



Universidad Autónoma del Estado de México

Facultad de Ciencias Agrícolas

“EFECTO DE LA TEMPERATURA Y EL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO EN LAS CARACTERÍSTICAS DE MASAS DE MAÍZ NIXTAMALIZADO COCIDAS AL VAPOR (TAMAL)”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO INDUSTRIAL

P R E S E N T A :

Marisol Sánchez García

Generación 40^a

MODALIDAD: TESIS INDIVIDUAL

Asesores:



Dra. Adriana Villanueva Carvajal Dr. Aurelio Domínguez López

Campus Universitario “El Cerrillo” Toluca, Estado de
México. Febrero de 2019.

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS	iii
DEDICATORIAS	iv
AGRADECIMIENTOS	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
I. INTRODUCCIÓN	8
II. OBJETIVOS	10
Objetivo General	10
Objetivos específicos	10
III. HIPÓTESIS	11
IV. JUSTIFICACIÓN	12
V. REVISIÓN DE LITERATURA	14
5.1. El maíz	14
5.2. Nixtamalización	16
5.3. Harina de nixtamal	16
5.4. Propiedades funcionales del almidón de maíz	17
5.5. Procesamiento y usos de las harinas de maíz nixtamalizado	18
5.5.2. El origen del tamal	20
5.5.3. Los tamales en México	20
5.6. Vida útil y métodos de conservación	24
5.6.1. Métodos de conservación	24
5.6.1.1. Refrigeración y congelación	24
5.6.1.2. Masas congeladas	25

5.6.1.2.1. Producción de masa congelada	25
5.6.1.3. Masas precocidas	26
5.7. Textura en productos cocidos al vapor	26
5.8. Microestructura de alimentos	27
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	28
6.1. Materiales	28
6.2. Métodos	29
6.2.1 Elaboración de tamales	29
6.2.2. Evaluación de textura	30
6.2.2. Evaluación de la microestructura	31
6.2.3. Determinación de humedad	31
6.3. Análisis estadístico de los resultados	31
6.3.1. Tratamientos	32
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
7.1. Elaboración de tamales	34
7.2. Determinación de humedad	35
7.3. Determinación de textura (dureza y cohesividad)	37
7.3.1. Dureza	37
7.3.2. Cohesividad	38
7.4. Análisis de microestructura	41
VIII. CONCLUSIONES	43
XIX. BIBLIOGRAFÍA	44

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadro 1. Composición química proximal de las partes fundamentales del grano de maíz (en % de materia seca) y del grano total blanco y amarillo (León y Rossel, 2007).	15
Cuadro 2. Alimentos tradicionales de Iberoamérica fabricados con harina y sub-productos de la molienda seca de maíz (León y Rosell, 2007).	19
Cuadro 3. Tiempos de almacenamiento de los diferentes tratamientos de masas de maíz nixtamalizado.	33
Cuadro 4. Comparación de medias para las determinaciones realizadas en tamales	40
Figura 1. Sección transversal del grano de maíz (León y Rossel, 2007)	15
Figura 2. Procedimiento de elaboración de tamales (propuesta del laboratorio de Textura cua Alimentos, Facultad de Ciencias Agrícolas, UAEM).	29
Figura 3. Perfil de textura típico (Mochizuki, 2001).	30
Figura 4. Proceso gráfico de la elaboración estandarizada de tamales.	35
Figura 5. Comparación de la pérdida de humedad para tamales almacenados bajo diferentes condiciones (CoCo-Tamales cocidos/congelados; PreCo-Masa precocida/congelada; CruCo-Masa cruda/congelada; CoRe-Tamales cocidos/refrigerados).	36
Figura 6. Comparación de la dureza para tamales almacenados bajo diferentes condiciones (CoCo-Tamales cocidos/congelados; PreCo-Masa precocida/congelada; CruCo-Masa cruda/congelada; CoRe-Tamales cocidos/refrigerados).	38
Figura 7. Comparación de la cohesividad para tamales almacenados bajo diferentes condiciones (CoCo-Tamales cocidos/congelados; PreCo-Masa precocida/congelada; CruCo-Masa cruda/congelada; CoRe-Tamales cocidos/refrigerados).	39
Figura 8. Correlación entre humedad y cohesividad para muestras tamales almacenados bajo diferentes condiciones.	40
Figura 9. Microestructura de tamales a través del almacenamiento bajo diferentes condiciones. (CoRe: Cocidos refrigerados, PreCo: Precocidos congelados, CoCo: Cocidos congelados, CruCo: Crudos congelados). Se muestran valores aproximados (días) de toma de fotografías.	42

DEDICATORIAS

El presente trabajo está dedicado a mi abuela Cecilia Martínez Sánchez (QEPD) quien, a pesar de no estar presente al concluir mis estudios, fue una inspiración durante mi formación.

A mi hija, quien motivó mis esfuerzos para continuar preparándome.

AGRADECIMIENTOS

A mi madre, por haberme brindado su apoyo a lo largo de mi formación y ser un ejemplo de perseverancia.

De manera especial a mis tutores de tesis la Dra. Adriana Villanueva Carvajal y el Dr. Aurelio Domínguez López, por haberme guiado en la elaboración del presente trabajo y brindarme su apoyo para desarrollarme profesionalmente.

A la Universidad Autónoma del Estado de México, por haberme ofrecido tantas oportunidades y enriquecerme en conocimiento.

RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó el efecto del tiempo de almacenamiento de masas de maíz nixtamalizado (masas cocidas, semicocidas y crudas) bajo diferentes condiciones (refrigeración y congelación). Una vez transcurrido el tiempo de almacenamiento se determinaron humedad, textura (dureza y cohesividad) y microestructura de las masas sometidas a las mismas condiciones de cocimiento y/o calentamiento y enfriamiento. Los resultados indicaron que en todos los casos la humedad disminuye respecto a la muestra recién elaborada mientras que en el caso de la dureza las muestras crudas sometidas a congelación muestran una dureza significativamente mayor a lo observado en el resto de los tratamientos. En lo que respecta a la cohesividad, las muestras crudas sometidas a congelación y las muestras cocidas y congeladas resultaron significativamente más cohesivas que las muestras sometidas a los otros tratamientos. Las fotografías obtenidas mediante el uso de un microscopio estereoscópico muestran cierto comportamiento que apoya los resultados anteriores. Finalmente, existe una correlación positiva entre la humedad y la cohesividad de las muestras.

Palabras clave:

Tamales, Almacenamiento; Masas Cocidas; Masas Semicocidas; Masas Crudas, Textura, Microestructura.

ABSTRACT

In this work, nixtamalized corn masa (raw, half-steam baked, steam baked) storage time effect under different temperatures (refrigerated and frozen) were evaluated. Once the storage time was completed, moisture, texture (hardness and cohesiveness) and microstructure were evaluated under the same steam baking and/or warming and cooling conditions. Results showed, in all treatments, moisture decreases when its compared to freshly steam baked masa while raw frozen samples shows a significative higher hardness than the other treatments. Regarding cohesiveness, raw frozen samples and steam baked frozen samples were significantly more cohesive that the other two treatments. Images obtained from a stereoscopic microscope show certain behavior that supports the results previously discussed. Finally, there is a positive and significative correlation between moisture and cohesiveness of all the samples.

Keywords

Tamales, Storage; Steam baked masa; Half steam baked masa; Raw masa, Texture, Microstructure.

I. INTRODUCCIÓN

En México el maíz se consume principalmente de forma procesada y el principal producto es la tortilla, la cual representa uno de los productos más importantes dentro de la alimentación de la población. Tomando en cuenta el volumen de tortilla consumido por persona, el maíz se considera como principal fuente calórica y de otros nutrientes esenciales en la dieta del mexicano promedio. De acuerdo con estimaciones del CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social), en el medio urbano el consumo anual per cápita de tortilla es de 56.7 kilogramos y en el medio rural es de 79.5 kilogramos (CEDRSSAR, 2014).

En 2013 la población rural mexicana ascendió a 28.4 millones de personas y la urbana a 90 millones (Cervera Flores y Rangel González, 2015), se puede estimar el consumo anual de tortilla en 7.4 millones de toneladas, que para producirse requirieron 5.0 millones de toneladas de maíz grano, estimación hecha a partir de un rendimiento de 1.48 kilogramos de tortilla por uno de maíz. A este requerimiento habría que sumarle el maíz grano que la población rural consume, que fue estimado por CONEVAL en 25.6 kilogramos por persona, que multiplicado por la población rural resulta en 728 mil toneladas (CEDRSSAR, 2014).

A estas cifras se adiciona un consumo de la población urbana de cereales preparados de 1.2 kilogramos por persona, que asumiendo que sean preparados con maíz, resulta en 108 mil toneladas; la suma total de estas estimaciones del consumo de maíz asciende a 5.8 millones de toneladas. Considerando a las ya mencionada, otras formas de consumir el maíz, como son los atoles, tamales y botanas, se puede estimar este consumo en un 25 por ciento adicional a la suma mencionada, lo cual arroja que el consumo del maíz en la alimentación asciende a 7.3 millones de toneladas (CEDRSSAR, 2014). Lo anterior indica la importancia económica y cultural del maíz y por otro lado, resalta el hecho de que si bien la tortilla es el producto obtenido a partir de este cereal con el mayor consumo, existen otros productos derivados de la industrialización del mismo que representan un amplio potencial para diversificar la transformación y el consumo de maíz. Tal es el caso de los tamales, que al formar parte de la dieta del mexicano, han incrementado su consumo en los últimos años, por lo que también la instalación de grandes establecimientos y franquicias que producen hasta 20 mil piezas al día, mientras que los puestos de la calle venden entre 150 y 300 piezas en cada jornada, suficientes para lograr hacer un negocio sustentable si se toma en cuenta que la producción de un tamal tiene un costo promedio de 5 pesos y que se vende entre 8 y 20 pesos (Informador, 2015).

El tamal es un alimento antiguo y tradicional de la dieta de la familia mexicana. Es un platillo común en el desayuno que se ofrece en festejos religiosos y civiles. Es también un antojito de la cocina mexicana. El que gusta de este producto, disfruta de una extensa gama de formas de elaboración: poblanos, oaxaqueños, veracruzanos, chiapanecos, sinaloenses y muchos más. No sólo cada Estado de la República Mexicana presenta formas particulares de elaborar sus tamales, sino aún dentro de cada Estado se dan diferentes formas regionales de elaboración de tamales.

El tamal, ya sea en hojas de plátano o en hojas de maíz, se come caliente, acompañado con café, leche o atole (leche hervida con harina de maíz, además de otros ingredientes). En los establecimientos comerciales, se sirven acompañados de salsas roja o verde, frijoles, crema, mole, entre otros. Por otro lado, el tamal es uno de los platillos típicos de la cocina mexicana en el ámbito internacional (Ortega Orozco, 2001). El consumo de tamales se da generalmente por las mañanas, en el desayuno o el almuerzo y la época de mayor comercialización de este producto son los fines de semana, pero el pico de la demanda sucede en el día de la Candelaria (2 de febrero), los días de Muertos (1 y 2 de noviembre), las fiestas Patrias (15 y 16 de septiembre), Navidad (24 de diciembre) y Año Nuevo (31 de diciembre).

II. OBJETIVOS

Objetivo General

Analizar el efecto que tiene la temperatura y el tiempo de almacenamiento sobre la humedad, textura y microestructura de masas crudas, precocidas y cocidas de maíz nixtamalizado (tamales).

Objetivos específicos

- Someter a congelación masa cruda y precocida de tamal, así como tamales cocidos, tomando muestras a través del tiempo de almacenamiento y sometiéndolas a cocimiento o calentamiento según sea el caso.
- Determinar la humedad, textura (dureza y cohesividad) y los cambios microestructurales de los tamales producidos a partir de las muestras congeladas.
- Someter a refrigeración tamales cocidos, tomando muestras a través del tiempo y evaluar humedad, textura (dureza y cohesividad) y cambios microestructurales de los mismos.
- Determinar el tiempo y temperatura óptimos de almacenamiento que mantienen, sin diferencias significativas, las características de tamales refrigerados y congelados respecto de los tamales recién cocidos.

III. HIPÓTESIS

La temperatura y el tiempo de almacenamiento, así como el grado de cocimiento de masas de maíz nixtamalizado afectan significativamente la textura, humedad y microestructura del tamal cocido.

IV. JUSTIFICACIÓN

En México el consumo de productos elaborados a base de maíz es de gran importancia cultural y económica. Por otro lado, la tortilla es el producto elaborado a base de maíz con el mayor consumo en México. Después de la tortilla, uno de los productos con mayor consumo es el tamal. Si bien es un producto de consumo cotidiano, durante las diferentes festividades tradicionales, y de acuerdo con un sondeo realizado por la Dirección General de Estudios sobre Consumo (DGEC) de Profeco, la demanda aumenta en promedio hasta en un 200% en comparación con el consumo diario (PROFECO, 2010).

Aun cuando recientemente se ha observado un incremento en la producción y consumo de tamales, los comerciantes se resisten a ser absorbidos por las cadenas transnacionales de comida rápida. La compra de tamales se realiza a pequeña escala en establecimientos que lo elaboran de manera tradicional. Aunado a lo anterior, las características de elaboración y consumo ofrecen serias dificultades para su industrialización. (Ortega Orozco, 2001).

La elaboración de tamales requiere de largas jornadas, dado que muchos de los pequeños y micro productores preparan su propia masa y en época de aumento en la demanda la producción no resulta suficiente, por lo que es necesario diseñar un método para asegurar la oferta de tamales por productor, lo cual imposibilita la producción de grandes cantidades (Ortega Orozco, 2001). Por otro lado, el carácter tradicional de los tamales hace que el consumidor prefiera el producto recién preparado en lugar de consumirlo recalentado debido a que generalmente el producto recalentado no conserva las características de textura de un tamal recién cocido. De esta manera, es conveniente proponer opciones que permitan su elaboración de manera anticipada y un posterior almacenamiento que permita consumir el producto sin comprometer las características que el consumidor demanda. Una de las opciones de almacenamiento más utilizada en la industria alimenticia es la congelación, lo que permite aumentar la vida de anaquel y conservar mejor las características de los alimentos (Öhgren et al., 2016), por lo que en este trabajo se propone la congelación y la refrigeración para almacenar masas de maíz nixtamalizado con el fin de ser utilizadas posteriormente.

Dado lo anterior, el objetivo del presente trabajo es evaluar las características de tamales elaborados a partir de masas crudas y precocidas sometidas a congelación y compararlas con las características de tamales cocidos-refrigerados y cocidos recién hechos.

V. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1. El maíz

El maíz (*Zea mays* L. ssp. *mays*), perteneciente a la familia de las gramíneas, es una planta anual de gran talla, dotada de un amplio sistema radicular fibroso. Es originario de América donde es ampliamente cultivado (León y Rosell, 2007). Constituyó la dieta fundamental de las civilizaciones primitivas y actualmente es fundamental en los países hispanoamericanos y en algunas partes de África (Pérez Soto et al., 2016).

El maíz se cultiva en ambientes muy diversos y las variedades se pueden clasificar en maíz de zona tropical y maíz de zona templada de acuerdo con su ciclo y su sensibilidad al fotoperiodo. Las variedades también están asociadas en cinco grupos: *Amylacea*, *Everta*, *Identata*, *Indurada* y *Saccharata*, de acuerdo con la morfología del grano y composición del endospermo (Figura 1). En México se producen diferentes variedades de maíz los cuales tienen una composición promedio del 87% de fibra dietética, la que a su vez está formada fundamentalmente por hemicelulosa (67%), celulosa (23%) y lignina (0.1 %) (Cuadro 1). Burge *et al.*, 1989 menciona que el endospermo, en cambio, contiene un nivel elevado de almidón (87%), aproximadamente 8% de proteínas y un contenido de grasas crudas relativamente bajo. Es un cultivo importante en México por varias razones: forma parte de la dieta de los mexicanos y se consume principalmente como tortillas, frituras y tamales, además se utiliza en la elaboración de productos como el almidón, fructosa, aceites, biocombustible y alimento animal, entre otros. En México, la población satisface entre el 60 y 75% de sus necesidades de energía, el 60% de las proteínas y 87% del calcio con el maíz, que generalmente se consume en productos de maíz nixtamalizado (Pérez Soto *et al.*, 2016).

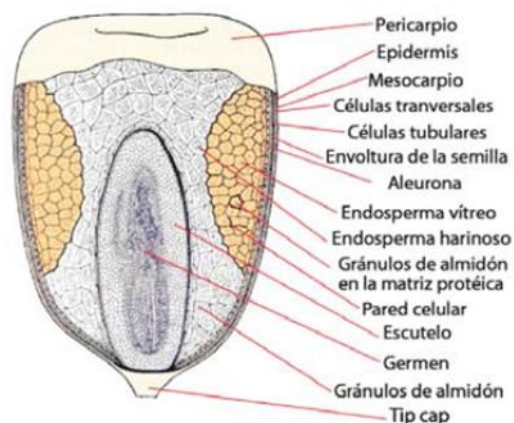


Figura 1. Sección transversal del grano de maíz (León y Rossell, 2007)

Cuadro 1. Composición química proximal de las partes fundamentales (en % de materia seca) y del grano entero blanco y amarillo de maíz. (León y Rossell, 2007).

Componente	Pericarpio	Endospermo	Germen	Grano blanco	Grano amarillo
Proteínas	3.7	8.0	18.4	9.1	12.5
Extracto etéreo	1.0	0.8	33.2	4.2	5.6
Fibra cruda	86.7	2.7	8.8	1.7	2.7
Cenizas	0.8	0.3	10.5	1.3	1.6
Almidón	7.3	87.6	8.3	83.7	77.6
Azúcar	0.34	0.62	10.8		

5.2. Nixtamalización

El proceso tradicional de nixtamalización consiste en un tratamiento termo-alcalino mediante el cual los granos de maíz se cocinan y se sumergen en una solución de hidróxido de calcio sobresaturado. Durante el proceso de cocción alcalina, hay un gradiente de concentración de calcio en toda la estructura del pericarpio de los granos de maíz. Mientras el maíz reposa, los granos absorben agua y se ablandan debido a la distribución del agua. Durante el tiempo de remojo, varios mecanismos de acumulación, difusión y percolación ocurren en el núcleo del maíz. Durante esta etapa, los cambios alteran la cristalinidad, así como la reasociación de las moléculas de almidón (Valderrama Bravo, *et al.* 2014). El nixtamal (del náhuatl *nextli*, que significa cenizas y *tamalli*, masa cocida de maíz) que es el término azteca para nombrar al maíz que ha sido desgranado manualmente, cocido en una solución de cal, durante 1 a 3 h y reposado durante toda la noche. Después del reposo, se elimina el *nejayote* (agua de cocción) y se llevan a cabo de dos a tres lavados manuales al nixtamal. En esta etapa se elimina el material flotante como son el maíz dañado, las impurezas, parte del pericarpio del grano, el pedicelo y un poco de germen. Los granos cocidos se muelen en molinos de piedra para obtener la masa húmeda (León y Rosell, 2007). La cantidad de calcio incorporado durante la nixtamalización en los granos de maíz es importante desde un punto de vista nutricional, dada la importancia del calcio en las dietas humanas (Valderrama Bravo, *et al.* 2014).

5.3. Harina de nixtamal

La naturaleza altamente hidratada del nixtamal en la producción de masa facilita la liberación de los gránulos de almidón durante la molienda a partir de la matriz proteica (Sahai, Buendía y Jackson, 2001).

Durante la nixtamalización, pequeñas cantidades de gránulos de almidón son gelatinizados y la mayor gelatinización se debe a la fricción durante la molienda, durante la cual también se dispersan parcialmente los gránulos hinchados dentro de la matriz, los que actúan como una unión entre las partículas de masa (Bello Pérez *et al.*, 2002).

Mucho almidón gelatinizado (debido a un cocimiento excesivo) produce una masa pegajosa que es difícil de manejar. Por otro lado, poco cocimiento produce una masa sin cohesividad. Sin embargo, la molienda por sí misma no puede ser utilizada para gelatinizar el almidón en un nixtamal que no fue bien cocido ya que requiere suficiente agua y llegar a la temperatura de gelatinización. Si contiene suficiente agua, el calor de la molienda ayuda a gelatinizar, si no contiene suficiente agua, el almidón seco no gelatiniza aun cuando la temperatura aumente. Ésta es la principal diferencia entre la masa obtenida con el proceso tradicional y la usada para elaborar harinas de maíz nixtamalizado (HMN) (Contreras *et al.*, 2014).

En consecuencia, es importante desarrollar las propiedades reológicas y texturales de masa obtenida con nixtamal como la cohesión y la adhesividad. La masa debe mantenerse fácilmente cohesiva para permitir la formación de una lámina y, por lo tanto, favorecer su corte y configuración como discos redondos en el caso de las tortillas o para adquirir otras formas como en el caso de los tamales.

5.4. Propiedades funcionales del almidón de maíz

Las propiedades funcionales de la mayoría de los productos de maíz (*Zea mays* L), entre ellos la tortilla y los tamales, están fuertemente influenciadas por el almidón, a diferencia de lo que ocurre en otros cereales como el trigo (*Triticum aestivum* L), cuyas características están dadas principalmente por las proteínas (Salinas Moreno *et al.*, 2003).

En el maíz, el almidón es el componente mayoritario y el que, dadas sus múltiples propiedades funcionales, tiene amplio uso en la industria del proceso de alimentos: ligante, enturbiantes, formador de películas, gelificante, glaseante, humectante, estabilizante, texturizante y espesante, entre otras. Es por ello que, el almidón de maíz posee numerosas aplicaciones, que se amplían por modificación química o mejoramiento genético.

Los gránulos de almidón intactos no son solubles en agua fría, pero pueden embeber pequeñas cantidades de agua en forma reversible, ocasionando un pequeño hinchamiento. Sin embargo, cuando se incrementa la temperatura, las moléculas vibran vigorosamente, rompiéndose las interacciones intermoleculares y permitiendo así la formación de puentes de hidrógeno con el agua. La penetración de agua al gránulo provoca la pérdida de la cristalinidad, conociéndose este fenómeno como gelatinización del almidón. Normalmente la gelatinización se produce en un

estrecho margen de temperatura, gelatinizándose primero los gránulos de mayor tamaño y por último los más pequeños. Durante la etapa de gelatinización los gránulos sufren un gran hinchamiento. Como consecuencia de ello, una suspensión de almidón en agua fría posee una baja viscosidad; por calentamiento se obtiene una pasta viscosa en donde casi toda el agua ha penetrado en los gránulos. En este estado, mediante agitación, los gránulos son fácilmente desintegrados por friccionarse unos contra otros, lo cual provoca una disminución de la viscosidad de la pasta.

En la fase inicial de la gelatinización las moléculas de amilosa, difunden hacia y a través de la membrana superficial y pasan así a la solución extragranular. Por enfriamiento rápido de la pasta de almidón generalmente se produce un incremento de la viscosidad, mientras que en ausencia de agitación se produce la formación de un gel. Los geles tienden a sufrir retrogradación. Se designa con este término a la intensa e irreversible transición desde el estado soluble o disperso a otro insoluble, no hinchado y microcristalino, que puede ser también alcanzado por enfriamiento lento del gel formado. La tendencia a la retrogradación se ve incrementada por bajas temperaturas, pH neutro, altas concentraciones y ausencia de compuestos tensoactivos (León y Rosell, 2007).

La formación de geles y la retrogradación de amilosa y amilopectina en dispersiones acuosas o soluciones son de gran relevancia para la industria alimentaria, ya que son las principales razones del deterioro de los productos ricos en almidón, deterioro que se ve reflejado en cambios de textura durante su almacenamiento (Salinas Moreno *et al*, 2003).

5.5. Procesamiento y usos de las harinas de maíz nixtamalizado

Las harinas de maíz son clasificadas según su granulometría, obtenidas de la molienda en seco del grano donde se obtiene un gran número de productos intermedios: sémola o polenta de diferente tamaño de partícula, sémola en escamas y trozos de maíz o *grits*.

Las harinas se utilizan en muchas recetas tradicionales según los hábitos culinarios de cada país (Cuadro 2) (León y Rosell, 2007).

Cuadro 2. Alimentos tradicionales de Iberoamérica fabricados con harina y sub-productos de la molienda seca de maíz (León y Rosell, 2007).

Alimento	País	Proceso
Bro, boroma, brona	Portugal, España	Pan elaborado con harina de maíz mezclada con trigo o centeno, masa madre y otros ingredientes.
Tortillas, tacos, enchiladas	América Central, México	Discos de masa de maíz cocidos en agua con cal (nixtamal) horneados sobre una superficie caliente (plancha).
Arepas y derivados (hallacas, empanadas)	Venezuela, Colombia	Discos de masa de maíz horneados sobre una superficie caliente (plancha) rellenos con carne, queso, aguacate, zanahorias, etc.
Atole	América Central, México	Harina de maíz cocida y mezclada con leche, azúcar y aromas. Tiene apariencia lechosa.
Pinole	América Central, México	Similar al atole, pero hecho con harina tostada, tiene textura granular y sabor fuerte.
Mingau	Brasil	Sémola (grits) cocida en agua para producir gachas o poleas similares al atole.
Pamonha	Brasil	Masa de maíz verde con leche, azúcar o sal, cocida en las brácteas de la mazorca.
Hanchi	Sudamérica	Pudin de sémola (o grits) cocida en agua con azúcar y frutos deshidratados.
Polenta	Sudamérica	Sémola o grits cocida en agua hasta gelatinización, rellena con salsa de tomate y queso o carne.
Tostadas, totopos	América Central	Trozos de tortilla fritos de textura crocante.
Couscous, cuzcuz	Brasil	Masa cocida al vapor en varias etapas con intervalos de trituración para evitar la agregación, se comercializa deshidratada.
Tamales	América Latina	Masa de maíz con sal y especias rellena con frijoles, carne o pescado, envuelta en la hoja de maíz (o chala) u hoja de plátano, cocida al vapor.
Rosquillos, rosquetes, quesadillas	América Central, México	Masa de maíz elaborada con grasa, queso o crema, en forma de palillos horneados.
Pozol	América Central, México	Bebida fermentada elaborada con masa de maíz y otros ingredientes como el cacao molido (Chorote).
Chicha morada	Perú, Bolivia	Bebida fermentada hecha con harina de maíz azul.
Tesquino	México	Bebida fermentada similar a la cerveza.

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 como son los tacos, tostadas, enchiladas, tamales, bebidas y, recientemente, las botanas (León y Rosell, 2007).

Una derivación importante del uso de la harina nixtamalizada es la elaboración de tamales (del náhuatl *tamalli*), cuyo origen prehispánico está documentado. Se considera un producto originario de México que se consume en Centroamérica y algunos países de América del Sur. Son una especie de “bollos” de masa de maíz nixtamalizado, rellenos de diferentes guisos de carne o vegetales y en ocasiones con frutas, de tal manera que pueden ser salados o dulces. Se envuelven en hojas de maíz o de plátano y se someten a cocción al vapor en ollas especiales, denominadas “tamaleras”. Se conocen más de 3000 tipos de tamales y su consumo está diseminado en amplias regiones de América. Los tamales se expenden principalmente en puestos ambulantes y su industrialización es baja.

5.5.2. El origen del tamal

El origen del tamal se remonta a la época precolombina y la costumbre de comerlo se practica en toda Centroamérica y parte de América Latina entre ellos México, ya que es el más representativo en cuanto a comida típica se refiere.

Dicho platillo es servido en las celebraciones importantes y por ende en las comidas más especiales. Hoy por hoy el consumo de tamales se ha extendido a los fines de semana además de los días especiales con una receta muy similar, haciendo la diferencia solo algunos ingredientes, lo cual lo hace muy variado (Hernández Castañeda, 2009).

5.5.3. Los tamales en México

En ningún país existe tanta diversidad de tamales como en México. Cada región y estado tiene diferentes tipos de tamales, se calcula que existen más de 3,000 en todo el país.

- Tamales oaxaqueños. Tradicionalmente elaborados con masa de maíz y envueltos en hoja de plátano u hoja de maíz (aunque son menos comunes). Generalmente de cerdo o de pollo

con mole negro, pueden ser también de carne de iguana, rellenos de mole amarillo y chipilín.

- Zacahuil. Éste es, tal vez, el tamal de mayor formato y volumen. Conocido también como *tamal de fiesta*, es propio de la región Huasteca, que abarca las zonas montañosas de los estados mexicanos de San Luis Potosí, Tamaulipas, Veracruz, Hidalgo y Querétaro, por los que atraviesa la Sierra Madre Oriental. Este tamal, que se prepara en una tina de metal, puede llegar a medir tres metros y pesar hasta 50 kilos. Por su tamaño, se cuece en un horno horizontal de tierra (barro) calentado con brasas de leña. La masa, que es de maíz martajado (maíz molido con un tamaño de partícula mayor al de la molienda tradicional para la producción de tortillas) se pinta de un ligero color rojo con un polvo de chile seco. Regularmente se rellena de carne de puerco o pollo, aunque esto puede variar. Es muy común encontrarlo en las plazas de los pueblos desde muy temprano, los días sábados y domingos. Es un platillo que se sirve en porciones abundantes en un plato hondo, sobre una hoja asada de plátano, y se come con cuchara. Se acompaña con chiles jalapeños, filetes de cebolla y rebanadas de zanahorias, todo esto encurtido en agua con vinagre y especias. Como se trata de un platillo que regularmente se toma como desayuno, es común acompañarlo con *café de olla*, que es un café negro endulzado con piloncillo y canela.
- Tamales yucatecos. Envueltos en hoja de plátano, se rellenan con la masa de maíz y cochinita pibil. La cochinita pibil es un guiso hecho de carne magra deshebrada de cerdo, en un caldillo de axiote, jugo de naranja agria y otras especias.
- Corundas y tamales de Michoacán. Las corundas son originarias del estado de Michoacán, pero conocidas por todo el occidente de México, como en los estados de Jalisco y Colima. La palabra *k'urhunda* proviene del idioma purépecha, típico de los indígenas de la región, y se traduce en castellano como tamal. Las corundas son sencillas, se hacen con verduras, queso y tequesquite revueltos con la masa, se envuelven en la hoja de la planta del maíz y se le da forma triangular cónica o piramidal. Además, son generalmente más pequeñas que los tamales típicos del resto del país. El maíz usado para la masa muchas veces ha sido hervido en cenizas en lugar de cal. Se acostumbra servirse con crema y salsa verde o roja. Es el componente principal de la *sopa de corundas*, y acompañamiento de otro platillo típico, el churipo.

- Tamales en el Noreste. Son más delgados que los del resto del país. Elaborados con masa de maíz, en hoja de mazorca de la misma planta y con guisado de carne. La masa se hace al moler granos de maíz cocidos con cal (nixtamal), luego se condimenta y se unta en hojas húmedas de maíz, se agrega el relleno de carne (por lo común de puerco, aunque también puede ser res o pollo), frijoles cocidos y queso o guisado de vegetales; se enrolla la hoja y se cuece.
- Tamales asturianos. La comunidad asturiana radicada en México creó un mestizaje culinario poco conocido para los mexicanos, dando forma a un nuevo tamal llamado “tamal español o asturiano”. La masa se prepara al igual que la masa del resto de los tamales, pero en este caso se le agrega el relleno de jamón serrano con carne de cerdo, aunque también puede llevar tocino, queso manchego y frijoles conocidos como fabas, se enrolla la hoja de maíz y se cuecen a vapor.
- Tamales sonorenses. Los tamales sonorenses son delgados y de mediano tamaño. La masa se muele, se condimenta y se cuece la carne con la cebolla y dos ajos. Los chiles rojos o guajillos se limpian, se remojan en agua caliente y se licuan. Se unta en hojas húmedas de maíz, se le agrega el relleno con carne de cerdo, res, pollo o carne molida, con zanahoria y chícharos. Estos ingredientes son muy picosos y las hojas de maíz muchas veces quedan pigmentadas con el color del chile.
- Tamales sinaloenses. Además de los típicos tamales sinaloenses, en el estado de Sinaloa se cocinan otros tamales típicos, como los *tamales tontos*, hechos únicamente de masa, sin carne u otro relleno; y los *tamales barbones*, típicos de la ciudad costera de Escuinapa, hechos de camarón y en donde la cabeza y las 'barbas' del camarón salen del tamal.
- Tamales dulces y de elote. Los tamales dulces, están hechos con masa de maíz endulzada y rellenos de miel, mermelada de guayaba, fresa, piña, membrillo u otra fruta. Se acostumbra en los cumpleaños de los niños y generalmente son de color *rosa mexicano*, parecido al magenta, aunque en raras ocasiones se pintan de color amarillo, verde limón o morado para darles una seña de identidad mexicana. Los *tamales de elote* también son de sabor dulce, y están rellenos únicamente de masa de maíz endulzada, envueltos con hojas verdes de elote, a veces contienen algunos granos de elote. (Tamales Emporio, 2012).

Dado que es un alimento representativo de la cocina tradicional mexicana, es deseable que no pierda su carácter tradicional-artesanal, buscando alternativas que permitan su elaboración a grandes escalas sin comprometer la calidad de dicho producto. De ser posible, se podría satisfacer la demanda constante del producto sobre épocas de mayor consumo, dado que es un producto que se consume inmediatamente después de ser elaborado porque sus características de textura son muy variables después de ser sometido a almacenamiento y posterior recalentado. Este último punto se considera fundamental en la aceptación del producto por parte del consumidor dado que la compra de productos elaborados a base de masas es dependiente del sabor y de la textura de estos.

El estudio de los ingredientes, las variables y condiciones de proceso durante la elaboración de tamales, es el eje central para lograr el desarrollo de las técnicas adecuadas para su conservación y aumento de su vida de anaquel. Lo anterior, sin modificar significativamente las características respecto de un producto recién elaborado.

Dado lo anterior, en el presente trabajo se pretende evaluar diferentes condiciones de almacenamiento y procesado de la masa con el fin de lograr características de textura similares a las de los tamales recién cocidos.

5.6 Vida útil y métodos de conservación

La vida útil de un alimento se define como el tiempo finito después de su producción en condiciones controladas de almacenamiento, en las que tendrá una pérdida de sus propiedades sensoriales y fisicoquímicas, y sufrirá un cambio en su perfil microbiológico (Gómez, 1999).

Entre los factores que pueden afectar la duración de la vida útil de un alimento se encuentran el tipo de materia prima, la formulación del producto, el proceso aplicado, las condiciones sanitarias del proceso, envasado, almacenamiento y distribución y las prácticas de los consumidores.

La composición de las materias primas es determinante para las reacciones de deterioro que se llevarán a cabo en el producto. (Carrillo y Reyes, 2013).

Durante su almacenamiento y distribución, los alimentos son expuestos a una gran variedad de condiciones ambientales. Factores tales como la temperatura, la humedad, el oxígeno y la luz pueden desencadenar varios mecanismos de reacción que pueden conducir a la degradación del alimento. Como consecuencia de estas reacciones los alimentos pueden alterarse causando problemas que los hacen no aptos para el consumo (Gómez, 1999).

5.6.1. Métodos de conservación

Dentro de la industria alimenticia uno de los grandes problemas es mantener las características sensoriales y microbiológicas adecuadas para el consumo humano el mayor tiempo posible.

Con el fin de retrasar los efectos negativos y aumentar su vida útil, se han aplicado diferentes aditivos y métodos tecnológicos.

5.6.1.1. Refrigeración y congelación

Uno de los métodos posibles es usar almacenamiento congelado. La congelación convierte el agua en un compuesto inactivo y esto, junto con la baja temperatura retarda el crecimiento de los microorganismos y previene el deterioro químico y enzimático (Majzoobi, Farahnaky, y Agah, 2011). Por otro lado, la refrigeración mantiene el agua en un estado líquido facilitando su separación debido a la diferencia de humedad entre el medio y el producto. También proporciona

las condiciones para el desarrollo de microorganismos, si el producto permanece por un largo periodo bajo este tratamiento. Sin embargo, la refrigeración no genera un daño mayor a la estructura de los alimentos, tal y como lo hace la congelación. Ya que durante la congelación se forman cristales de agua que dañan la estructura de los alimentos. (Vázquez *et al.*, 2016)

La refrigeración y la congelación son métodos de conservación ampliamente utilizados en la industria de alimentos. Si bien la refrigeración y la congelación retardan el deterioro de los alimentos, deben seguirse ciertas indicaciones para utilizar estos métodos, por otro lado, un almacenamiento inadecuado o excesivo puede generar deterioro de igual manera (Labuza, 2000).

5.6.1.2. Masas congeladas

La congelación es una de las técnicas que se destaca como método de conservación de los alimentos. Este método consiste en someter a los alimentos a muy bajas temperaturas en un periodo de tiempo corto. La congelación de masas consiste en la separación del agua de la masa, como resultado se forman cristales de hielo que provocan cambios microestructurales en los alimentos. Generalmente, grandes cristales de hielo son formados por un proceso de congelamiento lento, mientras que un congelamiento rápido, forma una gran cantidad de pequeños cristales. Por lo tanto, un congelamiento rápido, promueve una cristalización de hielo más uniforme, lo cual induce una alta calidad del producto terminado. (Da Mota *et al.*, 2005)

La aplicación de frío a masas es un método que puede ayudar a resolver diversos problemas que ocurren durante su almacenamiento y comercialización. Las masas congeladas tienen la capacidad de permanecer congeladas durante largos periodos de tiempo y no presentar variaciones de calidad en el producto después de aplicar un tratamiento de calor. (Öhgren *et al.*, 2016).

5.6.1.2.1. Producción de masa congelada

El proceso para la producción de masas congeladas tiene como objetivo dañar lo menos posible la microestructura de la masa. La masa puede congelarse después del mezclado y en algunos casos

amasado, justo un paso antes de la aplicación de calor (Da Mota *et al.*, 2005). La masa se prepara y se transfiere inmediatamente a una bolsa o contenedor y se guarda en el congelador.

Algunas masas sin hornear o “crudas” tienen una respuesta positiva al proceso de congelación y constituye una alternativa viable si se desea conservar por un largo periodo el producto. La congelación de masas proporciona un excelente método de conservación para ciertos productos que, de otra manera, solo permanecen frescos o aceptables un corto periodo de tiempo. (Huang y Miskelly, 2016).

5.6.1.3. Masas precocidas

Las masas precocidas son sometidas a un tratamiento de calor incompleto o se interrumpe cuando las características del producto son ideales para su almacenamiento. Esto permite realizar su consumo durante un periodo de tiempo extendido, asegurando la integridad y calidad del producto. (Vázquez *et al.*, 2016)

Los productos horneados o cocidos al vapor están caracterizados por su estabilidad a corto plazo y limitada vida útil. Por lo que la búsqueda de nuevas alternativas para su conservación tales como la realización de masas precocidas que permitan un incremento significativo en la vida útil de los productos han tratado de impulsar la investigación dentro de este campo. (Carrillo *et al.*, 2014).

5.7. Textura en productos cocidos al vapor

La textura es uno de los atributos primarios que junto con el color, sabor y olor conforman la calidad sensorial de los alimentos, es la característica de calidad más apreciada por el consumidor. El análisis del perfil de textura es un excelente procedimiento instrumental, que consiste en someter muestras de un producto a una de doble compresión respecto a su altura inicial, simulando el esfuerzo de la mandíbula al morder sin llegar a romper la matriz del alimento; la magnitud de los parámetros medidos será influenciado por la tasa de deformación y por tanto para que puedan proveer información objetiva y confiable es necesario condiciones estandarizadas. (Torres *et al.*, 2015)

La dureza, se refiere a la fuerza máxima requerida para comprimir un alimento, se expresa en unidades de Newton (Akwetey y Knipe, 2012). La cohesividad representa la fuerza con la que están unidas las partículas de un alimento, o el límite hasta el cual se puede deformar un material antes de romperse, es adimensional [Benedini *et al.*, 2012].

Varios son los factores que pueden influir en las características texturales de los productos cocidos al vapor, sin embargo, no existen investigaciones relacionadas con el perfil de textura de este producto luego de la cocción, por lo que los resultados hallados en esta investigación ayudarían a entender los cambios en la textura de este tipo de productos.

5.8. Microestructura de alimentos

La tecnología alimentaria es un intento controlado de preservar, transformar, crear o destruir una estructura que ha sido impartida por la naturaleza o el procesamiento. En la actualidad, los científicos e ingenieros de alimentos cuentan con muchas técnicas de microscopía e imagenología disponibles para investigar la estructura de los alimentos y diseñar racionalmente los procesos que mejoran la calidad de los productos. (Aguilera, 2005).

En los últimos 10 años, el análisis de imagen se ha convertido en una herramienta sumamente útil en el estudio de productos alimenticios en estado sólido con el fin de conocer la arquitectura interna, su forma y microestructura, a través de parámetros cuantitativos que permiten describir adecuadamente la complejidad intrínseca de estos materiales. (Aguilera, 2000).

Los productos de panificación y en específico sus características internas no han sido la excepción; sin embargo, hasta la fecha los trabajos realizados en esta área se enfocan exclusivamente en el estudio de la miga de pan blanco. (Mariscal *et al*, 2008).

Comúnmente el análisis de la calidad de la miga se ha reportado en pan blanco, a través de un proceso empírico basado en la evaluación visual por parte del panadero o técnico en panificación, y durante la cual se determina el grado de compactación de la miga (abierta o cerrada), su uniformidad (regular o irregular), su forma (redonda, ovalada o elongada) y el grosor de la pared (Pylar, 1988).

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

Con el fin de evaluar el efecto de la temperatura sobre masas crudas, precocidas y cocidas se elaboró masa de maíz nixtamalizado comenzando a partir de la nixtamalización del grano con el fin de producir harina. Una vez obtenida la harina se siguió un procedimiento previamente estandarizado para la elaboración de los tamales el cual se señala en la Figura 2. La materia prima necesaria para la realización de la parte experimental se adquirió con proveedores locales y el equipo, material y reactivos estarán disponibles en el laboratorio de Textura de Alimentos, el Taller Agroindustrial, la Planta Piloto y el Herbario de la Facultad de Ciencias Agrícolas

6.1. Materiales

Olla de acero inoxidable, molino para grano (VICOSI 200, Pascale #105, Santo Domingo, Coyoacán), balanza analítica (Scale Clipart Electronic Balance), tamices del número 20, 40 y 60, escurridores, charolas de acero inoxidable, vaporera para tamales, refrigerador, horno de secado con circulación de aire (incluir datos), texturómetro (analizador de textura TA.XT Plus), microscopio (microscopio Leica M-80), equipo de cómputo. Maíz blanco, hojas secas de maíz, manteca de cerdo comercial (manteca de cerdo JC fortes), agua destilada, hidróxido de calcio, bicarbonato de sodio, cloruro de sodio (sigma).

6.2. Métodos

6.2.1 Elaboración de tamales

La elaboración de tamales se realizó siguiendo un proceso previamente estandarizado en un trabajo de Servicio Social realizado por dos estudiantes de la Lic. Ing. Agrónomo Industrial en el semestre 2016B en el Laboratorio de Textura de Alimentos. La Figura 2 muestra un diagrama del proceso.

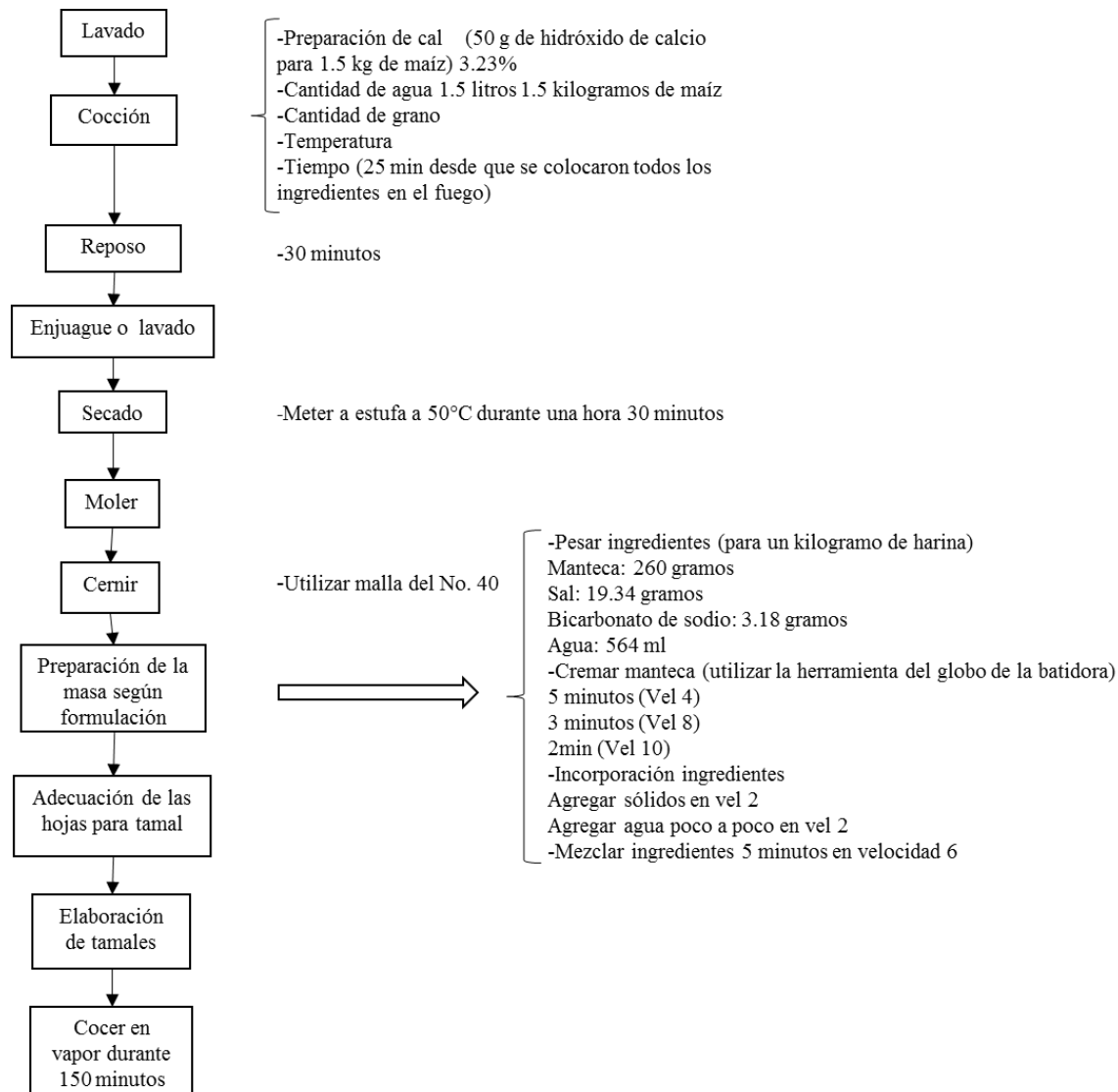


Figura 2. Procedimiento de elaboración de tamales (propuesta del laboratorio de Textura de Alimentos, Facultad de Ciencias Agrícolas, UAEM).

6.2.2. Evaluación de textura

La evaluación de la textura de los tamales se llevó a cabo con la ayuda de un texturómetro modelo TAXT Plus (Texture Analyser. Stable Micro Systems, Surrey, UK) utilizando una sonda de aluminio cilíndrica de 2.54 cm de diámetro (SMS P/25). Los tamales recién elaborados (muestra control) se dejaron reposar durante 30 minutos para que alcanzaran la temperatura ambiente. Tras el tiempo de almacenamiento indicado en los tratamientos, se calentaron (en el caso de las muestras cocidas), se dio término al tiempo de cocción (en el caso de las muestras precocidas) o se sometieron a cocimiento (en el caso de las muestras crudas) y se dejaron en reposo de la misma manera que la muestra control antes de evaluar la textura. Para cada uno de los tamales se determinaron textura (dureza y cohesividad) bajo la metodología propuesta por Díaz-Ramírez *et al.* (2016) adaptándola a este tipo de productos, dado que la metodología utilizada reporta muestras de panadería (pan esponja). Un ejemplo de perfil de textura se muestra en la Figura 3 donde la dureza (medida en N) corresponde al punto más alto del primer pico y la cohesividad es el resultado del cociente del Área 2 / Área 1 (adimensional). El texturómetro se calibró utilizando un programa donde se emplearon, las siguientes condiciones: velocidad Pre-test: 1 mm/s, velocidad Test: 1 mm/s, velocidad Post-test 5 mm/s, Target mode distance: 10 mm. Las muestras de tamal se colocaron sobre una placa metálica.

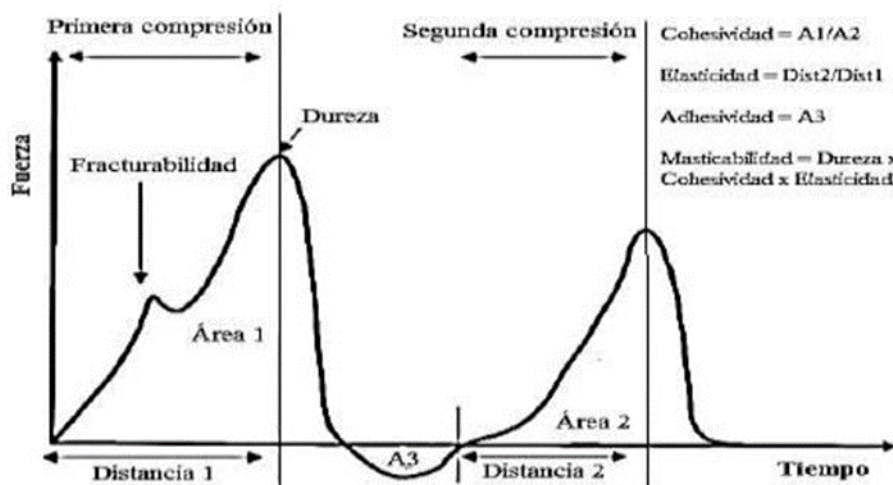


Figura 3. Perfil de textura típico (Mochizuki, 2001).

6.2.2. Evaluación de la microestructura

La microestructura de los tamales obtenidos se evaluó mediante el uso de un microscopio estereoscópico marca Leica M-80 localizado. Las imágenes obtenidas corresponden a las muestras de todos los tratamientos evaluados por triplicado.

6.2.3. Determinación de humedad

La humedad de los tamales se determinó dejando enfriar durante 30 min las muestras recién elaboradas o recién calentadas. Una vez fríos, se determinó la humedad mediante el método descrito en la Norma Mexicana NMX – F – 083 - 1986. Estas determinaciones se realizaron por triplicado.

6.3. Análisis estadístico de los resultados

Con el fin de evaluar las diferencias entre los tratamientos (recién elaborado, crudo-congelado, precocido-congelado, cocido-refrigerado y cocido-congelado) se compararon los resultados obtenidos de las variables respuesta (humedad, dureza y cohesividad) mediante un diseño completamente al azar (Montgomery, 2009). Las imágenes obtenidas se relacionarán visualmente con los resultados de humedad y perfil de textura. Se realizará una correlación con el fin de determinar correspondencia entre variables evaluadas.

6.3.1. Tratamientos

Muestra Control (T0)

Tamales recién elaborados los cuales se dejaron enfriar fuera de la vaporera por 30 min antes de realizar las pruebas de humedad, textura y microestructura.

Crudos Congelados (CruCo)

En este tratamiento se elaboró la masa para tamales, se envolvió en hojas para tamal, se empacó en bolsas de plástico y se sometió a congelación a una temperatura de -15°C . Se sacaron del congelador 24 hrs antes de someterse a cocimiento para colocarse en refrigeración (1°C) y realizar su cocción en vaporera durante 150 min. Se dejaron enfriar por 30 min antes de realizar los estudios de humedad, textura, y microestructura.

Precocidos Congelados (PreCo)

En este tratamiento se elaboró la masa y se sometió a una cocción durante 75 minutos para su posterior almacenamiento en congelación a una temperatura de -15°C . Se sacaron del congelador 24 hrs antes de someterse a cocimiento para colocarse en refrigeración (1°C) y realizar su cocción en vaporera durante 75 min. Se dejaron enfriar por 30 min antes de realizar los estudios de humedad, textura, y microestructura.

Se consideró un cocimiento de 75 min ya que representa el 50% del tiempo establecido para un cocimiento suficiente durante las pruebas preliminares realizadas durante la estandarización del proceso.

Cocidos Congelados (CoCo)

Tamales preparados según la metodología estandarizada y sometidos a congelación a una temperatura de -15°C . Para realizar las pruebas de humedad, textura y microestructura, se

colocaron las muestras en refrigeración (1°C) 24 hrs antes de realizar las pruebas. Se realizó un calentamiento en vaporera durante 20 min y un enfriamiento posterior por 30 min para realizar las pruebas correspondientes.

Cocidos Refrigerados (CoRe)

En este tratamiento se llevó a cabo el procedimiento completo de preparación de los tamales, dejando enfriar por 30 min fuera de la vaporera antes de almacenarlos en condiciones de refrigeración a una temperatura de 1°C.

Los tiempos en los que se realizó el muestreo se señalan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Tiempos de almacenamiento de los diferentes tratamientos de masas de maíz nixtamalizado.

CruCo (días)	PreCo (días)	CoCo (días)	CoRe (días)
7	7	7	3
14	14	14	6
21	21	21	9
28	28	28	12
35	35	35	15
42	42	42	18
49	49	49	21
56	56	56	24
63	63	63	27

CruCo – Crudo Congelado; PreCo - Precocido Congelado; CoCo – Cocido Congelado; CoRe – Cocido Refrigerado.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Elaboración de tamales

Los tamales se elaboraron según un método previamente estandarizado que incluyó la nixtamalización de los granos de maíz. Este proceso permite la gelatinización de los almidones lo que incluye la retención de cierta cantidad de humedad que al final será mantenida por la harina obtenida después de la molienda de los granos. La humedad final de los tamales será el resultado de esta gelatinización previa y la gelatinización final del almidón al ser sometida la masa al cocimiento por vapor. En el caso de las muestras precocidas, se definió un tiempo intermedio de cocción que corresponde al 50% del tiempo de cocimiento del proceso estandarizado. En el caso de la masa cruda, la gelatinización del almidón corresponde únicamente al proceso de nixtamalización. El proceso de elaboración se muestra en la Figura 2 y las imágenes del mismo se muestran en la Figura 4.



Figura 4. Proceso gráfico de la elaboración estandarizada de tamales.

7.2. Determinación de humedad

Los resultados de humedad se muestran en la Figura 5 donde se observa un decremento en la retención de humedad a través de tiempo de almacenamiento para todos los tratamientos evaluados. Sin embargo, en el caso de los tamales cocidos-refrigerados, la velocidad de pérdida de agua es más rápida respecto del resto de los tratamientos. Este comportamiento puede verificarse mediante la pendiente de la recta correspondiente al comportamiento de dicha muestra, ya que, si bien es negativa en todos los casos, para el tratamiento CoRe el valor es el más bajo (-0.3124). En el caso de la pérdida de humedad para tamales precocidos congelados y crudos congelados no muestra diferencias significativas (Cuadro 4). Finalmente, las muestras cocidas congeladas muestran la menor pérdida de humedad siendo significativamente menor al resto de los tratamientos evaluados. Este tratamiento muestra una velocidad de pérdida de agua menor, relacionada con la pendiente de

la recta (-0.0769). La pérdida de humedad de las masas cocidas está relacionada con el “envejecimiento” del producto horneado y en el caso del pan, se explica por la retrogradación del almidón, lo que implica pérdida de agua y una consecuente menor retención de humedad (Luna-Fernández y Bárcenas-Pozos, 2011). Si bien el modelo pan es similar al modelo tamal, el almidón de trigo es diferente al almidón de maíz. Por otro lado, las temperaturas de cocimiento del pan de trigo en un horno se encuentran entre 180-200°C, mientras que el cocimiento al vapor de los tamales ronda los 100°C. Los resultados obtenidos indican que los tamales cocidos refrigerados pierden más humedad durante el almacenamiento respecto de los cocidos congelados, probablemente debido a que los gránulos de almidón alcanzaron su máxima retención de agua en ambas muestras, pero en el caso del tratamiento en refrigeración, el agua incluida no se inmoviliza como en el caso de los congelados, permitiendo que se pierda gradualmente durante el almacenamiento. En el caso de las muestras semicocidas y crudas, ambas congeladas, dado que no se llega a una gelatinización del almidón, la pérdida de humedad no es tan evidente porque no existe el fenómeno de retrogradación aún. Estos tratamientos muestran un comportamiento similar, de hecho, no muestran diferencias significativas ($p > 0.05$).

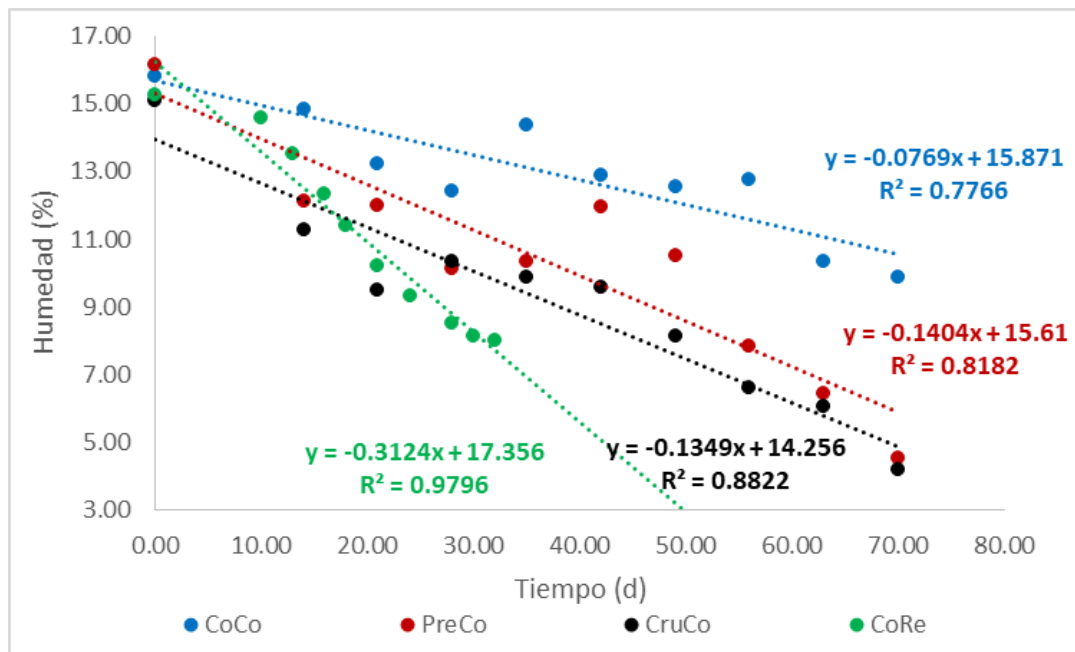


Figura 5. Comparación de la pérdida de humedad para tamales almacenados bajo diferentes condiciones (CoCo-Tamales cocidos/congelados; PreCo-Masa precocida/congelada; CruCo-Masa cruda/congelada; CoRe-Tamales cocidos/refrigerados).

7.3. Determinación de textura (dureza y cohesividad)

7.3.1. Dureza

Los resultados de la medición de dureza se muestran en la Figura 6 donde se observa que en el caso de las muestras CruCo (crudas congeladas) y CoRe (cocidas refrigeradas) a medida que transcurre el tiempo de almacenamiento, los valores obtenidos de dureza para las muestras van aumentando. Para el caso de las muestras CoCo (cocidas congeladas) y PreCo (precocidas congeladas), el valor de este mismo parámetro disminuye sin mostrar diferencias significativas entre estos dos tratamientos. La comparación de medias se muestra en el Cuadro 4. La dureza y la cohesividad son parámetros determinantes en la evaluación de la textura de las masas cocidas. La calidad de una masa cocida, haciendo referencia básicamente a lo ocurrido en un pan, se expresa mediante la apariencia, el sabor, el aroma y la textura táctil y oral. Esta mezcla de sensaciones está ligada a la frescura del producto horneado (Rosell, 2011). Por su parte, dureza se define como “la resistencia que ofrece un material a sufrir una deformación permanente” (Badui-Dergal, 1998) y en el caso de los productos horneados, específicamente en el pan, se sabe que la retrogradación del almidón provoca una pérdida de humedad en el pan con la consecuencia de un endurecimiento (Luna-Fernández y Bárcenas-Pozos, 2011). Por lo que se espera que aquellas muestras con mayor pérdida de humedad sean aquellas en la que aumenta la dureza. Los resultados obtenidos en el presente trabajo indican algunas diferencias respecto de esta aseveración ya que, en el caso de los tamales, la pérdida de humedad no se relaciona con la dureza dado que aquella muestra con un mayor aumento en la dureza resulta del tratamiento CruCo (masa cruda congelada). En este caso, si bien la pérdida de humedad no es muy grande, la dureza del producto cocido es significativamente mayor que para el resto de los tratamientos. En el caso de las muestras cocidas refrigeradas, aún con la pérdida de humedad mostrada, la dureza aumenta, aunque no tanto como en el caso de los tamales CruCo, pero es significativamente diferente al resto de los tratamientos.

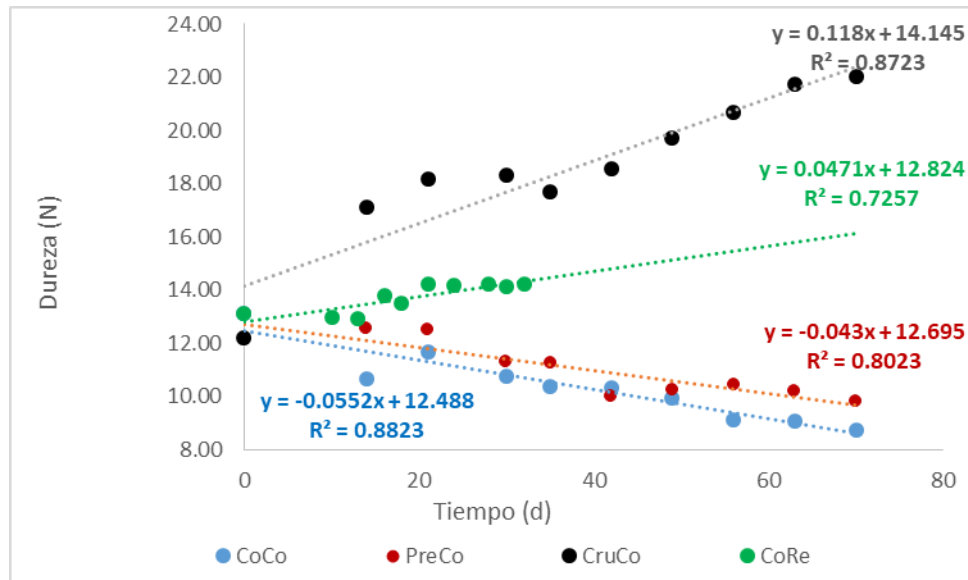


Figura 6. Comparación de la dureza para tamales almacenados bajo diferentes condiciones (CoCo-Tamales cocidos/congelados; PreCo-Masa precocida/congelada; CruCo-Masa cruda/congelada; CoRe-Tamales cocidos/refrigerados).

7.3.2. Cohesividad

Según Badui-Dergal (1998), cohesividad es la “propiedad mecánica de la textura que indica tendencia de las partículas a mantenerse unidas y a permanecer así, aunque se les aplique compresión”. En el caso de los tamales, esta propiedad es determinante dado que indica qué tanto pueden permanecer las partículas unidas aún frente al corte. Esta propiedad es también indicativa del comportamiento frente a la masticación y al demoronamiento del mismo. El comportamiento de las muestras de masa nixtamalizada sometida a los diferentes tratamientos se muestra en la Figura 7 donde puede observarse que la cohesividad de las muestras de los tratamientos CruCo (crudo congelado) y CoCo (cocido congelado) aumenta con el tiempo de almacenamiento, mientras que en el caso de los tratamientos PreCo (precocido congelado) y CoRe (cocido refrigerado) esta propiedad va disminuyendo. Las diferencias entre medias para la cohesividad se muestran en el Cuadro 4.

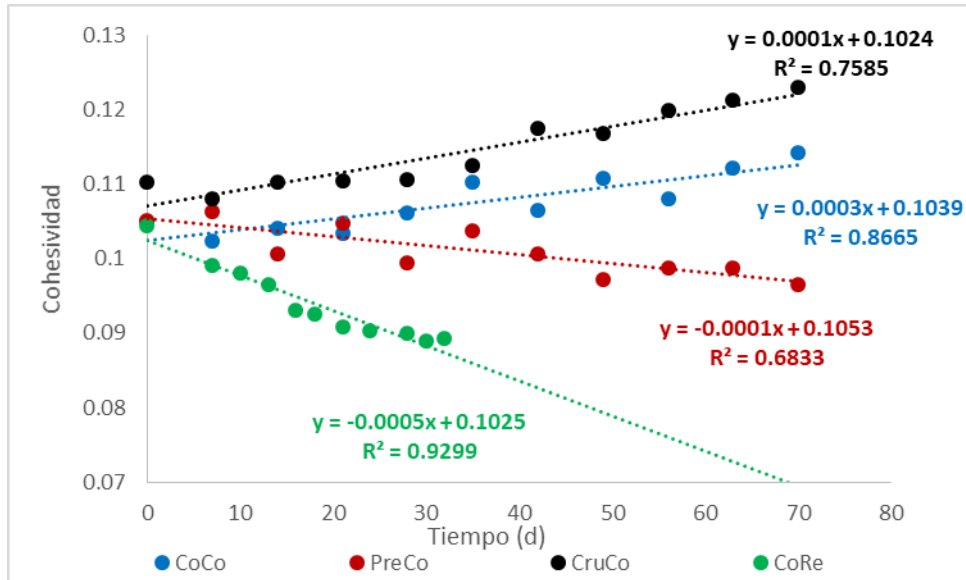


Figura 7. Comparación de la cohesividad para tamales almacenados bajo diferentes condiciones (CoCo-Tamales cocidos/congelados; PreCo-Masa precocida/congelada; CruCo-Masa cruda/congelada; CoRe-Tamales cocidos/refrigerados).

A diferencia de la relación pérdida de humedad-dureza que se reporta en los productos de panadería, en el caso del modelo tamal la pérdida de humedad se encuentra relacionada con la pérdida de cohesividad. Estos resultados se muestran en la Figura 8 donde se observa una relación directa entre humedad y cohesividad, es decir, a mayor humedad, mayor cohesividad y viceversa. Este efecto puede estar relacionado de igual manera con el hinchamiento de los gránulos de almidón, si conservan una mayor cantidad de agua, relacionada con la retención de humedad, los gránulos permanecen más unidos, por lo que la masa cocida será menos desmoronable o más cohesiva.

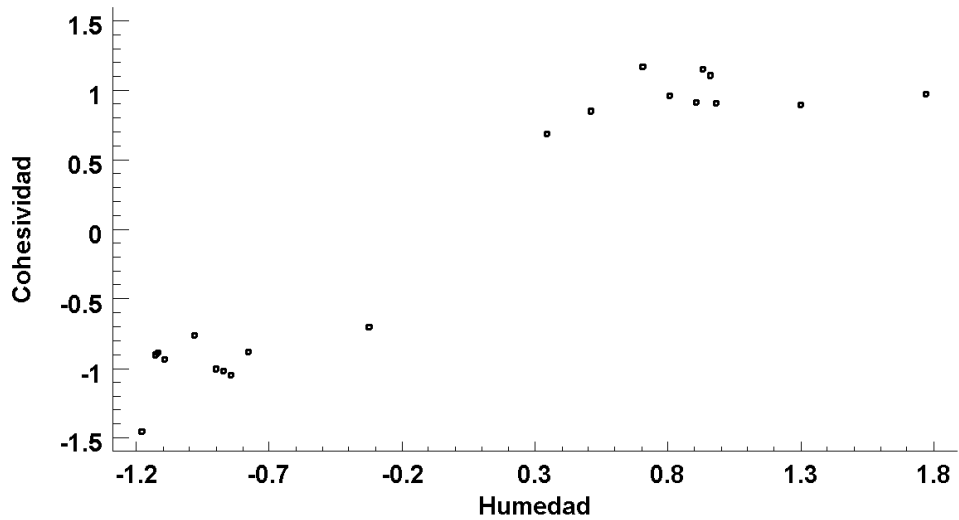


Figura 8. Correlación entre humedad y cohesividad para muestras tamales almacenados bajo diferentes condiciones.

Cuadro 4. Comparación de medias para las determinaciones realizadas en tamales

	Humedad promedio (%)	Dureza promedio (N)	Cohesividad promedio (adim)
CruCo	9.06 ^a	18.62 ^c	0.147 ^b
PreCo	10.20 ^{ab}	11.06 ^a	0.103 ^a
CoRe	11.13 ^{ab}	13.72 ^b	0.093 ^a
CoCo	12.91 ^c	10.38 ^a	0.131 ^b

Diferentes letras en superíndice indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) entre valores ubicados en columnas.

7.4. Análisis de microestructura

La textura de las masas cocidas es, en mucho, el resultado de su microestructura, lo que, a su vez, resulta de la interacción de los componentes de las mismas (Scanlon y Zghal, 2001). En el caso, muy bien documentado, de masas de trigo para la fabricación de pan, es sabido que la interacción de la proteína (gluten) del trigo, forma una red con el almidón, lo que soporta la estructura del pan. Por otro lado, esta interacción aunada a la viscosidad de la masa se refleja en la forma y cantidad de alveolos presentes en la miga del producto horneado. En el caso de las masas de maíz, la estructura no podría decirse que pudiera estar soportada por la red de gluten y almidón, dado que del total de la proteína contenida en el maíz (6-12%), el 50% corresponde a zeína (Shukla y Cheryan, 2001) y esta proteína no forma la estructura elástica que le confieren la gliadina y la glutenina al gluten. Es por esto que resulta interesante indagar respecto de las características de la red que mantiene la estructura de un tamal, suponiendo que se trate únicamente de una emulsión de almidón gelatinizado, grasa (alrededor del 15% en la formulación utilizada para este estudio) y zeína como componente proteínico. Los resultados obtenidos indican que durante la evolución de la estructura de los tamales respecto del tiempo los cambios observados se relacionan con la cohesividad de las muestras evaluadas. Si bien es una medida un tanto subjetiva, las fotografías mostradas en la Figura 9 pueden dar una idea de estos cambios.

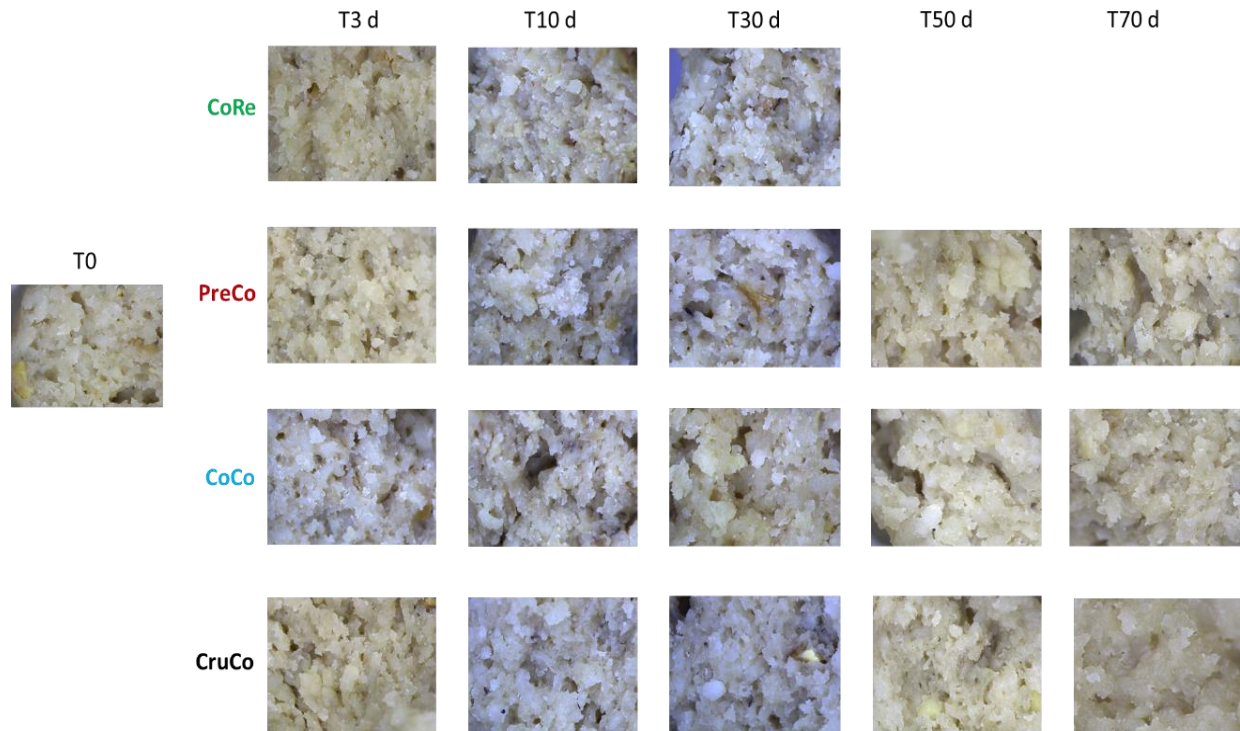


Figura 9. Microestructura de tamales a través del almacenamiento bajo diferentes condiciones. (CoRe: Cocidos refrigerados, PreCo: Precocidos congelados, CoCo: Cocidos congelados, CruCo: Crudos congelados). Se muestran valores aproximados (días) de toma de fotografías.

VIII. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se evaluó el efecto en la humedad, textura y microestructura del cocimiento de masas de maíz nixtamalizado (cocida, precocida y cruda) bajo diferentes condiciones de almacenamiento (refrigeración y congelación).

En términos generales, puede observarse que el almacenamiento a bajas temperaturas, tanto refrigeración como congelación promueve la pérdida de humedad del producto cocido (tamal) siendo más evidente en las muestras crudas congeladas.

En el caso de la dureza, las muestras crudas sometidas a congelación muestran una dureza significativamente mayor a lo observado en el resto de los tratamientos.

La cohesividad de las muestras crudas sometidas a congelación y de las muestras cocidas y congeladas resultó significativamente mayor que la cohesividad de las muestras sometidas a los otros tratamientos.

Existe una correlación significativa entre el aumento en la humedad y una mayor cohesividad. Este efecto es una constante para el caso de todos los tratamientos.

Las fotografías obtenidas mediante el uso de un microscopio estereoscópico muestran cierto comportamiento que apoya los resultados anteriores.

Los tamales cocidos y sometidos a congelación presentan una mayor retención de humedad, son menos duros y presentan una mayor cohesividad, es decir son menos friables. Se sugiere que este efecto podría deberse a que el almidón se gelatiniza por completo durante el cocimiento, que la sinéresis no es significativa durante el almacenamiento en congelación y que esa humedad retenida no se evapora tan fácilmente durante el recalentamiento promoviendo una estructura más estable (más cohesiva) que aporta suavidad (menos dureza) al tamal.

XIX. BIBLIOGRAFÍA

1. Acevedo Edith, Núñez Santiago Carmen y Paredes López Octavio, (2002). Propiedades químicas, fisicoquímicas y reológicas de masas y harinas de maíz nixtamalizado. *Agrociencia*, 36, 319-328.
2. Aguilera José Miguel. (2000), Microstructure and food product engineering, *Food Technology* 54(11), 56–58 60, 62, 64, 66.
3. Aguilera José Miguel. (2005). Why food microstructure?, *Journal of Food Engineering*, 3-11
4. Akwetey Y. y Knipe, C. Sensory attributes and texture profile of beef burgers with gari. *Meat Science*, (2012), 92, 4, 745-748.
5. Beade Ruelas Alma, PROFECO (2010)
6. Bello Pérez Luis A., Osorio Díaz Perla, *Agama Foods World*, 34, 535-538.
7. Benedini, R., Parolari, G., Toscani, T., y Virgili, R. Sensory and texture properties of Italian typical dry-cured hams as related to maturation time and salt content. *Meat Science*, 2012,90, 2, 431-437.
8. Burge y Duensing, (1989). Processing and dietary fiber ingredient applications of corn bran. *Cereal*. *Brújula de compra Candelaria: El compromiso de los tamales.* https://www.profeco.gob.mx/encuesta/brujula/bruj_2010/bol158_tamal.asp
9. Carrillo Inungaray María Luisa y Reyes Munguía Abigail. (2013). Vida útil de los alimentos. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 2, 4-25.
10. Carrillo Paola, Maldonado Roberto, Palomeque Alexandra, Yugsi Joselyn y Ramírez Cárdenas Lucía. (2014). Estudio del uso de atmósferas modificadas en el almacenamiento de “masa quebrada de dulce” (masa precocida). *Avances en Ciencias e Ingenierías*, 16-20
11. CEDRSSAR, (2014). Consumo, distribución y producción de alimentos: el caso del complejo maíz-tortilla. <http://www.cedrssa.gob.mx/includes/asp/download.asp?iddocumento=2638&idurl=4449>
12. Contreras Jiménez B., Morales Sánchez E., Reyes-Vega M.L., y Gaytán Martínez M. (2014). Propiedades funcionales de harinas de maíz nixtamalizado obtenidas por extrusión a baja temperatura. *Journal of Food*, 12, 3, 263–270. <http://dx.doi.org/10.1080/19476337.2013.840804>
13. Da Mota Zanella Victor Manuel, Mireles Mendoza Claudia Elizabeth, Camarena Aguilar Ernesto, Bautista Justo Mayela. (2005). Efecto del uso de masas congeladas sobre las características y textura en pan blanco. *Ciencia y tecnología de alimentos*, 456-465
14. Giraldo Gómez Gloria Inés, (1999). Métodos de estudio de vida de anaquel de los alimentos. (Trabajo presentado como Requisito parcial para optar a la categoría de Profesor Asociado). Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales, Facultad de Ciencias y Administración
15. Hernández Castañeda Yazmín. (2009). El tamal, una nueva propuesta gastronómica. *Vinculando*, 8, 15-23.
16. Huang Sidi y Miskelly Diane. (2016). Frozen Steamed Products and Frozen Doughs. *Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. Steamed Breads: Ingredients, Process and Quality*, 101-107.

17. Informador, (2015). Tamales, símbolo gastronómico de México. <http://www.informador.com.mx/suplementos/2015/573816/6/tamales-simbolo-gastronomico-de-mexico.htm>
18. Labuza Theodore P. (2000). Shelf Life Testing: Procedures and Prediction Methods for Frozen Foods. Dept. of Food Science & Nutrition, University of Minnesota. https://www.researchgate.net/publication/2402471_Shelf_Life_Testing_Procedures_and_Prediction_Methods_for_Frozen_Foods
19. León Alberto Edel y Rosell Cristina M. (2007). Maíz. En De tales harinas, tales panes: Granos, harinas y productos de panificación de Iberoamerica (73-100). Córdoba, Argentina: Irastorza.
20. Majzoobi, Farahnaky y Agah, (2011). Properties and self-life of part-and full-baked flat bread (Barbari) at ambient and frozen storage. *Journal of Agricultural*, 13, 1077-1090.
21. Mariscal Monroy, Viviana; De la Rosa Angulo, Gloria Yanet; Chanona Pérez, Jorge; Farrera Rebollo, Reynold; Calderón Domínguez, Georgina. (2008). Evaluación de la estructura de miga en pan dulce a través de análisis de imagen. *Ingeniería Bioquímica, Biomedicina y Biotecnología Molecular*, 20-29.
22. Öhgren, Camilla; Fabregat, Trueba Nieves; Langton, Maud. (2016) Quality of bread baked from frozen dough - effects of rye, and sugar content, kneading time and proofing profile. *Food Science and Technology*, 68, 626-633.
23. Ortega Orozco Roberto, (2001). Proyecto para instalar una microempresa procesadora de alimentos semi industrializados derivados del maíz (tamales), localizada en ciudad Nezahualcoyotl, Edo. de México. (Tesis de licenciatura inédita). Universidad Nacional Autónoma de México.
24. Pérez Soto E., Soto Simental S., Güemes Vera N. y 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, 626-630.
25. Pyler, E.J. 1988 *Baking Science and Technology*, Vol. 1 y 2 Second Edition. Sosland PuCo. Kansas, USA
26. Rosell, C.M. (2011). The Science of Doughs and Bread Quality. En: *Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention*, 11.
27. Sahai, Buendia y Jackson, (2001). Analytical techniques for understanding nixtamalized corn flour: particle size and functionality relationships in a masa flour simple. *Cereal Chemistry*, 78, 14-18.
28. Salinas Moreno Yolanda, Pérez Herrera Patricia, Castillo Merino Jorge y Álvarez Rivas Luis A. (2003). Relación de amilosa: amilopeptina en el almidón de harina nixtamalizada de maíz y su efecto en la calidad de la tortilla. *Fitotecnia Mexicana*, 26, 115 – 121.
29. Scanlon, M.G., Zghal, M.C. (2001). Bread properties and crumb structure. *Food Research International*, 34, 10, 841-864.
30. Shukla, R., Cheryan, M. (2001). Zein: the industrial protein from corn. *Industrial Crops and Products* 13, 171–192.
31. Tamales Emporio. (2012). El Tamal y sus orígenes. 2012, de Tamales Emporio Sitio web: <https://www.tamales.com.mx/pages/el-tamal-y-sus-origenes>
32. Torres Gonzalez Jose David, Acevedo Correa Diofanor y Tirado Armesto Diego Felipe. (2015). Analisis de la calidad bronatologica, microbiológica, sensorial y de textura de bollos de mazorca cocidos en ebullición. *ReCiTeIA*, 14, 7-16.

33. Valderrama Bravo, C., et al., Changes in chemical, viscoelastic, and textural properties of nixtamalized dough with nejayote, LWT - Food Science and Technology (2014), <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2014.12.038>
34. Vázquez Chávez L., González Sánchez D. y Cervantes Arista C. (2016). Calidad de pan precocido almacenado en refrigeración y en congelación. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos, 1, 49-55.