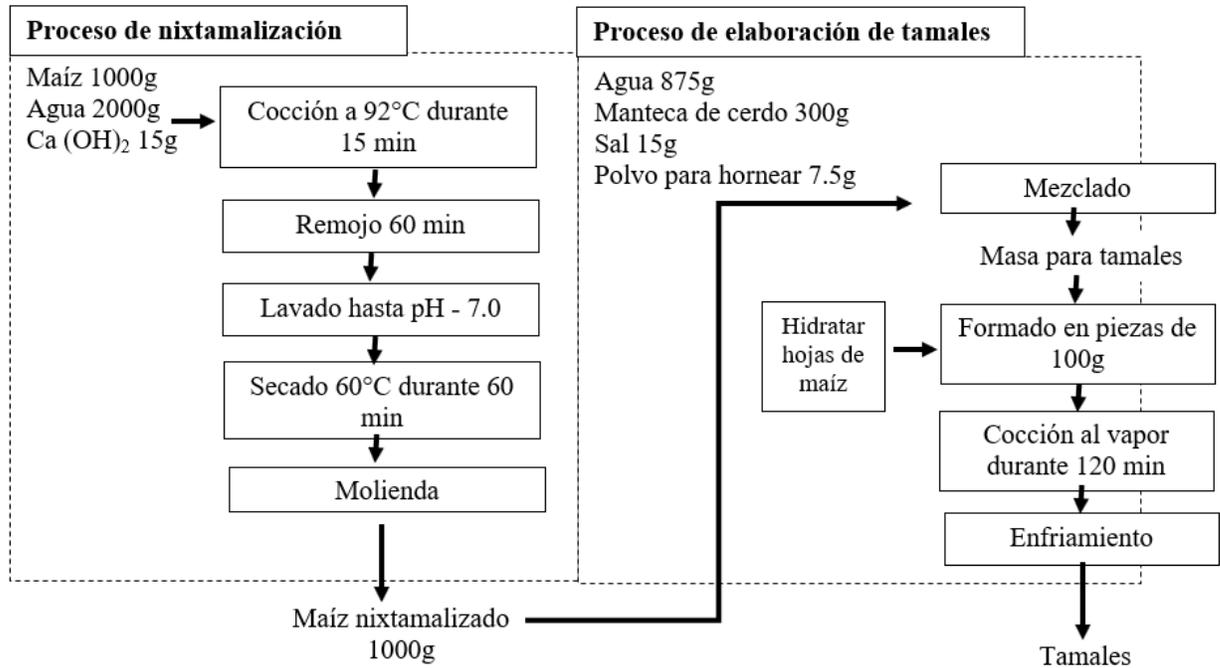


Figura 7: Elaboración de masas cocidas al vapor.

Fuente: Cruz et al., 2019

Cuadro 1: Diseño de mezclas con sustitución total de harina de maíz por triticale o arroz.

UE	Maíz (%)	Triticale (%)	Arroz (%)
1	100	0	0
2	0	100	0
3	0	0	100
4	50	50	0
5	50	0	50
6	0	50	50
7	33.33	33.33	33.33
8	66.67	16.67	16.67
9	16.67	66.67	16.67
10	16.67	16.67	66.67

6.5 Determinación de Textura

Se realizó un análisis de perfil de textura (TPA) con un analizador provisto de una plataforma de aluminio (sobre la que se colocó la muestra) y un embolo de compresión (Figura 8). La velocidad fue de 5mm/s. Los parámetros texturales que se tomaron en cuenta fueron: dureza (N), adhesividad ($\text{Kg m}^2 \text{s}^{-2}$), cohesividad (%), y gomosidad(N). Para el análisis se tomó como base la metodología propuesta por Cruz *et al.*, (2019). Para este análisis, las muestras con enfriamiento de 2h a temperatura ambiente, se colocaron sobre una placa metálica con el fin de que un embolo penetrará midiendo la fuerza necesaria para lograr la fractura del tamal.



Figura 8. Prueba de textura en tamales

6.6 Determinación de porcentaje de amilosa

Se utilizó un método colorimétrico de acuerdo con Protocolos de laboratorio 2012 CYMMIT (Galicia *et al.*, 2012), en donde se propone utilizar una reacción de yoduro para cuantificar el contenido de amilosa en almidón de maíz, con una longitud de onda de 620 nm.



Figura 9: Curva de calibración para determinación de % de amilosa

6.7 Determinación de humedad

Para la determinación de la humedad de las muestras, se realizó la determinación gravimétrica de pérdida de masa por el método oficial de análisis 925.098 publicado por la Association of Official Analytical Chemists (Asociación Oficial de Químicos Analíticos, AOAC) (1990).

6.8 Microscopia del tamal

Se realizó en el Laboratorio de Textura de Alimentos en la Facultad de Ciencias Agrícolas con un microscopio estereoscópico estableciendo vista de 10x, se determinaron las condiciones para toma de imagen de acuerdo a Farrera (2012) con algunas modificaciones y se desarrolló una metodología para evaluación de la estructura utilizando el software image tool, reportando forma y tamaño de alveolos de aire (poros) con un filtro threshold.

6.9 Análisis estadístico

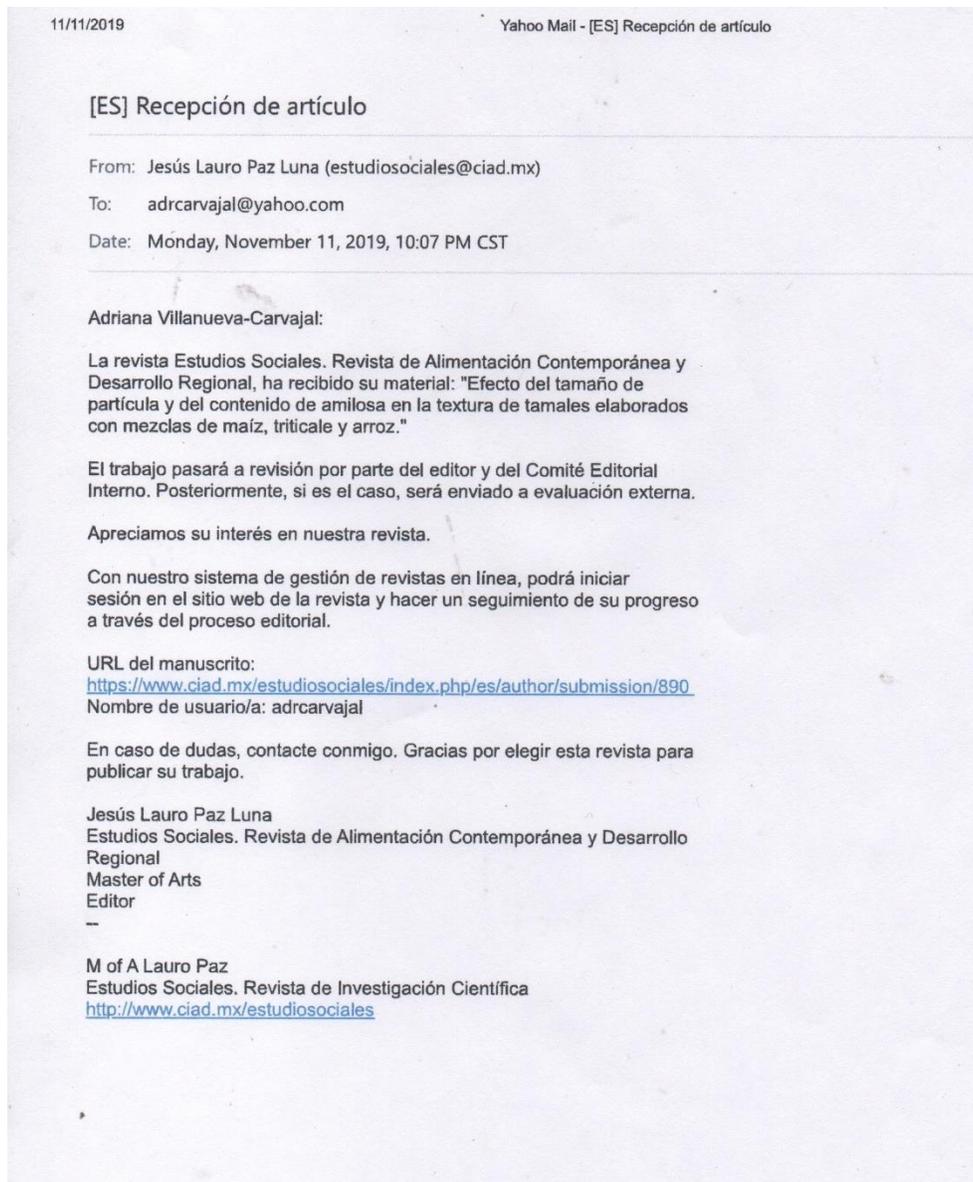
La harina de maíz nixtamalizado fue sustituida por harinas de triticale o de arroz mediante una serie de unidades experimentales (UE) organizadas bajo un diseño de mezclas. De acuerdo con Cornell (1990), en este tipo de diseños experimentales, las variables respuesta dependen de las proporciones de los ingredientes que componen la mezcla (en este caso, maíz, triticale y arroz) y no de la cantidad misma de la mezcla. Además, como se asume que cada ingrediente puede producir una respuesta específica, en este trabajo se considerará que es posible elaborar tamales con cada uno de los cereales mencionados utilizados individualmente.

Se realizaron Análisis de Varianza para determinar las diferencias estadísticas entre tratamientos para cada variable evaluada utilizando Statgraphics Centurion XVI

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado de la primera parte de la presente investigación se envió un artículo a la Revista Estudios Sociales. Se anexa la hoja de recepción y el producto.

7.1 Efecto del tamaño de partícula y del contenido de amilosa en la textura de tamales elaborados con mezclas de maíz, triticale y arroz.



Efecto del tamaño de partícula y del contenido de amilosa en la textura de tamales elaborados con mezclas de maíz, triticale y arroz.

Effect of particle size and amylose content on tamales' texture elaborated with corn, rice and triticale blends.

Claudia Nayeli López-Tapia*

<https://orcid.org/0000-0002-4898-6388>

c.nayelt@gmail.com

Aurelio Dominguez-Lopez*

<https://orcid.org/0000-0002-2781-1597>

adominguezl@uaemex.mx

Mayra Díaz-Ramírez**

<https://orcid.org/0000-0002-6087-7053>

Marea131079@gmail.com

Adriana Villanueva-Carvajal***

<https://orcid.org/0000-0002-2429-4387>

adrcarvajal@yahoo.com

*Universidad Autónoma del Estado de México.

** Universidad Autónoma Metropolitana.

*** Autora de correspondencia. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma del Estado de México. Campus Universitario "El Cerrillo". Km 15, Carr. Toluca-Ixtlahuaca, Entronque El Cerrillo. Apdo. Postal 435, Toluca 50200, Estado de México, MEXICO. Tel. & Fax: 52 (722) 296 5518.

RESUMEN

Objetivo: En el presente trabajo se evaluó la sustitución parcial de harina de maíz nixtamalizado por harina de triticale y de arroz y su efecto sobre la textura de los tamales utilizando diez mezclas. Metodología: Se evaluó la dureza, adhesividad, cohesividad y gomosidad de los tamales, así como el tamaño de partícula y contenido de amilosa de las harinas utilizadas para elaborarlos. Resultados: Se observó que los tamales con mayor contenido de arroz tendían a ser más duros seguidos por los de maíz y triticale. A medida que en las mezclas se incrementaba el arroz la dureza del tamal era mayor, mientras que con el aumento de triticale la adhesividad aumentaba, el maíz produce tamales con dureza y adhesividad intermedios. En cuanto al tamaño de partícula de las harinas, la que presentó mayor tamaño fue la de triticale seguida por maíz y arroz; la harina de arroz contiene la mayor cantidad de amilosa, seguida por la de maíz y finalmente triticale. Conclusiones: La dureza de los tamales se debe a la contribución de los componentes unitarios derivado de las propiedades de cada harina. Las harinas con gránulos más pequeños y homogéneos producen tamales más duros pero menos adhesivos. La relación amilosa-dureza indica la fuerte influencia de este componente sobre la textura del tamal. Limitaciones: Si bien el estudio muestra la posibilidad de elaborar tamales con otros granos y la influencia de estas mezclas sobre la textura del tamal, es necesario ahondar en el conocimiento sobre la relación existente entre los ingredientes que conforman la matriz particularmente la función de la fracción proteica.

Palabras clave: Tamales, Triticale, Arroz, Amilosa, Nixtamalización.

ABSTRACT

Objective: The present study evaluated the partial substitution of nixtamalized corn flour with triticale and rice flour and the effect on tamales' texture using ten mixtures of these flours. **Methods:** Hardness, adhesiveness, cohesiveness and gumminess were evaluated on tamales and particle size and amylose content were evaluated on the different flours used in their elaboration. **Results:** It was observed that rice tamales tend to be harder than corn and triticale tamales. As rice flour increased, hardness increased as well and with the increase of triticale, adhesiveness increased too. Corn flour produces tamales with intermediate hardness and adhesiveness. Regarding particle size, triticale flour was the biggest followed by corn and then rice flour. Rice had the highest amylose content followed by corn and finally triticale. **Conclusions:** Tamales' hardness is related to the contribution of each cereal content as an individual component. Smaller and more homogeneous particle size flours produce harder and more adhesive tamales. The relation amylose content-hardness shows a strong influence of this component on the texture of tamales. **Limitations:** Although the study verifies the possibility of producing tamales with other cereals than corn and at the same time shows the influence of different cereal flours on the texture of tamales, it is necessary to deepen into the relation between the ingredients that built tamales matrix, particularly the protein fraction.

Keywords: Tamales, Triticale, Rice, Amylose, Nixtamalization.

INTRODUCCIÓN

La cocina mexicana ha destacado en el mundo por su rica variedad, siendo el maíz un ingrediente que forma parte de numerosos platillos, tanto en los tradicionales como en las nuevas propuestas culinarias (Gamboa, García y Tablante, 2012). En Latinoamérica, los productos tradicionales elaborados con maíz incluyen tortillas y tamales, comercializados en México y Centroamérica, arepas en Venezuela y Colombia, couscous en Brasil y polenta en Sudamérica (Rooney y Serna, 2003). En México el maíz es el eje de los platillos consumidos de forma cotidiana, el cual puede ser preparado de distintas maneras, hervido como mazorca tierna y madura, en productos derivados de la nixtamalización (tortillas y tamales), en bebidas tradicionales como el atole y el pozol, en botanas y en otro tipo de productos como el pinole (Mora-Escobedo, Osorio-Díaz, García-Rosas, Bello-Pérez y Hernández-Unzón, 2004; Paredes-López, Guevara y Bello-Pérez, 2009). Entre los productos mencionados anteriormente, se encuentran aquellos que se producen de manera muy focalizada en ciertas regiones de la República Mexicana, mientras que otros se encuentran distribuidos a nivel nacional, tal es el caso de la tortilla, el cual también representa el producto de mayor consumo. Otro producto distribuido a lo largo del territorio mexicano son los tamales, los cuales se encuentran íntimamente ligados a la vida cotidiana, ya sea que se preparen para conmemorar una festividad cívico-religiosa o simplemente como un platillo que se consume a manera de comida rápida (Miranda-Osornio, 2011). Figueroa-Cárdenas *et al.* (2016) definen al tamal como “una masa cocida y envuelta”, siendo el producto elaborado con masa o harina de maíz obtenida después de la nixtamalización del grano en una solución de

Ca(OH)₂ (Hoyer, 2008). Otra característica interesante de la elaboración de los tamales es el uso de guisos y salsas, con los cuales se rellena la masa del tamal antes de su cocimiento, haciendo de éstos un platillo principal en algunas comidas. En cuanto a sus formas y tamaños, los tamales varían dependiendo de la localidad donde se producen, pudiendo ser cilíndricos, triangulares, rectangulares o en bola. Sus medidas también son diferentes, algunos van de 3-5 cm de largo o se tienen aquellos que miden de 30-35 cm de largo. En lo que respecta a sus envolturas, los materiales más utilizados son las brácteas de maíz (*Zea mais*), hojas de plátano (*Musa paradisiaca*) y hoja santa (*Piper auritum*) (Gironella y De'Angeli, 2011; Staller, Tykot y Benz, 2010).

La demanda del tamal podría considerarse constante durante el año, aunque presenta aumentos en ciertas épocas relacionadas con algunas festividades tradicionales como es el caso del día de la Candelaria y Día de Muertos, entre otros. Si bien el proceso es considerado tradicional y la producción artesanal, existen algunas empresas medianas y pequeñas que comercializan tamales en establecimientos con producción más controlada y constante. Incluso, grandes empresas han comenzado a comercializar tamales en empaques laminados incrementando la vida de anaquel de éstos con la intención de llegar a más consumidores a través de cadenas de supermercados. A medida que el número de piezas producidas se incrementa es necesario hacer uso de la tecnología y de la optimización del proceso de producción. Este es un tema que no ha sido explorado particularmente en el caso de los tamales dado que es un platillo el cual prácticamente se consume recién elaborado y algunas veces se “recalienta”.

Si bien el ingrediente principal y tradicional para la preparación de tamales es el grano de maíz nixtamalizado, la variedad de granos cultivados y la inventiva popular ha ido modificando la receta de los tamales mezclando el maíz con otros granos con el fin de enriquecer el producto obtenido. Es por esto que Fray Bernardino de Sahagún ya reportaba el uso de otros granos en la elaboración de tamales como es el caso del amaranto. La mezcla de maíz con amaranto se moldeaba para obtener figuras que representaban deidades, por lo que los tamales obtenidos con esta mezcla se conocen como tamales sagrados (Villela, 2016). Otro grano utilizado para enriquecer y modificar la textura de los tamales es el arroz, aunque, hasta el momento de la redacción del presente documento no haya reportes relacionados con el origen de este hecho, seguramente es una aportación mucho más reciente que el uso del amaranto. El uso de otros granos que modifiquen la textura, sabor e inclusive el aporte nutrimental de este platillo es deseable y hace posible la adaptación e incorporación de alimentos tradicionales a la dieta actual.

Respecto del comportamiento de los componentes de la masa elaborada con maíz nixtamalizado, Figueroa-Cárdenas *et al.* (2016) evalúan la formación de almidón resistente y complejos almidón-lípidos durante el procesamiento de estos productos, mientras que Mariscal-Moreno *et al.* (2017) evalúan las características fisicoquímicas, las propiedades del almidón y el índice glicémico de tamales elaborados con maíz sometido a diferente tipo de nixtamalización. Pérez-Soto, Soto-Simental, Güemes-Vera, González-Montiel (2016) determinan la aceptabilidad de tamales en función de la sustitución de manteca de cerdo por

aceites vegetales y Rodríguez-Huezo *et al.* (2017) observan las propiedades físico-químicas y la digestibilidad de proteínas sobre el efecto de la sustitución de grasa animal o vegetal.

Dado lo anterior, el objetivo de este trabajo es, evaluar el efecto de la sustitución de masa de maíz nixtamalizada con harina de triticale y/o arroz, el contenido de amilosa y el tamaño de partícula sobre las características de textura del tamal. Se utilizó un diseño de mezclas para determinar las formulaciones evaluadas (Cornell, 1990) a las que se le realizó un análisis de perfil de textura (TPA) reportando dureza, elasticidad, cohesividad y gomosidad. Por otro lado, se evaluó el efecto del tamaño de partícula y del contenido de amilosa con relación a estos mismos parámetros de textura.

Se propone el uso de triticale debido a que es un cultivo con gran tolerancia a condiciones ambientales desfavorables, además de ser rico en compuestos fenólicos, β -glucanos y arabinoxilanos (Amaya y Peña, 1991; Peña y Amaya, 1992), el cual no es apto para la elaboración de productos de panadería dado su bajo contenido de gluten, por lo que es una buena propuesta para enriquecer alimentos tradicionales, al mismo tiempo que se incentiva su cultivo y transformación agroindustrial. Por otro lado, se sugiere la incorporación de arroz debido a que se utiliza actualmente en la elaboración de tamales, particularmente en los llamados “canarios” y algunos productores lo utilizan para modificar la textura de los tamales tradicionales.

MATERIALES Y METODOS

Materiales

Maíz (Blanco criollo), triticales (mezcla bicentenario y siglo XXI), arroz (var. Morelos) e hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) (J.T. Baker, 600 N Broad St., Phillipsburg, N.J), cloruro de sodio (NaCl) (marca comercial “La Fina”, Sales del Istmo, SA de CV, Coatzacoalcos, Veracruz, México), manteca de cerdo (Frigoríficos y Rastro de Santa Ana SA de CV. TIF 137 Carr La Piedad, Pénjamo, Guanajuato), y polvo de hornear (Mondelez México S. de R.L. de C.V., Col. Tres Estrellas, México, D.F.). Para la envoltura se utilizaron brácteas de maíz deshidratadas, comercializadas y adquiridas en un mercado local (Toluca de Lerdo, Estado de México).

Métodos

Obtención de harina

Los procedimientos descritos se realizaron sobre el total de la harina que habría de utilizarse en todos los tratamientos y sus repeticiones para los diferentes granos evaluados.

Harina de maíz. La obtención de harina de maíz nixtamalizado siguió el procedimiento reportado por Cruz-Vázquez, Villanueva-Carvajal, Estrada-Campuzano y Dominguez-Lopez (2019) sin cambios, utilizando un molino marca Pulvex (Maquinaria para moliendas y

mezclas, S.A. de C.V., Plutarco Elías Calles No. 290, Col. Los reyes Iztacalco C.P. 08620, CDMX).

Harina de triticale. Inicialmente, se molieron los granos de triticale en un molino de martillos marca Pulvex (Maquinaria para moliendas y mezclas, S.A. de C.V., Plutarco Elías Calles No. 290, Col. Los reyes Iztacalco C.P. 08620, CDMX) para ser incorporada a la harina de maíz, sin embargo, la masa resultaba pegajosa y muy difícil de manejar. Se realizó la nixtamalización de los granos de triticale, tratamiento que permitió la obtención de masas manejables y no pegajosas, por lo que los granos de triticale se sometieron al mismo tratamiento propuesto por Cruz-Vázquez, et al. (2019), variando únicamente el tiempo de secado (8 h).

Harina de arroz. Los granos de arroz se molieron en el mismo molino de martillos marca Pulvex (Maquinaria para moliendas y mezclas, S.A. de C.V., Plutarco Elías Calles No. 290, Col. Los reyes Iztacalco C.P. 08620, CDMX). No se realizó ningún tratamiento adicional a la molienda para la obtención de harina de arroz.

Determinación de tamaño de partícula

Las harinas obtenidas después de la nixtamalización (maíz y triticale) y molienda (maíz, triticale y arroz) se tamizaron para obtener la distribución del tamaño de partícula según el método reportado por Sahai, Buendia y Jackson, (2001) con algunas modificaciones en los tamaños de criba. En este ensayo se utilizaron cribas estándar con números ASTM E11 #20,

#40, #60, #80 y #100 correspondientes a 850, 425, 250, 180 y 150 μ m respectivamente. Se utilizó un tamizador Hynotec (WQS, Beijing, China). La determinación se realizó por triplicado.

Determinación del porcentaje de amilosa

El porcentaje de amilosa se determinó para las harinas de las mezclas unitarias y se realizaron los cálculos correspondientes para establecer la proporción de amilosa en las mezclas en función del porcentaje de cada grano por mezcla. El cálculo de amilosa se realizó según el método colorimétrico descrito previamente por Galicia, *et al.* (2012) el cual propone la formación de un complejo colorido entre una solución de lugol y la amilosa presente en las muestras de cereal. La absorbancia se determinó a 620 nm mediante un espectrofotómetro Genesys 10 S UV-VIS (Thermo Spectronic. Thermo Fisher Scientific Inc. Waltham, MA, USA).

Elaboración de tamales.

Los tamales se elaboraron siguiendo el procedimiento estandarizado y propuesto por Cruz-Vázquez, *et al.* (2019), modificando únicamente la composición de la harina según el diseño experimental propuesto (Tabla 1) y descrito posteriormente en este documento. Para mezclar los ingredientes se utilizó una batidora Kitchen Aid Modelo Artisan (St. Joseph Michigan USA). La manteca se batió durante 15 min, se incorporaron después el resto de los ingredientes y se mezcló durante 10 min. Una vez lista la mezcla (masa) se procedió al

formado, colocando 100 g de masa en las brácteas de maíz previamente remojadas en agua potable. Los tamales fueron sometidos a cocción en vaporera durante 2 h, acomodados de forma vertical en un solo nivel. Se sometieron a cocimiento 14 unidades experimentales (UE) por cada tratamiento en la misma vaporera. Se realizaron triplicados de cada tratamiento.

Determinación de textura

La textura de los tamales incluyó la determinación del Análisis del Perfil de Textura (TPA) utilizando un Texturómetro TA.XT.PLUS Texture Analyser (Stable Microsystems, Scarsdale NY, USA). Inmediatamente después de someterse al cocimiento en la vaporera, los tamales se enfriaron a temperatura ambiente por 1.5 h. Se realizó el análisis de perfil de textura (TPA) utilizando una punta cilíndrica (25 mm diámetro), con dos ciclos de compresión y un descanso de 5 segundos entre ciclos con una velocidad de 1 mm/s y una penetración de 10 mm (30%). Se determinaron los parámetros de dureza (N), adhesividad (mN), cohesividad (%) y gomosidad (N). Se evaluó la textura de 14 tamales (UE) por repetición por lo que considerando el triplicado, se evaluó textura de 42 UE por cada tratamiento.

Diseño experimental

Las formulaciones evaluadas se determinaron mediante un diseño de mezclas, en concordancia con lo propuesto por Cornell (1990). En este tipo de diseños experimentales, las variables respuesta dependen de las proporciones de los ingredientes que componen la

mezcla (en este caso, maíz, triticale y arroz) y no de la cantidad misma de la mezcla. De esta manera, las variables respuesta permitirán evaluar el potencial de cada uno de los cereales para obtener tamales con características semejantes a los que tradicionalmente se consumen en México. Para tal fin, el diseño experimental, estará compuesto por tres mezclas unitarias (UE 1 a 3), tres mezclas binarias (UE 4 a 6) y cuatro mezclas ternarias (UE 7 a 10). La harina de maíz nixtamalizado fue sustituida por harinas de triticale o de arroz de acuerdo a la serie de UE antes mencionada organizadas bajo un diseño de mezclas (Tabla 1).

Tabla 1.

Composición de las mezclas para obtener los tratamientos evaluados

Mezcla	Maíz	Arroz	Triticale
1	1	0	0
2	0	1	0
3	0	0	1
4	1/2	1/2	0
5	1/2	0	1/2
6	0	1/2	1/2
7	1/3	1/3	1/3
8	2/3	1/6	1/6
9	1/6	2/3	1/6
10	1/6	1/6	2/3

Fuente: Elaboración propia según el diseño de mezclas. UE: Unidad experimental.

RESULTADOS Y DISCUSION

El modelo utilizado para explicar el efecto de la mezcla de los tres tipos de cereal en la textura de los tamales genera una ecuación con la cual es posible predecir el comportamiento de las variables evaluadas independientemente de la composición final de la mezcla. Este

comportamiento teórico se compara con los valores reales observados. La pertinencia del modelo se evalúa evidenciando la significancia de los efectos. Estos resultados pueden observarse en la Tabla 2, donde se muestra el análisis de varianza del modelo de mezclas.

Tabla 2.

Análisis de varianza del modelo de mezclas. Grados de libertad (GL), suma de cuadrados (SC), porcentaje relativo de la SC (entre paréntesis), significancia para las propiedades de textura de tamales.

Fuente	GL	Dureza	Cohesividad	Adhesividad	Gomosidad
Bloques	2	0.9 (0.1) ^{NS}	4.8 (0.2) ^{NS}	375.9 (0.4) ^{NS}	0.2 (0.1) ^{NS}
Lineal	2	1352.1 (93.9) ^{**}	1105.6 (45.6) ^{**}	64596.9 (71.2) ^{**}	134.0 (58.1) ^{**}
Cuadrático	3	52.4 (3.6) ^{**}	1116.2 (46.1) ^{**}	22082.8 (24.4) ^{**}	81.0 (35.1) ^{**}
Cúbico	1	0.5 (0.04) ^{NS}	28.0 (1.2) ^{NS}	82.4 (0.1) ^{NS}	3.6 (1.5) [*]
Error	21	34.8 (2.4)	169.1 (7.0)	3543.8 (3.9)	11.7 (5.1)
Total	29	1440.7 (100.0)	2423.7 (100.0)	90681.9 (100.0)	230.4 (100.0)

** Significativo ($p \leq 0.01$).

** Significativo ($0.01 < p \leq 0.05$).

NS: No significativo ($p > 0.05$).

Los datos reportados en la Tabla 2 muestran que el efecto de bloques no fue significativo, lo que implica que la posición que ocupaban las unidades experimentales en la vaporera no tuvo influencia en su cocimiento y, en consecuencia, en sus propiedades evaluadas. Por otra parte, el efecto lineal y cuadrático de las mezclas sobre la textura de los tamales fue significativo, pero no el efecto cúbico, salvo en el caso de la gomosidad. La dureza de los tamales se debió principalmente a la contribución aditiva de los componentes unitarios de las mezclas, ya que el efecto lineal concentró 93.9 por ciento de la SC total de esta variable. Los efectos sinérgicos o antagónicos debidos a las mezclas resultaron pequeños, aunque significativos, ya que el efecto cuadrático representa 3.6 por ciento de esta SC.

La variabilidad observada en la cohesividad y en la adhesividad de los tamales se explica principalmente a través del efecto lineal y cuadrático. En este caso, los efectos sinérgicos o antagónicos debidos a las mezclas de los tres tipos de harina resultaron más elevados, ya que concentraron 46.1 por ciento de la SC total y 24.4 por ciento en el caso de la adhesividad. Finalmente, la gomosidad presentó un comportamiento similar a las dos variables anteriores, aunque con un pequeño, pero significativo, efecto cúbico que agrupa 1.3 por ciento de la SC total. En general y para fines prácticos, la dureza de los tamales deriva del efecto aditivo (lineal) de las mezclas unitarias, mientras que la cohesividad, la adhesividad y la gomosidad de los tamales se explican por el efecto sinérgico o antagónico que imparten las mezclas binarias de cada uno de los tres tipos de harina.

Estos efectos se determinan cuantitativamente con los coeficientes β reportados en la Tabla 3 para cada una de las mezclas. Tomando en cuenta el valor numérico de los coeficientes unitarios, la dureza de los tamales aumenta y su cohesividad disminuye con el incremento de la harina de arroz en las mezclas, dado que los coeficientes β_2 son el mayor y el menor, respectivamente. De la misma manera, la adhesividad aumenta con el incremento de harina de triticale y la gomosidad aumenta con el incremento de harina de maíz en las mezclas.

Tabla 3.

Estimación de los parámetros y coeficientes de determinación para el modelo cúbico polinomial para la predicción de las respuestas de las propiedades de textura de tamales. (Valor promedio \pm error estándar y su significancia).

Parámetro	β_i	Dureza	Cohesividad	Adhesividad	Gomosidad
A:Maíz	β_1	$25.98 \pm 0.71^{**}$	$35.55 \pm 1.67^{**}$	$55.26 \pm 7.15^{**}$	$9.09 \pm 0.42^{**}$

B:Arroz	β_2	$34.67 \pm 0.71^{**}$	$7.02 \pm 1.67^{**}$	$35.60 \pm 7.15^{**}$	$2.23 \pm 0.42^{**}$
C:Triticale	β_3	$9.40 \pm 0.71^{**}$	$26.43 \pm 1.67^{**}$	$221.09 \pm 7.15^{**}$	$2.15 \pm 0.42^{**}$
AB	β_{12}	$-10.75 \pm 3.25^{**}$	$65.75 \pm 7.68^{**}$	11.45 ± 32.95^{NS}	$20.95 \pm 2.10^{**}$
AC	β_{23}	2.66 ± 3.25^{NS}	-2.07 ± 7.68^{NS}	$-353.34 \pm 32.95^{**}$	0.07 ± 2.10^{NS}
BC	β_{13}	$-14.94 \pm 3.25^{**}$	$55.35 \pm 7.68^{**}$	$-144.91 \pm 32.95^{**}$	$15.49 \pm 2.10^{**}$
ABC	β_{12} 3	NS	NS	NS	$-34.96 \pm 13.84^*$
R ² (%)		97.55	91.87	96.00	93.36

** Significativo ($p \leq 0.01$).

** Significativo ($0.01 < p \leq 0.05$).

NS: No significativo ($p > 0.05$).

La Figura 1 es un ejemplo ilustrativo del efecto cuadrático de las mezclas de maíz y arroz sobre la cohesividad de los tamales. Se eligió esta mezcla porque es la que presentó una mayor concentración de la SC de los datos observados.

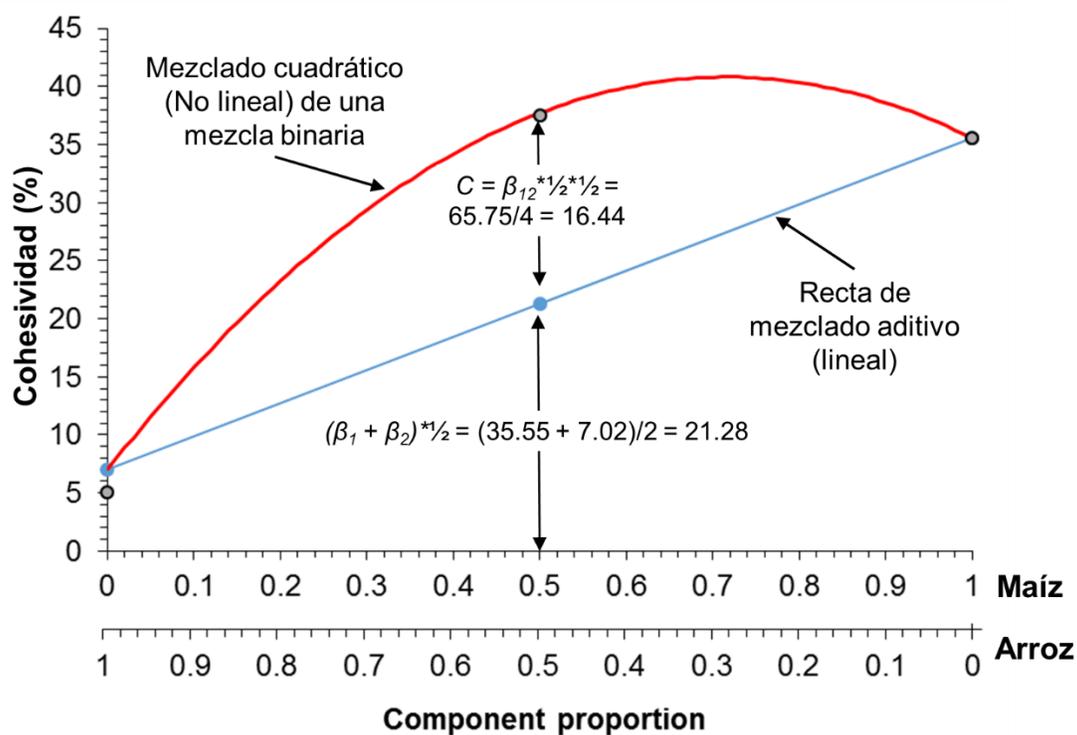


Figura 1. Mezcla no lineal de componentes 1 y 2 (maíz y arroz). En el modelo cuadrático $\beta_{12} = 4 * C$ (Los puntos azules representan los valores observados).

De la figura anterior, se puede decir que una mezcla binaria aditiva compuesta de 50 partes de maíz y 50 partes de arroz debería producir en los tamales una cohesividad de alrededor de 21.28 unidades. Sin embargo, de acuerdo con los resultados obtenidos, la cohesividad observada en los tamales elaborados con esta mezcla fue significativamente mayor, muy cercana al valor aditivo más el efecto del contraste C , es decir 37.72 (21.28 + 16.44). Las características observadas en función de la mezcla de los diferentes tipos de almidón reflejan un efecto diferentes a la suma de los efectos individuales. Esto coincide con el trabajo reportado por Huang y Lai (2010) quienes, si bien realizaron estudios sobre fideos chinos, evaluaron mezclas de almidón de trigo, maíz y arroz, observando sus efectos en la textura. La combinación de diferentes especies genera un efecto combinado que no puede ser definido únicamente por la suma de los efectos individuales. En este sentido, la capacidad de retención de agua, gelatinización, retrogradación y sinéresis de cada uno de los componentes de las mezclas evaluadas se comportan de manera diferente al modelo propuesto.

Los valores promedio (observados) de las propiedades de textura de los tamales elaborados con las diferentes mezclas de harina de maíz, arroz y triticale se muestran en la Tabla 4. Los tamales elaborados únicamente con harina de arroz fueron los más duros, pero los menos cohesivos, adhesivos y gomosos. Por el contrario, los tamales obtenidos sólo a partir de harina de triticale presentaron la menor dureza, pero la mayor adhesividad. La mezcla unitaria de maíz produjo tamales con dureza y adhesividad intermedias, pero con alta gomosidad.

Tabla 4. Valores observados (valor promedio de triplicado \pm desviación estándar) de las propiedades de textura de tamales influenciadas por las mezclas de cereales.

Mezcla	Dureza (N)	Cohesividad (%)	Adhesividad (mN)	Gomosidad (N)
1 (Maíz)	26.13 \pm 1.52	35.56 \pm 1.23	51.84 \pm 4.04	9.29 \pm 0.87
2 (Arroz)	35.15 \pm 1.32	5.11 \pm 0.08	35.31 \pm 1.91	1.79 \pm 0.04
3 (Triticale)	9.10 \pm 1.01	27.08 \pm 1.72	227.07 \pm 17.38	2.31 \pm 0.37
4	28.50 \pm 0.62	37.55 \pm 0.44	47.52 \pm 6.14	10.67 \pm 0.33
5	18.44 \pm 0.05	32.85 \pm 1.04	55.34 \pm 4.34	6.00 \pm 0.20
6	18.71 \pm 0.04	31.02 \pm 1.42	100.75 \pm 12.91	5.79 \pm 0.28
7	21.76 \pm 0.26	32.50 \pm 1.98	56.69 \pm 6.17	7.05 \pm 0.34
8	22.35 \pm 0.70	37.36 \pm 0.45	42.67 \pm 7.56	8.38 \pm 0.24
9	24.23 \pm 0.95	33.66 \pm 1.67	40.82 \pm 9.28	8.12 \pm 0.57
10	15.05 \pm 0.48	30.04 \pm 0.19	84.35 \pm 10.28	4.55 \pm 0.16

En el mismo sentido, las propiedades de textura de los tamales elaborados con mezclas ternarias se representan en un espacio cartesiano con las representaciones gráficas mostradas en la Figura 2.

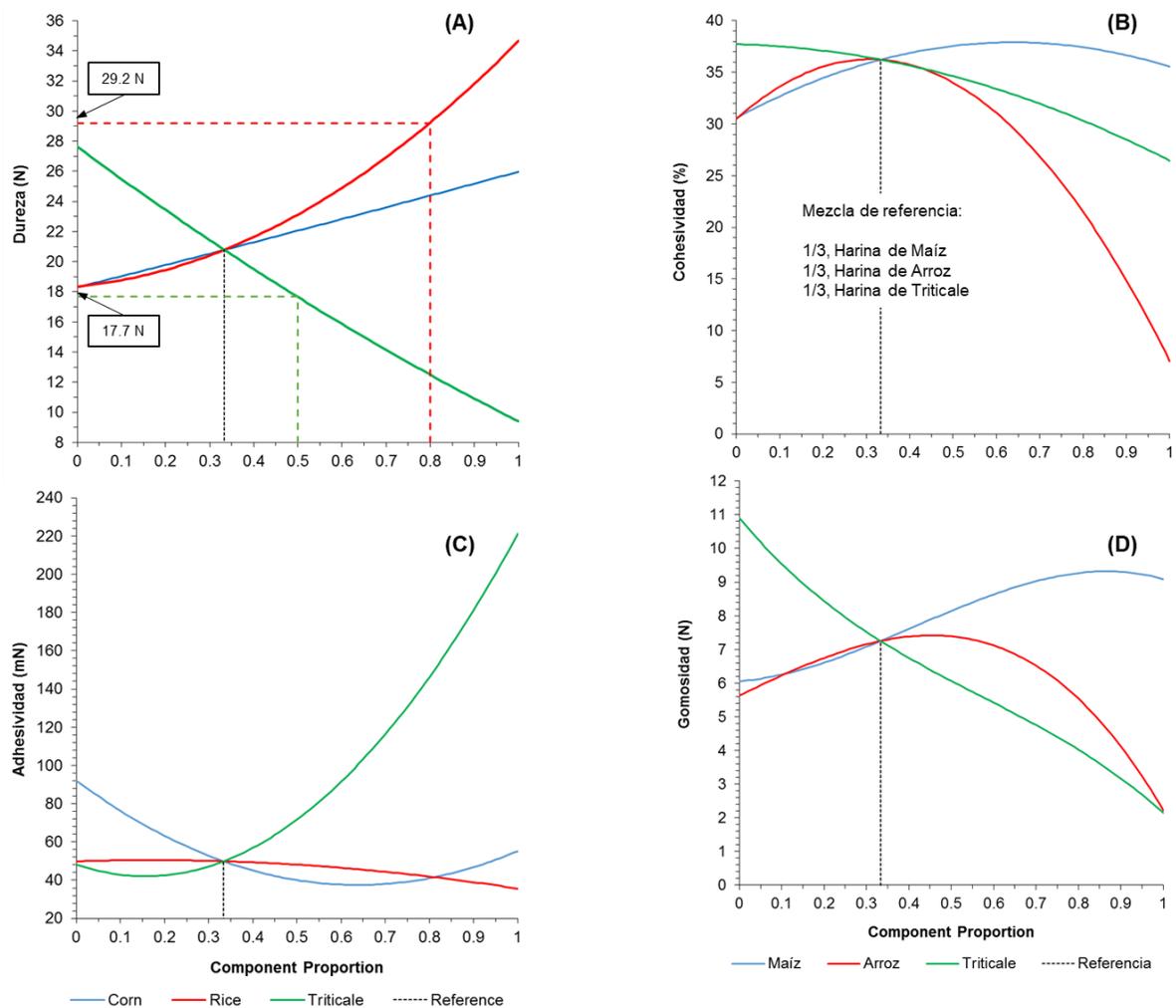


Figura 2. Gráficas del modelo polinomial cuadrático de los valores predictivos para Dureza (A), Cohesividad (B), Adhesividad (C) y Gomosidad (D) para mezclas de harina de Maíz, Arroz y Triticale.

Las funciones gráficas de la Figura 2 son las representaciones gráficas de los modelos cuyos coeficientes (estimadores de los parámetros) fueron reportados en la Tabla 4 y su interpretación es relativamente simple. Por ejemplo, siguiendo la línea que representa al triticale (verde) en la Figura 2(A), una mezcla que contiene una proporción de 0.5 de harina de triticale contendrá 0.25 de harina de maíz y 0.25 de harina de arroz y producirá tamales

con aproximadamente 17.7 N de dureza. De la misma manera, siguiendo la línea roja, cuando la proporción de harina de arroz es de 0.8, la de maíz y de triticales serán de 0.1. La dureza de los tamales producidos con esta mezcla será de aproximadamente 29.2 N. Una estimación de la dureza o de las otras variables de textura de los tamales con cualquier otra combinación de harinas de estos cereales se puede obtener con los modelos cuadráticos cuyos estimadores de los parámetros se reportaron en la Tabla 3.

Partiendo de una mezcla de referencia compuesta por un tercio de cada una de las harinas de los tres cereales, a medida que se incrementa la proporción de cualquiera de ellas, las propiedades de los tamales se modifican significativamente. Así, el incremento de harina de arroz aumenta proporcionalmente la dureza de los tamales, disminuye su cohesividad y gomosidad y su adhesividad se mantiene aproximadamente constante. En el caso de la harina de triticales resulta aproximadamente lo contrario, su incremento en la mezcla produce tamales con una significativa disminución en la dureza y gomosidad, pero con un incremento significativo en su adhesividad y un ligero aumento en la cohesividad. El aumento de harina de maíz en las mezclas produce tamales con una dureza intermedia entre el arroz y el triticales, con un ligero incremento en la cohesividad y un leve decremento en la adhesividad, pero con un aumento significativo de la gomosidad.

En este estudio se evaluó el tamaño promedio de partícula de las harinas, su dispersión y su contenido de amilosa para explicar los resultados obtenidos. La Tabla 5 muestra los valores promedio de estas variables en las mezclas unitarias una estimación en las mezclas binarias y ternarias. La textura de los tamales deriva de las propiedades de las harinas empleadas en

su elaboración. De acuerdo con reportes recientes (Huang y Lai, 2010), el tamaño de los gránulos de almidón, la relación amilosa/amilopectina e inclusive el largo de la cadena de amilopectina, son determinantes en variables como el poder de hinchamiento de los gránulos y la fuerza a la compresión. Por otro lado, estos mismos autores indican que la amilosa forma complejos con los lípidos presentes, y en el caso de los tamales la concentración de lípidos es considerable. Dado lo anterior, este efecto puede modificar sustancialmente la textura de los tamales, específicamente la dureza, la cual aumenta con el aumento en la cantidad de amilosa, lo cual está relacionado con una disminución en la capacidad de retención de agua. La adhesividad presenta el efecto contrario dado que esta propiedad disminuye cuando la concentración de amilosa aumenta. En el presente estudio, éste es el efecto que provoca el aumento en la proporción de arroz en las mezclas evaluadas. Por otro lado, algunos polímeros que forman parte de la fibra dietética y aun la granulometría influyen de manera determinante en algunas variables del perfil de textura de estos productos. Se sabe que mientras menor es el tamaño de partícula del almidón la capacidad de retención de agua disminuye, o lo que es lo mismo, aumenta la difusión de agua del gránulo hacia su superficie, incrementando la dureza del producto.

Tabla 5. Algunas características de la harina utilizada en la elaboración de tamales.

Mezcla	Tamaño medio de partícula (μm)	Dispersión de tamaño de partícula (μm)	Amilosa (g/100 g flour)
1 (Maíz nixtamalizado)	407.72	102.89	20.12
2 (Arroz)	261.01	36.55	22.11
3 (Triticale nixtamalizado)	415.67	220.45	14.50
4	334.37	69.72	21.11
5	411.70	161.67	17.31
6	338.34	128.50	18.30

7	361.47	119.96	18.91
8	384.60	111.43	19.52
9	311.24	78.25	20.51
10	388.57	170.20	16.70

Las características de las mezclas 4-10 fueron estimadas considerando los valores de las mezclas puras (1-3).

Partiendo de un análisis de regresión lineal entre las características de las harinas y la textura de los tamales, se encontraron las correlaciones significativas mostradas en la Figura 3 ($R^2 \geq 0.397$). Estas correlaciones sugieren que la dureza de los tamales aumenta significativamente con el incremento en el contenido de amilosa y disminuye con el incremento en el tamaño promedio de las partículas de la harina y con el aumento en la dispersión de este tamaño. De la misma manera, la adhesividad disminuye a medida que incrementa la amilosa, pero aumenta con la disminución de la dispersión del tamaño de las partículas de las harinas.

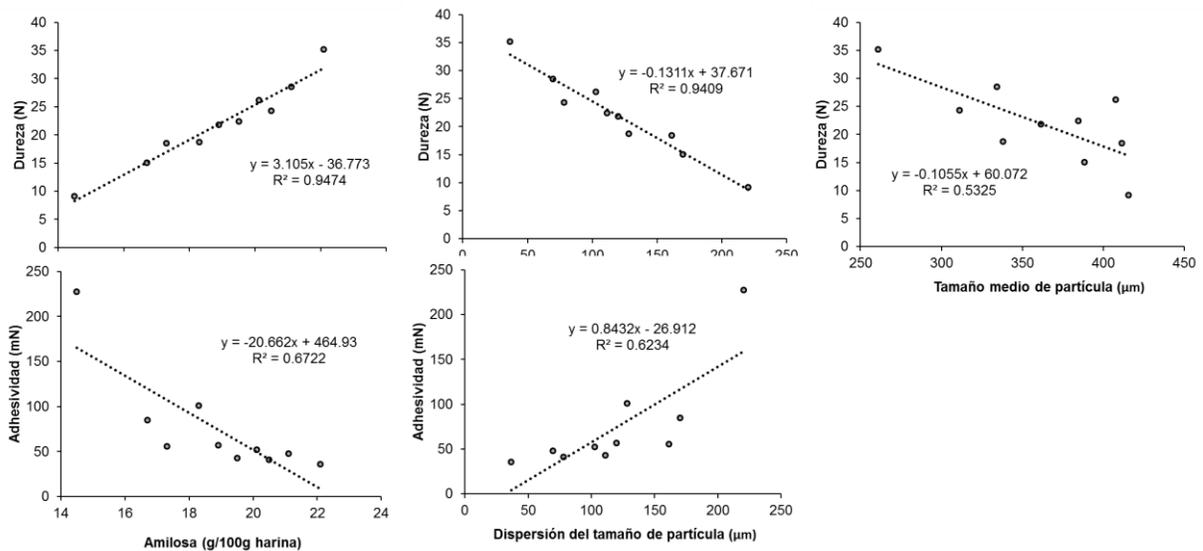


Figura 3. Correlación entre las propiedades de textura, tamaño de partícula y contenido de amilosa en tamales.

Estos resultados sugieren que harinas granulométricamente más homogéneas y compuestas por gránulos más pequeños producen tamales más duros, pero menos adhesivos y el alto valor del coeficiente de determinación ($R^2 = 0.9474$) de la relación amilosa-dureza es un indicador de la fuerte influencia de este componente del almidón de la harina sobre la dureza de los tamales. Lo anterior coincide con lo expresado por Epstein, Morris y Huber (2002) quienes indican que el contenido de amilosa en el almidón contribuye de manera sustancial a la textura, en ese caso, los autores se refieren a fideos chinos, pero el efecto de la relación amilosa-dureza es comparable con lo reportado en el presente estudio.

CONCLUSIONES

El presente estudio muestra la factibilidad de utilizar el modelo de mezclas para predecir las características de textura que se obtendrán al combinar diferentes proporciones de harina de maíz nixtamalizado, arroz y triticales en la elaboración de tamales.

En este sentido, el tamaño de partícula de las harinas es fundamental para obtener los parámetros de textura deseados considerando también la composición de amilosa de las harinas.

Con el fin de utilizar triticales en la elaboración de tamales es necesario que el grano se someta a un proceso de nixtamalización previo semejante a la nixtamalización que se realiza en los granos de maíz.

La mezcla de cereales provoca efectos que se explican por una relación sinérgica entre los componentes de la mezcla, es decir, no se obtienen resultados que son solamente la suma de las contribuciones de los cereales de forma unitaria.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT-México) (Número de subvención: 615778) y la Secretaría de Educación Pública (Proyecto número 511-6 / 17-7766).

REFERENCIAS

- Amaya, A. y Peña R.J. (1991). *Triticale industrial quality improvement at CIMMYT: past, present and future*. Estado de México, México: CIMMYT Staff Publications Collection.
- Cornell J. A. (1990). *Experiments with mixtures. Designs, models and the analysis of mixture data*. San Francisco, CA. USA: John Wiley y Sons.
- Cruz-Vázquez, C., Villanueva-Carvajal, A., Estrada-Campuzano, G. y Dominguez-Lopez, A. (2019). Tamales texture properties as a function of corn endosperm type. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 16, 1-8. <http://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2019.100153>
- Huang, Y.C. y Hsi-Mei Lai, H.M. (2010). Noodle quality affected by different cereal starches. *Journal of Food Engineering* 97, 135–143. <http://doi.org/1016/j.jfoodeng.2009.10.002>

- Epstein, J., Morris, C.F., Huber, K.C. (2002). Instrumental texture of white salted noodles prepared from recombinant inbred lines of wheat differing in the three granule bound starch synthase (Waxy) genes. *Journal of Cereal Science* 31, 51–63.
<http://doi.org/10.1016/j.jcrs.2001.0412>
- Figuroa-Cárdenas, J.D., Veles-Medina, J.J., Esquivel-Martínez, A.M., Mariscal-Moreno, R.M., Santiago-Ramos, D. y Hernández-Estrada, Z. (2016). Effect of processing procedure on the formation of resistant starch in tamales. *Starch-Starke*. 68, 1–8.
<http://doi.org/10.1002/star.201600091>
- Galicia L., Miranda A., Gutiérrez M.A., Custodio O., Rosales A., Ruiz N., Surles R., Palacios, N. (2012). *Protocolos de laboratorio 2012 CYMMIT*. Estado de México, México: CIMMYT 43-45. Recuperado de <https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/1349/97125.pdf>
- Gamboa, L., García, M. y Tablante, L. (2012). Evaluación nutricional y sensorial de arepas a base de harinas de maíz blanco (*zea mays* l.) yuca dulce (*Manihot esculenta* Crantz) enriquecidas con texturizado de proteína de soya (*Glycine max*). Saber. *Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente*, 24(2), 185-190. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=427739448008>
- Hoyer, D. 2008. *Tamales*. Gibbs Smith Publisher, Layton, Utah, USA. Page 8. Recuperado de: <http://www.gibbs-smith.com>
- Gironella De'Angeli, A., De'Angeli, G. (2011). *Larousse de la comida mexicana* (2011) México D.F., México, 137-144.

- Mariscal-Moreno R., Figueroa-Cárdenas, J., Santiago-Ramos, D., Rayas-Duarte, P., Veles-Medina, J. y Martínez-Flores, H.E. (2017). Nixtamalization Process Affects Resistant Starch Formation and Glycemic Index of Tamales. *Journal of Food Science*, 82 (5), 1110-1115. <http://doi.org/10.1111/1750-3841.13703>
- Miranda-Osornio, A. (2011). Un tamal para el recreo. *Culinaria*, 2, 75-83. Recuperado de: web.uaemex.mx/Culinaria/dos.ne/rec_01.pdf
- Mora-Escobedo R., Osorio-Díaz P., García-Rosas M.I., Bello-Pérez A. y Hernández-Unzón H. (2004). Changes in selected nutrients and microstructure of white starch quality maize and common maize during tortilla preparation and storage. *Food Science and Technology International*, 10, 79-87. <http://doi.org/10.1177/1082013204043885>
- Paredes-López O, Guevara F. y Bello-Pérez L. A. (2009). La Nixtamalización y el valor Nutritivo del Maíz. *Revista Ciencias, UNAM*, 92, 60-70. Recuperado de: <http://revistaciencias.unam.mx/pt/41-revistas/revista-ciencias-92-93/205-la-nixtamalizacion-y-el-valor-nutritivo-del-maiz-05.html>
- Pérez-Soto, E., Soto-Simental, S. Güemes-Vera, N., González-Montiel, L. (2016). Aceptabilidad de tamales elaborados con diferentes sustitutos de manteca de cerdo. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1), 626-630. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/303520272_ACEPTABILIDAD_DE_TAMALES_ELABORADOS_CON_DIFERENTES_SUSTITUTOS

- Peña, R.J. y Amaya, A. (1992). Milling and breadmaking properties of wheat triticale grain blends. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 60, 483-487. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740600413>
- Rodríguez-Huezo, M.E., Flores-Silva, P., Garcia-Diaz, S., Meraz, M., Vernon-Carter, E.J., Alvarez-Ramirez. (2017). Effect of Fat Type on Starch and Protein Digestibility of Traditional Tamales. <https://doi.org/10.1002/star.201700286>
- Rooney, L.W., Serna-Saldivar, S.O. (2003). Food use of whole corn and dry –milled fractions En (White, P.J. y Johnson, L.A.). *Corn: Chemistry and Technology*. 2ª ed. Inc. St. Paul, Minnesota, USA: American Association of Cereal Chemists, 495-536.
- Sahai, D., Buendia, M.O y Jackson, D.S. (2001). Analytical Techniques for Understanding Nixtamalized Corn Flour: Particle Size and Functionality Relationships in a Masa Flour *Cereal Chemistry* 78(1), 14-18. <https://doi.org/10.1094/cchem.2001.78.1.14>
- Staller, E.J., Tykot, R.H., Benz, F.B. (2010). *Histories of Maize in Mesoamerica, Multidisciplinary Approaches*. Oxon, USA: Routledge.
- Villela, S. (2016). El *huauhtli* sagrado. Los tamales *tzoalli* entre los nahuas de Guerrero. *Arqueología Mexicana*, 148, 46-53. Recuperado de: <https://arqueologiamexicana.mx/mexico-antiguo/el-huauhtli-sagrado-los-tamales-tzoalli-entre-los-nahuas-de-guerrero>

7.2 Resultados adicionales

7.2.1 Microscopia del tamal

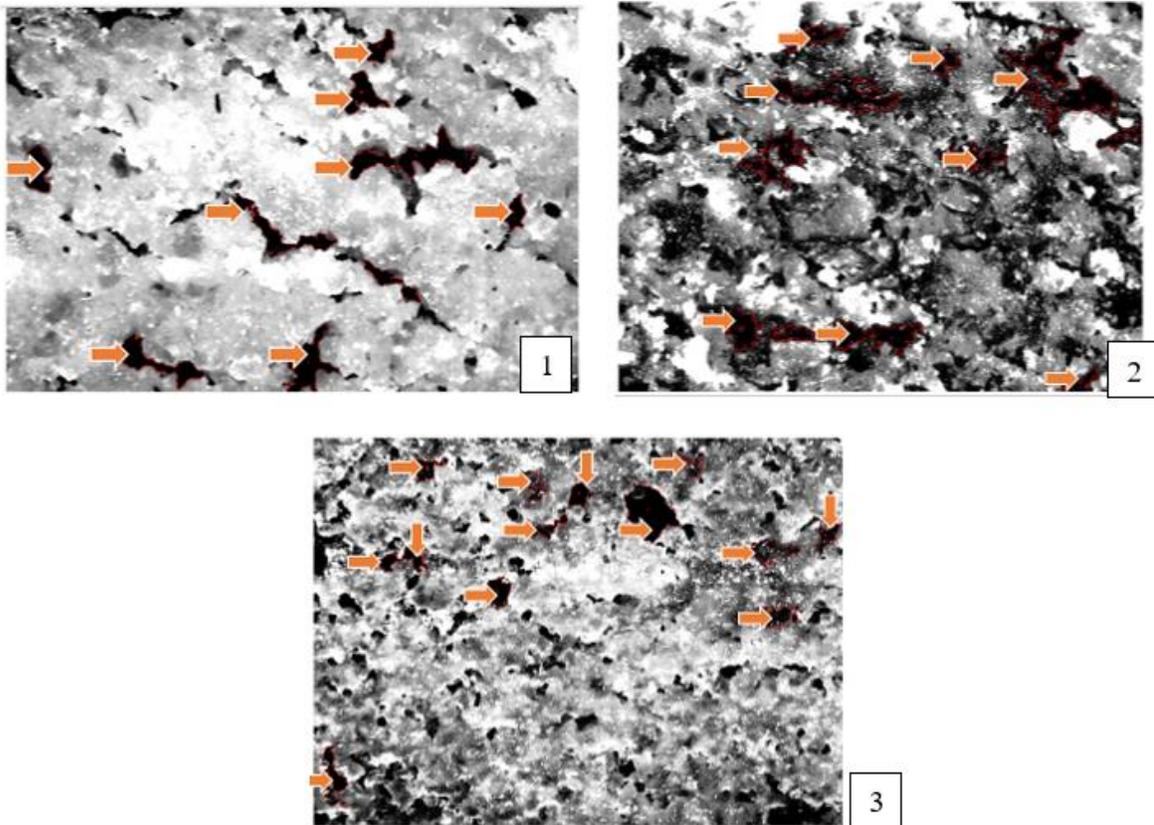


Figura 10: Microscopia del tamal (1 maíz, 2 triticales, 3 arroz)

En la figura 10 se pueden observar unas micrografías de los tamales de maíz (1), triticales (2) y arroz (3), las flechas indican los espacios formados de aire (poros) en cada uno de los tamales. De acuerdo con Ishida *et al.*, (2001) los panes tienen forma elipsoidal si son frescos y redondos en caso de ser de masa congelada, lo cual se atribuye a la dirección de expansión de los poros con respecto a la destrucción de la estructura de gluten; entre más redondos sean los poros, mayor es la destrucción de la matriz de gluten. En el caso de los tamales no hay estudios previos reportados sobre microscopia de estos, es por eso que se intentó hacer algo parecido al pan, sin embargo en los tamales se puede observar que no existe un patrón de forma en los poros, esto podría deberse a el tipo de almidón, en el caso de maíz y arroz el

gluten está ausente, mientras que en el caso del triticale sí contiene una pequeña cantidad de gluten pero debido a que éste fue nixtamalizado la fuerza de gluten disminuyó. Se realizó una correlación de las áreas y perímetros de los poros de cada tamal, como se muestra en la figura 11, en donde se observó en los tres casos una buena correlación, lo cual nos indica que la toma de muestras se realizó de manera adecuada, y que el tamaño de poro es de un tamaño similar. Sin embargo, no se muestra una relación con los datos obtenidos del análisis de textura.

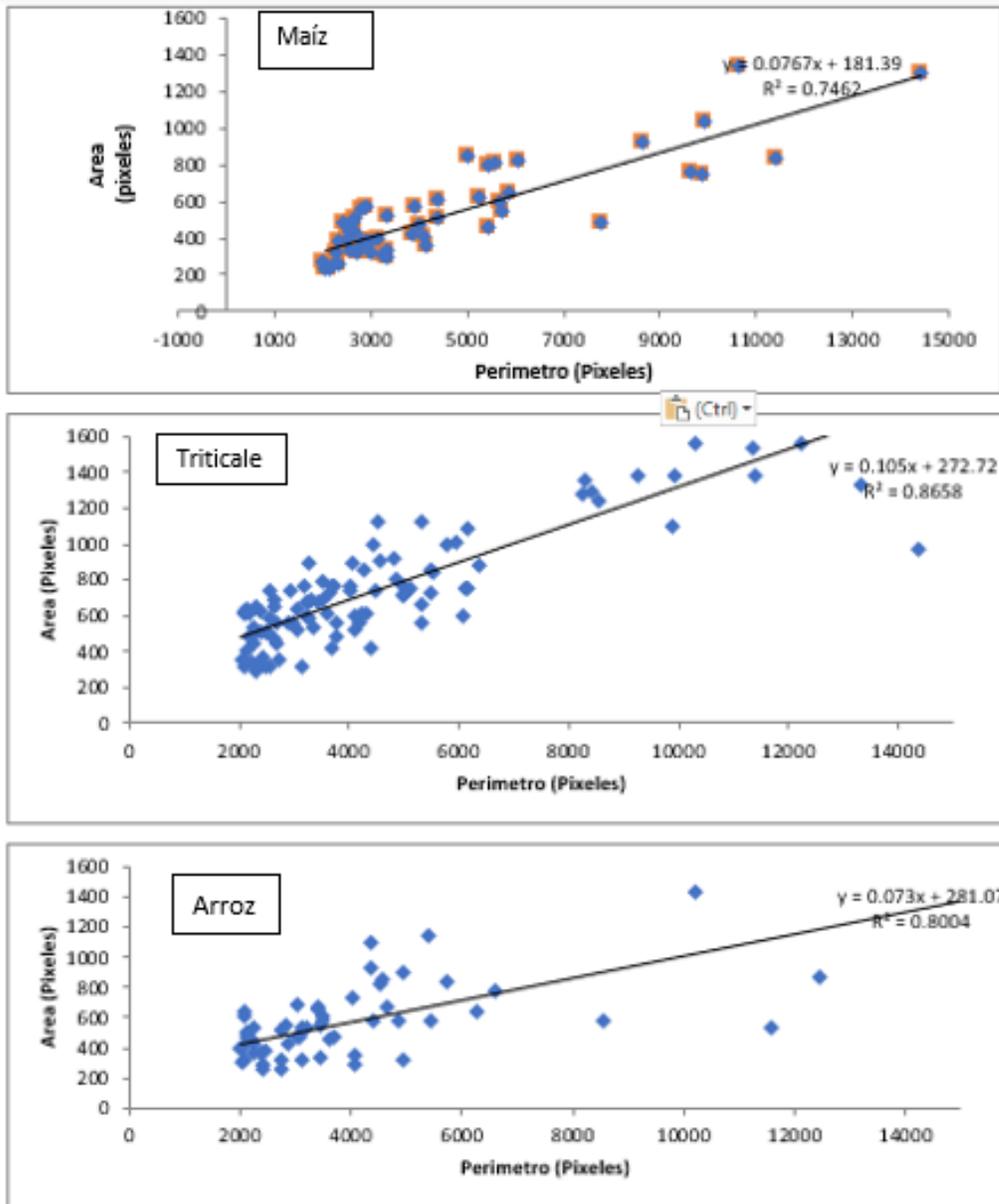


Figura 11: Área y perímetro de alveolos de aire

VIII. CONCLUSIONES GENERALES

Mediante el uso del modelo de mezclas se puede predecir cómo será la textura del tamal en caso de mezclar con otros cereales.

La dureza se debe a la contribución de los componentes unitarios. El arroz aporta dureza y el triticale aporta adhesividad.

El tamaño de partícula es importante para obtener los parámetros deseados en textura del tamal, entre más pequeño el tamaño de partícula la dureza aumenta.

El aumento en el porcentaje de amilosa indica una fuerte influencia sobre la dureza del tamal.

Los tamales que más se asemejan en dureza a uno elaborado con maíz son las mezclas 50M-50A y los 16M-66A-16T.

En la microestructura no se muestra un patrón de poros igual en forma como en el caso del pan, pero sí muestra poros de tamaño similar en los distintos cereales, sin embargo no se puede hacer una relación con los datos de textura.

IX. BIBLIOGRAFÍA

Aguilera J.M. (2000), Microstructure and food product engineering, *Food Technology* 54(11), 56–58 60, 62, 64, 66.

AOAC, 1990, *Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists* 1th edition vol 2, Edited by Kenneth Helrich.

Al-Hinai Z., Guizani N., Singh V., Rahman S., y Al-Subhi L. (2013). Instrumental Texture Profile Analysis of Date-Tamarind Fruit Leather with Different Types of Hydrocolloids. *Food Science and Technology Research*. 19 (4): 531–538

Amaya, A., Peña R.J. (1991). Triticale industrial quality improvement at CIMMYT: past, present and future. In: *Proc. 2nd Int. Triticale*

Arámbula G, Méndez A, González J, Gutiérrez E y Moreno E. (2016). Evaluación de una metodología para determinar características de textura de tortilla de maíz (*Zea mays* L.). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54(2): 216-222

Beleia A., Butarelo S., y R. Silva. (2006). Modelado de gelatinización del almidón durante la cocción de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *LWT - Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 39 (4): 400-406.

Bello-Pérez, L. A., Osorio-Díaz, P., Agama-Acevedo, E., Nuñez-Santiago, C. y Paredes-López, O. (2002). Propiedades químicas, fisicoquímicas y reológicas de masas y harinas de maíz nixtamalizado. *Agrociencia*, 36: 319–328.

Benedini R., Parolari G., Toscani T., & Virgili R. (2012). Sensory and texture properties of Italian typical dry-cured hams as related to maturation time and salt content. *Meat Science*, 2012, vol. 90, no. 2, 431-437.

Blanco A, Montero M.A. y Fernández M. (2000). Composición química de productos alimenticios derivados de trigo y maíz elaborados en Costa Rica. Instituto Costarricense de Investigación y Enseñanza en Nutrición y Salud. Tres Ríos, Costa Rica, 50 (1)

Bugaud C., Cazevieuilleb P., Marie-Odette D., Tellec N., Julianusd P., Fils-lycaond B., Mbéguié-A-Mbéguiée D. (2013). Rheological and chemical predictors of texture and taste in dessert banana (*Musa spp.*), *Postharvest Biology and Technology*. 84(5): 1-8.

Castillo-V, K.C., Ochoa-M, L.A., Figueroa-C, J.D., Delgado-L, E., Gallegos-I, J.A. y Morales-C.J. (2016). Efecto de la concentración de hidróxido de calcio y tiempo de cocción del grano de maíz (*Zea mays L*) nixtamalizado, sobre las características fisicoquímicas y reológicas del nixtamal. *Archivos latinoamericanos de Nutrición*, 59: 425-432.

Clark, E. R., Tafoya, C., (2011). *Tamales, comadres and the meaning of civilization: secrets, recipes, history, anecdotes, and a lot of fu*, Wings Press, San Antonio, TX, USA.

Cornell J. A. (1990). *Experiments with mixtures. Designs, models and the analysis of mixture data*. 2nd Edition. John Wiley y Sons, Inc. USA.

Crosbie, G. B., Huang, S., & Barclay, I. R. (1998). Wheat quality requirements of Asian foods. *Euphytica*, 100, 155-156.

Cruz C., Villanueva A., Estrada G., Dominguez A. (2019). Tamales texture properties as a function of corn endosperm type. *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 16: 100153

Darvey-N.L., Naeem-H., Gustafson-J.P., (2000). Triticale: Production and utilization. In: K., Kulp, J., Ponte (Eds.), Handbook of Cereal Science and Technology. 2nd Ed. Marcel Dekker, NY. 257-271

De`Angeli A.G. y De`Angeli G. (2011) Larousse de la comida mexicana Pag 137-144

González F. (1996). La cocina mexicana a través de los siglos II Época prehispánica. Editorial Clío/Fundación Herdez. México.

Guadarrama A.Y., Carrillo H., Vernon E. J., y Alvarez J. (2016). Rheological and thermal properties of dough and textural and microstructural features of bread obtained from nixtamalized corn/wheat flour blends. *Journal of Cereal Science*, 69, 158–165.

Guiné R., Y Barroca M. (2012). Effect of drying treatments on texture and color of vegetables (*pumpkin and green pepper*). *Food and Bioproducts Processing*. 90 (1): 58-63.

Gupta, N.K. , Singh. T., and Bains , G.S. (1985). Malting of triticale. Effect of variety, steeping moisture, germination and gibberellic acid.

Ferreras Charro, Rebeca, 2009. Análisis reológico de las diferentes fracciones de harina obtenidas en la molienda de grano de trigo. Tesis de Especialidad. Universidad de Salamanca.

Figuerola J.D., Véles J.J., Esquivel A.M., Mariscal R.M., Santiago D. Hernandez Z.J. (2016). Effect of processing procedure on the formation of resistant starch in tamales. *Starch Journal*. 68: 1–8.

Galicia L., Miranda A., Gutiérrez M.A., Custodio O., Rosales A., Ruiz N., Surles R., Palacios Natalia (2012). Laboratorio de calidad nutricional de maíz y análisis de tejido vegetal. *Protocolos de laboratorio CYMMIT*. 43-45.

Han-H, Cho-J, Kang-H (2012). Rice varieties in relation to rice bread quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(7): 1462-1467.

Hernández A., Santoyo E., Macario R., y Mira A. (2004). El triticale, su cultivo, su potencial productivo y nutritivo en el Estado de México. ICAMEX, México, 1-20.

Hoyer D. (2008). Tamales. Gibbs Smith Publisher, Layton, Utah, USA. Page 8. Available from: <http://www.gibbs-smith.com>.

Huang, S. y. M. D., (2016). Steam Breads. Chapter 1- Introduction to Steamed Bread.

Huang, S. y. M. D., (2016). Future Trends. En: W. P. Series, ed. *Steamed Bread*. China: Food Science, Technology and Nutrition, pp. 169-173.

Hurtado M.L., Escobar B, Esteves A.M. (2001). Mezclas legumbre/cereal por fritura profunda de maíz amarillo y tres cultivares de frejol para consumo “snack”. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Santiago, Archivos latinoamericanos de Nutrición, 51(3): 303-308.

Ishida, N., Takano, H., Naito, S., Isobe, S., Uemura, K., Haishi, T., Kose, K., Koizumi, M., Kano, H., (2001). Architecture of baked breads depicted by a magnetic resonance imaging. *Magnetic Resonance Imaging* 19 (6), 867–874.

Jiang, X., Hao, Z., & Tian, J. (2008). Variations in amino acid and protein contents of wheat during milling and northern-style steamed breadmaking. *Cereal Chemistry*. 85(4): 502-506.

Laurentin, A. and Edwards, C.A. (2003). A microtiter modification of the anthrone-sulfuric acid colorimetric assay for glucose-based carbohydrates. *Analytical Biochemistry*. 315, 143–145.

León, A. E., Rubiolo, A. y Anon, M.C. (1996). Use of triticale flours in cookies: quality factors. *Cereal Chemistry*. 73: 779-784.

León A.E., Pérez G.T., Ribotta P.D., (2008), *Triticale Flours: Composition, Properties and Utilization*, Global Science Books. Facultad de Ciencias Agropecuarias Cordoba Argentina. www.globalsciencebooks.info/Online/

Maldonado-R. y Pacheco-E. (2000). Elaboración de galletas con una mezcla de harina de trigo y de plátano verde. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 50(4):387-393.

Mariscal R, Figueroa J.D., Santiago D, Rayas P, Veles J. y Martínez. (2017). Nixtamalization Process Affects Resistant Starch Formation and Glycemic Index of Tamales. *Journal of Food Science*, 82 (5): 1110-1115.

Méndez, C., S. Ferreira y M. Gomes. (1998). Efeito do teor de água, amilose, amilopectina e grau de gelatinização no crescimento do biscoito de amido de mandioca obtido por fermentação natural. *Cienc. Tecnol. de Alim*. 18(1):98-105.

Mergoum M., Pfeiffer W.H., Peña J., Ammar K. y Rajaram-S. (2004) . Triticale crop improvement: the CIMMYT programme. In: Mergoum, M., Gómez- Macpherson, H. (Eds.), *Triticale Improvement and Production*. FAO Plant Production and Protection Paper 179: 11-22.

Miranda A. (2011). Un tamal para el recreo. *Revista virtual especializada en Gastronomía*. 2, 75-83.

Paredes O, Guevara F. y Bello L. A. (2009). La Nixtamalización y el valor Nutritivo del Maíz. *Revista Ciencias UNAM* 92: 60-70.

Pei-Hsuan Hsieh, Yih-Ming Weng, Zer-Ran Yu, Be-Jen Wang. (2017). Substitution of wheat flour with wholegrain flours affects physical properties, sensory acceptance, and starch digestion of Chinese steam bread (Mantou).

Peña, R.J., Mergoum, M. & Pfeiffer, W.h. (1998). Glutein subunit composition and breadmaking quality characteristics of recently developed triticale germplasm of CIMMYT, In P. Juskiw, ed Proc. 4th

Peña R J. (1995). Factors affecting triticale as food crop. 3rd. International Triticale. Symposium, Lisbon, Portugal. CIMMYT: México, D.F.

Peña, R.J. (1996). Factors affecting triticale as a food crop. In H. Guedes-Pinto, N. Darvey & V.P. Carnide, eds. Triticale: today and tomorrow, Dordrecht, Netherlands, Kluwer Academic Press. 141-148.

Peña, R.J. & Amaya, A. (1992). Milling and breadmaking properties of wheat triticale grain blends. *Journal of the Science of Food Agriculture*. 60, 483-487

Pérez-Soto. (2016). Aceptabilidad de tamales elaborados con diferentes sustitutos de manteca de cerdo. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1): 626-630.

Polaki A., Xasapis P., Fasseas C., Yanniotis S., Mandala I. (2010). Fiber and hydrocolloid content affect the microstructural and sensory characteristics of fresh and frozen stored bread. *Journal of food Engineering*. 97: 1-7.

Pomeranz, Y., Huang, M., & Rubenthaler, G. L. (1991). Steamed bread. III. Role of lipids. *Cereal Chemistry*, 68(4): 353-356.

Poutanen, K., Flander, L., Katina, K., (2009). Sourdough and cereal fermentation in a nutritional perspective. *Food Microbiol.* 26: 693–699.

Pulane Nkhabutlane (2014). An investigation of basotho culinary practices and consumer acceptance of basotho bread. University of Pretoria in the Faculty of Natural and Agricultural Science. Departamento d consumer science. 134-154

Qing Gao, Chong Liu & Xueling Zheng. (2017). Effect of heat treatment of rye flour on rye-wheat steamed bread Quality. *International Journal of Food Science and Technology*

Riccardi, G., Giacco, R., Rivellese, A. A. (2004). Dietary fat, insulin sensitivity and the metabolic syndrome. *Clin. Nutr.*, 23, 447-456.

Rodríguez-Huezo, M.E.a, Flores-Silva, P.b, Garcia-Diaz, S.c, Meraz, M.c, Vernon-Carter, E.J.b, Alvarez-Ramirez. (2017). Effect of Fat Type on Starch and Protein Digestibility of Traditional Tamales.

Rubenthaler, G. L., Huang, M. L., & Pomeranz, Y. (1990). Steamed bread. I. Chinese steamed bread formulation and interactions. *Cereal Chemistry*, 67(5): 471-475.

Sadawarte S., Sawate A., Pawar V (2007). Enrichment of bread with rice bran protein concéntrate. *Journal of food science and technology-mysore*, 44(2): 195-197.

Santoyo, C. E, Quiroz M. J. (2010). Guía para el cultivo de cereales en el Estado de México. Instituto de Investigación y capacitación agropecuaria, acuícola y forestal del Estado de México. 2, 22.

Sahai D, Buendia MO, Jackson DS. (2001). Analytical techniques for understanding nixtamalized corn flour particle size and functionality relationships in a masa flour sample. *Cereal Chem.* 78, 14-18.

Serna-Saldivar, S. O., Guajardo-Flores, S., & Viesca-Rios, R. (2004). Potential of Triticale as a Substitute for Wheat in Flour Tortilla Production. *Cereal Chemistry Journal*, 81(2): 220–225.

Staller E.J., Tykoty R.H., Benz F.B. (2010). *Histories of Maize in Mesoamerica, Multidisciplinary Approaches*, Left coast Press Inc. California.

Serna-Saldívar, S. R O. (1996). *Química, Almacenamiento e Industrialización de los cereales*. Primera Edición. AGT. Editor S. A.

Sim S.Y., Noor Aziah A.A., Cheng L.H. (2011) Characteristics of wheat dough and Chinese steamed bread added with sodium alginates. *Food Hydrocolloids*. 25, 951-957

Sivaramakrishnan H, Senge B, Chattopadhyay P. (2004) Rheological properties of rice dough for making rice bread. *Journal of Food Engineering*, 62(1): 37-45.

Tamales emporio. El tamal y sus orígenes. <https://www.tamales.com.mx/pages/los-tamales-en-el-mundo> (13 de Octubre de 2017)

Torbica A., Hadnadev M., Sakač M. (2009). Functional characteristics of the gluten free products based on buckwheat/rice flour mixtures. *Proceedings of 5th International Congress flour-bread 2009 - 7th Croatian Congress of Cereal Technologists*.

Torrenegra M.E., Granados C., Acevedo D., Guzmán L.E., Alvarez I., Padilla N. (2013). *Caracterización del proceso de elaboración del bollo limpio y de mazorca en Villanueva*

Bolivar–Colombia. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 11(2): 148-155

Torres J.D., Acevedo D., Montero P.M., (2016a) Influencia del almacenamiento en la textura y viscoelasticidad de bollos de maíz cariaco blanco. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 17 (3): 403-416.

Torres-González, J.D., Gallo-García, L.A., Acevedo, D. (2016b) Determinación de los parámetros de transferencia de calor durante la cocción de bollos de maíz amarillo. *UGCiencia* 22, 213-225.

Vardakou, M., Nueno Palop, C., Christakopoulos, P., Faulds, C.B., Gasson, M.A., Narbad, A. (2008). Evaluation of the prebiotic properties of wheat arabinoxylan fractions and induction of hydrolase activity in gut microflora. *International Journal of Food Microbiology*. 123, 166-170.

Yi-Tien Chen, Sy-Yu Shiau y Jhong-Tai Fu. (2016). Physicochemical Properties of Dough and Steamed Bread Made from Regular and Whole Wheat Flour. *International Journal Food Eng*.12(4): 411–419.

Zghal, M.C., Scalon, M.G., & Sapirstein, H.D. (1999). : Prediction of Bread Density by Image Analysis, *Cereal Chemistry*, 76(5), 734-742

Zhang, H., Wang, B., (2014). Fate of deoxynivalenol and deoxynivalenol-3-glucoside during wheat milling and Chinese steamed bread processing. *Food Control*. 44, 86–91.

Zhuab B., Lia B., Gaob Q., Fana J., Gaoa P., Maa M., Y Feng X. (2013). Predicting Texture of Cooked Blended Rice with Pasting. *International Journal of Food Properties*. 16 (3): 485–499.