



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

RESUMEN.....	VIII
INTRODUCCIÓN.....	IX
1. ANTECEDENTES.....	1
1.1 EL TAMAL Y SUS ORÍGENES.....	1
1.1.1 Origen y definición.....	1
1.1.2 Clasificación de los tamales	1
1.1.3 Los tamales en la actualidad	3
1.2 FORMULACIONES E INGREDIENTES PARA LA ELABORACIÓN DE TAMALES TÍPICOS DEL CENTRO DEL PAÍS Y ÁREA METROPOLITANA.....	4
1.2.1 Formulaciones.....	5
1.2.2 Ingredientes	5
1.3 PROCESO DE ELABORACIÓN	8
1.4 MASAS ALIMENTICIAS	9
1.4.1 Definición	9
1.4.2 Masa de maíz nixtamalizado	10
1.4.3 Masa para tamal	11
1.4.4 Métodos de evaluación de textura en masa	11
1.5 ESTRUCTURA Y PROPIEDADES FÍSICAS DEL TAMAL.....	12
1.5.1 Estructura de productos de cereales con miga.....	12
1.5.2 Estudio de estructura por medio de imágenes digitales.....	13
1.5.3 Propiedades físicas del tamal.....	15
1.5.4 Propiedades mecánicas de productos a base de miga.....	16
2. MATERIALES Y MÉTODOS	19
2.1 OBJETIVOS	19
2.2 MATERIA PRIMA	19
2.3 ACTIVIDADES PRELIMINARES	20
2.4 MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y TEXTURALES.....	24
2.4.1 Determinación de humedad	24
2.4.2 Determinación de tamaño de partícula por tamizado.....	25

2.4.3 Densidad.....	27
2.4.4 Pruebas texturales	28
2.4.5 Características de la miga por análisis de imagen.....	34
2.5 ANÁLISIS FACTORIAL	36
3. RESULTADOS	37
3.1 ACTIVIDADES PRELIMINARES.....	37
3.2 PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS HARINAS	39
3.2.1 Densidad.....	39
3.2.2 Tamaño de partícula	39
3.2.3 Humedad	41
3.3 PROPIEDADES DE LA MASA Y EL TAMAL ELABORADO A PARTIR DE DOS TIPOS DE HARINA (FRESCA Y DESHIDRATADA), BAJO DOS PROCESOS (MANTECA BATIDA Y SIN BATIR) Y DOS DÍAS DE ELABORACIÓN.	42
3.3.1 Propiedades de la masa.....	42
3.3.2 Propiedades físicas del tamal.....	43
3.3.3 Propiedades texturales del tamal (prueba de corte)	44
3.3.4 Propiedades texturales del tamal (prueba de punción).....	46
3.3.5 Propiedades texturales del tamal (perfil de textura).....	47
3.3.6 Análisis de la estructura de la miga	50
3.4 PROPIEDADES DE LA MASA Y EL TAMAL ELABORADO A PARTIR DE HARINA FRESCA (HARINA DEL MOLINO), BAJO TRES PROCESOS (MANTECA BATIDA, SIN BATIR Y PROCESO DE RUTINA EN EL MOLINO) Y DOS DÍAS DE ELABORACIÓN.	52
3.4.1 Propiedades físicas de la masa.....	52
3.4.2 Propiedades físicas del tamal.....	53
3.4.3 Propiedades texturales del tamal (corte y punción)	54
3.4.4 Propiedades texturales del tamal (perfil de textura).....	56
3.4.5 Análisis de la estructura de la miga	58
CONCLUSIONES	61
REFERENCIAS	62

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. 1 Formulaciones encontradas para la elaboración de tamales característicos de la zona centro del país.	5
Cuadro 2. 1 Descripción de materia prima	20
Cuadro 2. 2 Formulaciones establecidas al inicio de la experimentación.....	21
Cuadro 2. 3 Registro de datos del análisis de tamaño de partícula.....	25
Cuadro 2. 4 Variables y niveles a utilizar en el diseño factorial empleado para dar solución al objetivo 2.....	36
Cuadro 2. 5 Variables y niveles a utilizar en el diseño factorial empleado para dar solución al objetivo 3	36
Cuadro 3. 1 Nueva formulación para la harina del molino.....	38
Cuadro 3. 2 Formulación final establecida para la harina del molino	38
Cuadro 3. 3 Tabla característica con la densidad de las harinas	39
Cuadro 3. 4 Diámetro Sauter obtenido para la harina del molino.....	40
Cuadro 3. 5 Humedad para harina del molino y harina Maseca.....	41
Cuadro 3. 6 Efecto del proceso y día de elaboración en las propiedades de la masa para tamal, elaboradas con harina fresca y deshidratada	43
Cuadro 3. 7 Efecto del proceso y día de elaboración en las propiedades físicas del tamal, elaborado con harina fresca (molino) y deshidratada (Maseca) para tamal	43
Cuadro 3. 8 Parámetros texturales de la prueba de corte en tamal. Efecto del tipo de harina, el proceso y el día de elaboración.....	45
Cuadro 3. 9 Parámetros texturales de la prueba de punción en tamal. Efecto del tipo de harina, el proceso y el día de elaboración.....	47
Cuadro 3. 10 Parámetros de la prueba de perfil de textura en tamales. Efecto del tipo de harina, el proceso y el día de elaboración.	49
Cuadro 3. 11 Efecto del proceso y día de elaboración. En las características de la miga de tamal, elaborados con harina fresca (molino) y deshidratada (Maseca) para tamal.....	51

Cuadro 3. 12 Efecto del proceso y día de elaboración, en las propiedades de la masa elaborada con harina fresca (molino) para tamal.....	52
Cuadro 3. 13 Efecto del proceso y día de elaboración en las propiedades físicas del tamal elaborado únicamente con harina fresca (molino)	54
Cuadro 3. 14 Efecto del proceso y día de elaboración en las propiedades texturales (corte) del tamal elaborado con harina fresca (molino)	54
Cuadro 3. 15 Efecto del proceso y día de elaboración en las propiedades texturales (punción) del tamal elaborado únicamente con harina fresca (molino)	55
Cuadro 3. 16 Efecto del proceso y día de elaboración en las propiedades texturales (perfil de textura) del tamal elaborado únicamente con harina fresca (molino)	56
Cuadro 3. 17 Análisis de imagen de los tamales elaborados con harina del molino únicamente. Efecto del proceso y día de elaboración	59

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Producción aproximada diaria en piezas de tamal	4
Figura 1. 2 A) Área de interés de una rebanada de pan; B) Imagen en escala de grises; C) Imagen segmentada	14
Figura 1. 3 Impresión de pantalla de los resultados arrojados por el análisis de imagen.....	14
Figura 1. 4 Volscan Profiler, instrumento para medir la densidad del pan (Texture Technologies, 2016).....	16
Figura 2. 1 Proceso para la elaboración de masa y tamal utilizando manteca fundida	22
Figura 2. 2 Proceso para la elaboración de masa y tamal utilizando manteca batida	23
Figura 2. 3 Proceso para la elaboración de masa y tamal utilizando manteca a temperatura ambiente	24
Figura 2. 4 Termobalanza Ohaus.....	25
Figura 2. 5 Grafico de una curva de distribución de tamaño de partícula.	26
Figura 2. 6 Texturómetro Texture Analyser TA-XT2.....	28
Figura 2. 7 Curva característica de la prueba de adhesividad	29
Figura 2. 8 Curva característica de la prueba de punción	30
Figura 2. 9 Curva característica de la prueba de corte.....	31
Figura 2. 10 Curva característica de la prueba de TPA.....	32
Figura 2. 11 Ejemplo de análisis de imagen con el software ImagePro 6.0.	35
Figura 3. 1 Curva de distribución correspondiente a la harina Maseca.....	39
Figura 3. 2 Curvas de distribución obtenidas para la harina del molino	41
Figura 3. 3 Prueba de corte para tamal elaborado con harina del molino, y harina Maseca.....	44
Figura 3. 4 Prueba de punción para tamal elaborado con harina del molino y harina Maseca.....	46

Figura 3. 5 Prueba de TPA para tamal elaborado con harina del molino, y harina Maseca, utilizando el proceso de manteca sin batir en ambas harinas.	48
Figura 3. 6 Imagen de tamal elaborado con harina Maseca clasificada por el diámetro de los poros.....	50
Figura 3. 7 Imagen en escala de grises de tamal elaborado con harina Maseca.....	51
Figura 3. 8 Prueba de adhesividad para masa elaborada con el proceso de manteca batida, manteca sin batir y masa comprada directamente en el molino.....	53
Figura 3. 9 Prueba de perfil de textura en tamal elaborado con proceso de manteca batida, con masa comprada ya elaborada en el molino y proceso con manteca batida	55
Figura 3. 10 Imagen en escala de grises de tamal elaborado con harina del molino.....	58
Figura 3. 11 Clasificación de poros por su diámetro, representación de clases por colores	59

Resumen

Se estudió la influencia del tipo de harina empleada para preparar masa bajo diferentes procesos de preparación y días de elaboración; en las propiedades físicas y texturales de masa para tamal y tamal como alimento ya elaborado, empleando diseños factoriales. Esto se realizó con el objetivo de generar información de carácter científico sobre el tema ya que su existencia es prácticamente nula; el tipo de harina y masa utilizada fue seleccionada en base a la materia prima mas común que utilizan los productores de tamal.

En harinas se determinó densidad, humedad por termobalanza y distribución de tamaño de partícula por tamizado. A las masas se les determinó densidad, humedad por termobalanza y una prueba textural de consistencia-adhesividad. Con cada masa se prepararon tamales sin relleno, por cocción tradicional a vapor; a estos se les realizaron pruebas de densidad por desplazamiento de semillas, humedad por termobalanza y pruebas texturales de punción, corte y perfil de textura. Se realizó un estudio de las características de la miga del tamal por medio de análisis de imágenes digitales de cortes longitudinales del mismo.

Los resultados obtenidos muestran que por general las diferencias por efecto del proceso se observan principalmente en la densidad de la masa y tamal, también en el tamaño de los alveolos en la miga del tamal y propiedades como dureza y fuerza de corte del tamal. El tipo de harina empleada afecta principalmente la humedad de las masas y tamal así como el valor de las propiedades texturales del tamal, el tamaño de alveolos en la miga también se ve afectado por esta variante.

Introducción

El tamal es un alimento de origen prehispánico cuyo consumo ha trascendido hasta la actualidad y se ha diversificado. Hoy en día la producción de tamales en México se realiza principalmente en micro empresas familiares que producen su propia masa, o la adquieren en un molino de chiles y granos, como harina o como masa lista para su elaboración. De igual manera se producen industrialmente harinas de maíz nixtamalizado para tamal, tamales congelados y algunas grandes empresas comienzan a elaborar este alimento, vendiéndolo congelado (INAES, 2014) y en fechas recientes se introdujo al mercado por una empresa mexicana que elabora una gran variedad de productos alimentarios, un tamal envasado herméticamente en bolsas.

En cuanto al proceso se refiere, éste depende de si se parte de harina o de masa, se puede variar el orden de mezcla de los ingredientes, la temperatura a la que se añade la grasa (fría, a temperatura ambiente o fundida), la temperatura a la que se añade el agua o el caldo (ambiente o tibia). La grasa puede ser batida previamente al mezclado; el mezclado puede ser manual o en batidora y también depende del tamaño específico de producción.

A pesar de su alto consumo en México y su incipiente crecimiento como un alimento industrializado, no se cuenta con ningún tipo de información con base científica que describa de manera formal como influye la formulación, proceso e ingredientes en las propiedades físicas y texturales del tamal, las cuales son determinantes en la aceptación de este producto por el consumidor. Por lo antes expresado, en este trabajo se pretende documentar la influencia del tipo de harina que comúnmente se utiliza (deshidratada para tamales marca Maseca y harina para tamal fresca), masa, las variaciones más frecuentes en el proceso utilizado (manteca fundida y a temperatura ambiente, así como un proceso de rutina empleado en un molino comercial, éste último solamente con harina fresca del mismo molino) y el día de elaboración.

1. Antecedentes

1.1 El tamal y sus orígenes

1.1.1 Origen y definición

El tamal (del náhuatl tamalli, que significa envuelto) es un nombre genérico dado a varios platos americanos de origen indígena preparados generalmente con masa de maíz nixtamalizado envuelta en hojas de la mazorca o de la misma planta de maíz, plátano, bijao, maguey, aguacate o incluso papel aluminio o plástico. Pueden llevar o no relleno, el cual puede contener carne, vegetales, chile, frutas, salsa, etc. Además pueden ser con sabor dulce o salado (Contreras, s.f).

La evidencia arqueológica muestra el tamal como parte de la vida cotidiana de algunas culturas de México en la época prehispánica, como los olmecas, los mexicas y los mayas, además de usarse en rituales religiosos, en ofrendas y tumbas. En algunas ceremonias, los tamales especiales eran entregados por los sacerdotes como agradecimiento a las ofrendas de los participantes (Vega, 2012). Los tamales tenían una gran importancia cultural, además de gastronómica, Fray Bernardino de Sahagún describe algunas variedades de tamales. Él y otros autores hacen referencia al tamal no sólo como comida de la gente común, sino de los nobles y de los sacerdotes en ceremonias especiales de ayuno. Sin embargo, como el tamal es una comida que requería en esa época una cantidad significativa de trabajo para su elaboración, solamente los nobles y sacerdotes lo consumían regularmente, la gente común sólo en festividades (Vélez, 2008).

1.1.2 Clasificación de los tamales

La diversidad de tamales es amplia, dependiendo de la región del país, y representa una tradición muy arraigada en Mesoamérica, en donde los pueblos ofrendaban a la tierra para obtener mejores cosechas del maíz. La tradición actual del consumo y producción de tamales ha trascendido las fronteras nacionales, ya que desde hace varios años se suman productores de tamales de seis países: Bolivia, Chile, Colombia, Honduras, Nicaragua, Panamá y EU (Cedillo, 2014).

En ningún país existe tanta diversidad de tamales como en México. Cada región y estado tiene ciertos tipos de tamales, tantos que su variedad se calcula entre 500 y 5,000 en todo el país. También es un platillo muy popular. Algunos expertos estiman el consumo de tamales en cientos de millones anuales, el relleno de cada tamal varía en función de los productos típicos de cada zona del país (Cedillo, 2014). A continuación se describen algunos de los más populares.

- **Tamales de la zona centro del país y área metropolitana**

Son esponjosos, envueltos en hoja de maíz y rellenos de salsas verdes, rojas, moles y endulzados con azúcar y pasas, pigmentados con color rosa. A pesar de ser un producto de origen prehispánico, la tradición de su consumo prevalece actualmente y los rellenos se han diversificado a una amplia variedad de guisos salados y dulces. La gran demanda ha dado lugar al surgimiento de gran cantidad de microempresas y empresas medianas como tamales Emporio y Flor de Liz (Wikipedia, 2016).

- **Tamales oaxaqueños**

Tradicionalmente elaborados con masa de maíz y envueltos en hoja de plátano, existen también con hoja de maíz aunque son menos comunes. Generalmente rellenos de cerdo o de pollo con mole negro, pueden ser también rellenos de carne de iguana. Éstos son delgados y compactos (Wikipedia, 2016).

- **Zacahuil**

Este 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, luego se rellenan con grandes trozos de carne de cerdo cruda, y muchas veces también le añaden un guajolote entero cortado en piezas (Zacahuil ¡El tamal de los tamales!, 2016).

- **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 (Wikipedia, 2016).

- **Corundas y tamales de Michoacán**

Las corundas son originarias del estado de Michoacán. Son sencillas, se hacen con verduras, queso y tequesquite revueltos con la masa, y se envuelven en la hoja de la planta del maíz, dándole una forma triangular cónica o piramidal (Wikipedia, 2016).

- **Tamales sinaloenses**

En el estado de Sinaloa se cocinan 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 (Wikipedia, 2016).

1.1.3 Los tamales en la actualidad

Actualmente, los tamales son parte importante de la dieta de los mexicanos, y muy populares en las fiestas y celebraciones. Su consumo es tradicional en las fiestas de los bautizos, bodas, en las posadas y otras fiestas navideñas. En algunos casos y regiones se les considera como uno de los platillos típicos para la cena de navidad.

Cada vez en México crece la tradición de difundir entre las nuevas generaciones el consumo y preparación de los tamales, para lo cual se organizan ferias, exposiciones y demostraciones. Así ocurre en la Feria Anual del Tamal promovida por el Consejo Nacional para la Cultura y las Artes (CONACULTA) y algunas delegaciones políticas de la Ciudad de México, en donde la venta de tamales va acompañada con mesas de diálogos y pláticas para generar perspectivas en el conocimiento y valor de ese platillo típico mexicano (Red Nacional Cultural, 2008).

La demanda de este producto es constante durante todo el año por ser un alimento tradicional de bajo precio. Las empresas pequeñas y medianas se enfocan a abastecer mercados específicos como son: fondas y restaurantes, zonas industriales, escolares, comerciales, hospitales, estaciones de trenes y autobuses, además de surtir pedidos para fiestas.

El proceso de producción en una empresa pequeña se lleva a cabo casi totalmente a mano en lo que se refiere a envolver el tamal y la diferencia es que al tener mayor volumen de ventas, es necesario contar con maquinaria especializada como las batidoras industriales para la elaboración de la masa y un número mayor de botes tamaleros.

En la producción de una empresa mediana se hace uso de un equipo especializado para la preparación de la masa, elaboración y cocción como son: batidoras, parrillas, quemadores, licuadoras, refrigeradores, congeladores y hornos industriales (INAES, 2014). El número de tamales producidos en el DF para cubrir la demanda de un sólo día del todo el país está representado en el Cuadro 1.1.

Pequeña empresa	De 1000 a 3000 piezas/diarias
Mediana empresa	De 10000 a 15000 piezas/diarias

Figura 1. 1 Producción aproximada diaria en piezas de tamal

1.2 Formulaciones e ingredientes para la elaboración de tamales típicos del centro del país y área metropolitana

Ya que no se encuentran formulaciones para la elaboración de tamal documentadas de manera formal en revistas científicas especializadas en el área de alimentos, se tomará como referencia aquellas recetas encontradas en revistas de divulgación popular y en internet.

1.2.1 Formulaciones

En el Cuadro 1.2 se muestran algunas de las formulaciones encontradas para la elaboración de los tamales típicos de la zona centro del país, utilizando distintas harinas.

Cuadro 1. 1 Formulaciones encontradas para la elaboración de tamales característicos de la zona centro del país.

Ingredientes	Maseca Formulación (Herrera,2013) %	Receta Tamales Costeños. (La Costeña, 2016) %	Receta Tamal de Rajas (Aranda, 1998) %
Harina	26.06	55.56	65.61
Manteca	19.90	16.67	13.12
Agua u otro liquido	51.68	26.50	20.99
Royal	1.06	0.64	0.10
Sal	0.80	0.63	0.10
Caldo De Pollo en Polvo	0.50	0.00	0.08

1.2.2 Ingredientes

- Harina de maíz nixtamalizado

El ingrediente básico en estas harinas es el maíz nixtamalizado, ya sea presentado en forma de harina húmeda recién molida después de la nixtamalización o en harina deshidratada ya sea para tamal o tortilla. Teniendo como materia prima los granos de maíz, el proceso de nixtamalización consiste en llevar a cabo el cocimiento del grano con agua, cal y agua caliente, obteniendo así lo que desde los aztecas se conoce como "nixtamal", que es el grano ya cocido. Una vez ya nixtamalizado, pasa a los procesos de reposo, molienda y deshidratación (Quaglia, 1991).

Dependiendo del tamaño de la producción, de las facilidades técnicas y preferencias de la empresa que elabora los tamales, existen diferentes opciones de elaboración que a continuación se describen.

a) Preparar los tamales a partir de harina fresca de maíz nixtamalizado elaborada en establecimientos comerciales que se dedican a la molienda de chiles y granos. Estas harinas se producen moliendo granos de maíz inmediatamente después del proceso de nixtamalización, sin agregar agua durante la molienda, como resultado se obtiene una harina húmeda, con tamaño de partícula grande en comparación con la harina para elaborar tortillas, ésta harina es para uso inmediato. En estos mismos establecimientos se acostumbra preparar y vender masa para tamales a partir de ésta harina, agregando manteca, agua, sal o azúcar.

b) Preparar los tamales a partir de masa de maíz nixtamalizado para tortilla comprada en un molino de nixtamal.

c) Preparar los tamales a partir de harinas de maíz nixtamalizado (para tortilla o para tamal), producidas y comercializadas por dos grandes empresas (MASECA y MINSA), ya sea en presentación de 1 kg en bolsas de papel o sacos de mayor capacidad. Por su bajo contenido de humedad, tiene larga vida de anaquel.

Independientemente del método utilizado se adiciona grasa o manteca, ésta generalmente es de cerdo; puede ser sustituida parcial o totalmente por grasa vegetal o mantequilla. Para lograr la consistencia necesaria en la masa, se suele agregar agua o caldo de (pollo cerdo, res, pescado o de verduras), agentes leudantes y también se puede agregar sal o azúcar en el caso de los tamales dulces.

- Grasa Animal (Manteca de cerdo)

En productos de panificación aireados y levados químicamente, en su etapa inicial las mezclas contienen grasa son emulsiones complejas en una fase acuosa que contiene harina, azúcar, huevo y otros aditivos (J. M. V. Blanshard, 1985). La mezcla es aireada durante el batido o en algunos casos la grasa es batida individualmente antes de incorporarla con los demás ingredientes.

En productos que contienen entre 15 y 25% de grasas plásticas en base al peso total de la mezcla son aireados durante el mezclado incorporando burbujas de aire dentro de la fase grasa.

Cuando la emulsión aireada es horneada, las burbujas de aire atrapadas son transferidas de la fase grasa a la fase acuosa a una temperatura en la cual se funde la grasa (37-40°C). El volumen del producto y la textura de la miga están relacionados con el número de burbujas de aire presentes en la mezcla aireada las cuales se agrandan durante el horneado por los gases producidos durante el levado (J. M. V. Blanshard, 1985).

Las principales funciones de la grasa en productos de panificación son las siguientes

- ✓ Mejora la apariencia: miga más uniforme
- ✓ Aumenta el valor alimenticio: aporte de calorías
- ✓ Mejora conservación: ayuda a mantener la humedad consiguiendo un pan más fresco por más tiempo (Emagister, 2016).

- Agentes leudantes

Estas sustancias químicas o biológicas otorgan a las masas textura porosa y ligera mediante la producción de gas carbónico durante el horneado o fermentación. Se clasifican en tres categorías: químicos, físicos y biológicos (Ruiz, 2008).

- Leudantes químicos

Son compuestos químicos que actúan en presencia de líquidos y de altas temperaturas. Algunos reaccionan por la sola hidratación (con agua, jugos de frutas o leche); en estos casos, las masas deben hornearse en cuanto se terminan de confeccionar. Otros, en cambio, comienzan a desarrollar su poder leudante cuando entran en el horno, pues poseen componentes que se activan con el calor. Los más conocidos son el polvo para hornear, el bicarbonato de sodio y el bicarbonato de amonio (Ruiz, 2008).

- Leudantes físicos

El aire que se incorpora a las masas al trabajarlas sin agregado de sustancias, por la mera acción física de batir o amasar, se considera un leudante físico, lo mismo que el vapor de agua que se genera durante el horneado y tiende a escapar del interior de las piezas (Ruiz, 2008).

1.3 Proceso de elaboración

En cuanto al proceso se refiere, éste depende de si se parte de harina o de masa. Puede variar el orden de mezcla de los ingredientes, la temperatura a la que se añade la grasa (fría, a temperatura ambiente o fundida), la temperatura a la que se añade el agua o el caldo (ambiente o tibia). La grasa puede ser batida previamente al mezclado y este puede ser manual o en batidora.

El punto final del mezclado, por lo general se da cuando una bolita de masa flota al colocarla en agua fría (INAES, 2014); el vaciado en la hoja es manual y se utiliza una cuchara con la cual se cubre la parte más lisa de la hoja, con una capa delgada de masa sobre la cual se coloca el relleno.

La hoja se envuelve tratando de darle una forma cilíndrica y las puntas se doblan hacia arriba para así formar el tamal. Los tamales obtenidos se colocan de forma vertical sobre la vaporera con el dobles hacia abajo. Éstos se cuecen al vapor por alrededor de una hora y treinta minutos; dependiendo de la consistencia de la masa ésta puede fluir al inicio de la cocción por efecto de la gravedad, por lo que la consistencia de la masa y una buena técnica de envoltura son muy importantes en la forma y presentación del tamal. Recién cocidos, los tamales son suaves y se rompen fácilmente.

La determinación del proceso de elaboración del tamal depende mucho de qué tipo de tamal se quiera producir y del tamaño específico de producción. La elaboración de tamales en microempresas se lleva a cabo por medio del procedimiento tradicional, es decir prácticamente todo se hace a mano. Los aparatos técnicos ocupados en su elaboración son electrodomésticos, (estufa, licuadora). Lo único que se adquiere aparte es la vaporera de aluminio o acero inoxidable y de diferentes capacidades, que se encuentran en el mercado.

Una empresa mediana se apoya para la preparación de masa en equipo especializado como son las batidoras industriales o mezcladoras helicoidales de capacidades de 5,10, 20 kg para amasar, refrigeradores, congeladores, botes tamaleros de acero inoxidable de 70, 100,150 litros de capacidad que se calientan a través de gas o de electricidad, parrillas y quemadores industriales, licuadoras industriales con capacidad para 5 o 10 litros y un tanque de gas de 500 litros (INAES, 2014).

El orden de incorporación de los ingredientes varía dependiendo de qué harina o masa se trate. El tiempo de batido o mezcla, generalmente se determina por medio del punto de flote que está relacionado directamente con la densidad de la masa y ésta a su vez depende de la formulación y cantidad de aire incorporada durante el batido (INAES, 2014).

1.4 Masas Alimenticias

1.4.1 Definición

Generalmente las masas alimenticias son pastas espesas maleables con diferentes grados de elasticidad, hechas a base de la mezcla de harinas de cereal o legumbres con agua u otros líquidos. Se puede agregar algún tipo de agente leudante además de ingredientes como grasa, azúcar, huevo, leche y saborizantes. Las masas son utilizadas para la elaboración de una amplia variedad de productos alimenticios que pueden ser cocidos en agua o vapor, horneados o freídos. Dependiendo el harina con la que se elabora, el proceso y su composición, las masas pueden variar ampliamente en cuanto sus propiedades reológicas y texturales (Codinä, 2013).

Las masas que contienen proteínas que desarrollan gluten (trigo, centeno, cebada y avena), son ampliamente utilizadas para productos de panificación (pan, pasteles, galletas, pizzas, pasta para sopas y frituras) (EUFIC, 2016). Dependiendo el producto a elaborar, la masa debe presentar características físicas, reológicas y texturales específicas tanto para que se adecúe a las operaciones subsecuentes como para que el producto final tenga las propiedades esperadas.

Las características de cada masa dependen de los componentes principales de la harina con la que se elabora (básicamente almidones y proteínas), su interacción con el agua, los demás ingredientes agregados como aditivos (leudantes, emulsificantes, espesantes, estabilizantes) y de las condiciones de proceso (velocidad, tiempo, forma de mezclado, temperatura y forma de adición de los ingredientes). La masa es uno de los materiales más complejos que han investigado los científicos en reología de alimentos debido a que su uso se extiende por todo el mundo.

1.4.2 Masa de maíz nixtamalizado

En Latinoamérica y especialmente en México las masas a base de harina de maíz nixtamalizado se emplean para la elaboración de gran cantidad de productos: tortillas y todos sus derivados (tostadas, totopos, tacos, sopes, etc.), tamales y botanas fritas u horneadas.

En el proceso tradicional de nixtamalización para obtención de masa fresca de maíz nixtamalizado, el maíz deshidratado se somete a una cocción en agua (120 a 300 % con relación al peso del maíz) con cal (0.1 – 2 %) a temperatura de 80 - 100°C por un tiempo de 0.5-3 h. Posteriormente la mezcla maíz/agua/cal se envía a tinajas de reposo donde se mantiene de 8 a 24 h a temperatura ambiente; es lavada para remover los residuos de pericarpio y cal y molida en un molino de piedras estriadas (Gasca y Casas, 2007).

La masa de maíz nixtamalizado es una red de moléculas de almidón solubilizadas y gránulos de almidón disperso, parcialmente gelatinizado, en una fase continua de agua libre, que sostiene los gránulos de almidón no gelatinizados, las piezas de endospermo y los lípidos. La masa de tortilla de maíz es ejemplo de una masa sin gluten que tiene propiedades cohesivas, y no tiene las propiedades elásticas características a la masa de trigo (Rodríguez y col., 2005). Estas propiedades dependen del tipo de maíz, las condiciones del proceso de cocción y molienda, el tamaño de partícula y el contenido de humedad.

1.4.3 Masa para tamal

En el caso de la masa para tamal la incorporación de aire durante el batido y la adición de grasa producen un sistema más complejo que es similar en composición y estructura a los batidos con los que se elabora los pasteles libres de gluten, pues contienen harina de cereales como (arroz, maíz, centeno, etc.), leudante, algún líquido y aire incorporado por un batido. Con el proceso de batido, se forma una emulsión aireada, viscosa con partículas suspendidas (Mizukoshi y col., 1980).

Debido a la estructura heterogénea de la masa y los problemas asociados con la cocción del producto (flujo de la masa durante las primeras etapas de cocción) la estructura del tamal es muy heterogénea, lo que influye en las propiedades físicas (densidad, porosidad, tamaño, forma y el área de los poros) y texturales como lo mencionan Zghal y col. (2002) para otros productos de panificación.

1.4.4 Métodos de evaluación de textura en masa

Considerando que la masa de maíz nixtamalizado no posee gluten, las pruebas reológicas de mezclado y extensión aplicadas a las masas de trigo, no son adecuadas para su estudio reológico. Ya que por su textura la masa de maíz nixtamalizado se puede moldear en una forma geométrica definida (cubo o cilindro) que se auto sostiene bajo la acción de la gravedad, las pruebas empíricas de perfil de textura se emplearon para su evaluación por diferentes investigadores. Así mismo, por la importancia de las propiedades adhesivas en la elaboración y moldeo de la tortilla, ensayos de adhesividad en máquinas de deformación se han reportado en masas de maíz (Mohamed y col. 2010).

Tomando en cuenta que la masa para tamal es untable y menos consistente que la masa para tortilla, las pruebas texturales adecuadas son aquellas que evalúan estas propiedades (firmeza y adhesividad). También es factible aplicar pruebas reológicas para definir el comportamiento viscoelástico. Las pruebas antes mencionadas son de gran utilidad como controles de calidad y para el estudio de influencia de formulación y condiciones de proceso; sin embargo no se encuentra documentado nada de lo antes referido para la masa de tamal.

1.5 Estructura y propiedades físicas del tamal

El tamal es similar en composición y estructura a panes y/o pasteles elaborados a base de harina de trigo u otros cereales, ya que consiste de una miga porosa con un gran número de celdas de aire que le proporcionan una textura esponjosa y suave y una baja densidad; se puede considerar como un pan de maíz cocido al vapor, motivo por el cual no desarrolla una corteza. A continuación se describirá la importancia que la estructura, propiedades físicas y textura, tienen en la calidad de productos a base de miga y los métodos más empleados para su evaluación, los cuáles pueden ser aplicados a los tamales.

1.5.1 Estructura de productos de cereales con miga

Los productos con una estructura de miga son definidos como sólidos suaves compuestos a nivel macromolecular por dos fases: una fluida (aire) y un material sólido (paredes de las celdas de aire), razón por la cual se les conoce también como materiales celulares. La densidad relativa (densidad del material celular/densidad del material sólido que constituye las paredes) es la principal característica que determina las propiedades mecánicas de estos productos, aunque otras características estructurales también influyen. Ya que estos materiales son producidos a través de procesos aleatorios que incorporan aire, ya sea físicos (batido), químicos (levado químico) y/o biológicos (fermentación), seguidos de cocción por horneado, vapor o fritura, es de esperarse que su estructura sea generalmente heterogénea, lo cual implica un ordenamiento no periódico de las celdas, variación en las propiedades de las paredes celulares e imperfecciones ocasionadas debido a la ausencia de paredes celulares que normalmente separarían celdas adyacentes. Tal heterogeneidad debe ser considerada para relacionarla con las propiedades mecánicas o en apoyo a su predicción (Scanlon y Zghal, 2001).

Barret y col. (1992) (citado en Scanlon y Zghal, 2001) mostraron que el 93 % de la variación en la resistencia a la compresión de extrudidos de maíz puede ser explicada por el tamaño de las celdas y la densidad. La estructura celular de la miga es un importante criterio de calidad utilizado en empresas panificadoras y laboratorios de investigación para juzgar la calidad de productos de panificación

junto con el color, el sabor y la textura física evaluada por medio de pruebas mecánicas y está relacionada con atributos como volumen, densidad y simetría del producto. Características importantes de la estructura de la miga son: tamaño y distribución de tamaño de las celdas, número de celdas por unidad de área (fineza), uniformidad, tamaño, forma y espesor de las paredes, fracción vacía, entre otras.

La relación entre la estructura de la miga y su apariencia es evidente, pero es también determinante en el volumen del producto, su resiliencia (la prueba típica que utiliza el consumidor para decidir la compra, que consiste en presionar suavemente el producto y percibir la respuesta de recuperación del mismo), y obviamente se reflejará en las propiedades mecánicas evaluadas instrumentalmente. Si esta estructura se evalúa de manera cualitativa y subjetiva (visualmente) generalmente proporciona resultados inconsistentes aún entre expertos entrenados; para la obtención de resultados consistentes y confiables se utilizan técnicas instrumentales de análisis de imágenes digitales, las cuales han sido ampliamente reportadas por varios investigadores (Scanlon y Zghal, 2001).

1.5.2 Estudio de estructura por medio de imágenes digitales

Consiste en obtener información de diferentes características de las celdas de aire y la miga y consta de varios pasos. En primer lugar, se adquiere una imagen digital de un corte (generalmente longitudinal) ya sea por medio de un escáner de cama plana, una cámara digital, una videocámara, microscopio electrónico o resonancia magnética (Figura 1.1 A). Las imágenes se convierten a formato de escala de grises de 8 bits y son procesadas por medio de algún software comercial de análisis de imágenes (Figura 1.1 B). En resumen el proceso consiste en lo siguiente. A las imágenes se les realiza un ajuste de contraste. Por otro lado, se realiza una calibración con una escala para asegurar que el resultado final se obtendrá en unidades de distancia (mm, in, etc.). En seguida se selecciona de la imagen un área de interés, generalmente de una tercera a una cuarta parte del tamaño de la imagen (Figura 1.1 A). El siguiente paso consiste en segmentar la imagen que es un proceso que separa o clasifica objetos de interés dentro de una imagen de sus alrededores, produciendo una imagen binaria.

En el caso de la miga, la meta de la segmentación es segregar de manera precisa las fases sólida y gaseosa y definir la distribución de celdas de aire y paredes celulares (Figura 1.1 C). Se han reportado varias técnicas para realizar la segmentación, ya sea manuales o basadas en algoritmos matemáticos y algunos softwares lo realizan en forma automática.

El último paso consiste en contar y medir características de las celdas como diámetros, área, u otros seleccionados por el usuario (Figura 1.2); una vez realizado el conteo y medida, el software ilumina de un color los objetos medidos y los puede clasificar por intervalos de tamaño en diferentes clases. A partir de los parámetros medidos (diámetros, áreas, perímetros, entre otros), se pueden calcular otros parámetros derivados como fineza, uniformidad, fracción vacía y realizar análisis estadístico de los resultados (Che Pa y col., 2013).

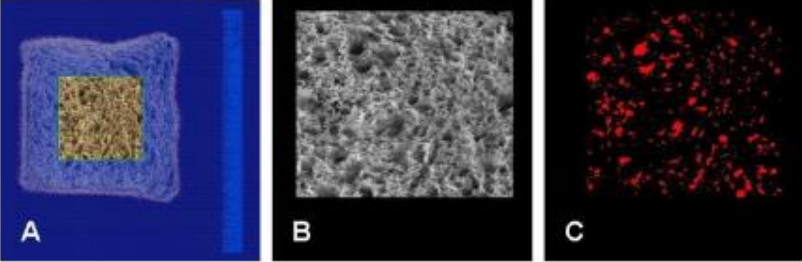


Figura 1. 2 A) Área de interés de una rebanada de pan; B) Imagen en escala de grises; C) Imagen segmentada

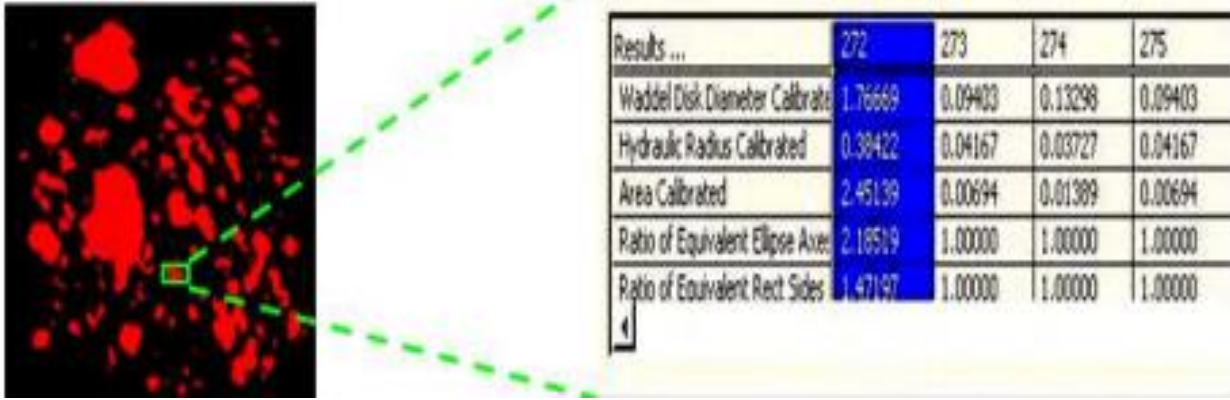


Figura 1. 3 Impresión de pantalla de los resultados arrojados por el análisis de imagen

Diferentes autores han estudiado a través del análisis de imágenes digitales, el efecto de aditivos (enzimas, almidones, gomas, emulsificantes), la sustitución de harina de trigo por harinas libres de gluten, la relación entre la estructura y las propiedades mecánicas

(Dapcêvić y col., 2014; Shibata y col., 2013; Sanz y col., 2008; Sciarini y col., 2010., Hager y Arendt, 2013; Renzetti y col., 2008; Álvarez-Jubete y col., 2010; Scanlon y Zghal, 2001; Zghal y col., 2002). Así mismo, han probado diferentes técnicas de segmentación de imágenes (Sapirstein y col., 1994; Lassoued y col., 2007; Che Pa y col., 2013).

1.5.3 Propiedades físicas del tamal

Entre las propiedades más medidas en productos de miga se pueden mencionar la humedad, pérdida de peso durante la cocción (horneado, a vapor, freído), color de la miga o la corteza (en su caso) y por supuesto la densidad o parámetros relacionados con la misma como volumen específico, porosidad, índice de volumen, densidad relativa. La humedad generalmente se determina por desecación en estufa (Álvarez-Jubete y col., 2010) y la pérdida de peso por diferencia entre el peso de la masa antes de la cocción y el peso del producto después de la cocción, ya que se encuentre a temperatura ambiente (Matos y col., 2014, Turabi y col., 2008a). El color es medido empleando espectrofotómetros de reflectancia o colorímetros, midiendo los valores de luminosidad (L), cantidades de rojo a verde (a), cantidades de amarillo a azul (b),(Clerici, 2009; Turabi y col., 2008a).

Como se ha destacado anteriormente, la estructura aireada de la miga influye de manera relevante en su apariencia y propiedades mecánicas, por lo que la evaluación de la densidad u otros parámetros relacionados con la misma (volumen específico, porosidad, índice de volumen), son rutinariamente evaluados en cualquier estudio de productos a base de miga. El método más reportado para medir la densidad de la miga consiste en medir el volumen de una pieza de masa conocida por medio del método de desplazamiento de semillas; el inverso de la densidad es el volumen específico (Turabi y col., 2008b; Sciarini y col., 2010, Renzetti y col., 2008; Matos, 2014; Sanz y col., 2008; Demikersen, 2010).

Otro método recientemente empleado para la medición del volumen es por medio de láser, empleando instrumentos llamados volunómetros como el Volscan Profiler (Texture Technologies, 2016) que obtienen una digitalización rápida en tres dimensiones de una pieza de pan o miga y dan como resultado volumen, máxima longitud, máximo espesor, volumen específico (Hager y Arendt, 2013, Álvarez-Jubete y col., 2010).

El picnómetro de Helio también ha sido empleado para la medición de la densidad de la miga (Zghal y col., 2002).



Figura 1. 4 Volscan Profiler, instrumento para medir la densidad del pan (Texture Technologies, 2016).

El índice de volumen es un parámetro relacionado con la densidad de la miga, y consiste en cortar una rebanada del centro de la pieza (pan, panqué, tamal) y medir la altura en tres puntos de la sección, el centro y en dos puntos separados la misma distancia hacia la izquierda y la derecha. El índice es la suma de las tres alturas (Turabi y col., 2008b).

1.5.4 Propiedades mecánicas de productos a base de miga

La evaluación de las propiedades mecánicas de los productos de cereales a base de miga es importante no solamente como prueba rutinaria de calidad en la industria, sino también para evaluar el efecto de cambios en ingredientes, condiciones de proceso y vida de almacenamiento, en la aceptabilidad del consumidor. Su comportamiento mecánico ha sido descrito como viscoelástico no lineal, el intervalo de esfuerzo o deformación en el que se comporta de manera

lineal es muy estrecho y no está bien definido. La dificultad para caracterizar las curvas esfuerzo-deformación de la miga se atribuye a su estructura porosa en la cual surge una compleja combinación de esfuerzos cuando el espécimen se somete a pruebas mecánicas. Además, la falta de homogeneidad en la distribución de las celdas y su tamaño, contribuye al comportamiento mecánico complejo.

Esta falta de homogeneidad es también causa de diferencias en las propiedades mecánicas de una misma pieza y entre piezas. Se ha encontrado que la firmeza de la miga del pan es mayor en el centro de la misma. A pesar de esto, el comportamiento mecánico debe ser evaluado debido a su importancia como factor de calidad, tomando en cuenta la necesidad de cuidar el muestreo y hacer suficientes repeticiones. Las técnicas más empleadas para evaluar las propiedades mecánicas de la miga son la compresión uniaxial, de la cual se derivan el módulo de Young de la pendiente de la zona lineal entre el esfuerzo y la deformación, el esfuerzo crítico y el esfuerzo de ruptura; además, la forma de las curvas a niveles de compresión altos (50-60 %), proporcionan información de los fenómenos que ocurren en la miga durante la prueba. Las pruebas de tensión en la miga son más difíciles de realizar debido a la dificultad de sujetar con pinzas, de obtener una pieza de forma y tamaño homogéneos para estirar y al hecho de que la concentración de esfuerzos en las pinzas de sujeción puede ocasionar la fractura y propagarla (Scanlon y Zghal, 2001; Zghal y col., 2002).

Algunos autores han realizado pruebas de fluencia en la miga para obtener información del comportamiento viscoelástico. En una prueba de fluencia, se aplica un esfuerzo constante durante un tiempo determinado y se mide la deformación relativa en función del tiempo. Shibata y col. (2013) encontraron una correlación significativa entre el módulo instantáneo de fluencia y la fracción de burbujas de aire con relación al área total estudiada por medio de análisis de imágenes digitales.

La prueba textural más ampliamente reportada en la miga del pan, pasteles y panqués es la prueba de perfil de textura, que evalúa firmeza, cohesividad, elasticidad así como parámetros derivados como masticosidad. La prueba consiste en comprimir una pieza de miga de dimensiones y forma especificadas, dos veces, simulando la masticación. Los niveles de compresión reportados varían de 10 a 75%, dependiendo del autor y el objetivo del estudio, sin embargo, los niveles más frecuentemente reportados son entre 35 y 40%. El nivel de compresión influye en la magnitud de los parámetros evaluados.

Se ha utilizado para evaluar el efecto de ingredientes como gomas, emulsificantes, proteínas de diferente origen, sustitución de harina de trigo por harinas de otros cereales en productos libres de gluten, así como en estudios relacionados con condiciones de proceso (mezclado, horneado, pre-cocción, etc.) y estudios relacionados con pruebas de envejecimiento (Álvarez-Jubete y col., 2010; Matos y col., 2014; Dapcêvić y col., 2014; Lara y col., 2011; Storck y col., 2013; Renzeti y col., 2008).

Una prueba más sencilla consiste en comprimir una pieza de miga una sola vez, para evaluar su firmeza, reportada como la fuerza necesaria para comprimir un porcentaje con relación a la altura original (25 %, por ejemplo), de una pieza de miga de dimensiones especificadas, tomada del centro de un panqué o pastel (Turabi y col., 2008a; Turabi y col., 2008b).

2. Materiales y métodos

2.1 Objetivos

Objetivo general

Evaluar la influencia del tipo de harina empleada, el proceso y día de elaboración; en las propiedades físicas y texturales de masa para tamal y tamal como alimento ya elaborado, permitiendo así generar información científica para su documentación.

Objetivos particulares

- 1). Caracterización física (tamaño de partícula, densidad y humedad) de dos harinas comerciales para tamal (fresca y deshidratada).

- 2). Caracterizar las propiedades físicas (densidad, humedad), texturales (pruebas de adhesividad en masa, punción, corte y perfil de textura en tamal), así como la estructura de la miga (porosidad) del tamal, a partir de dos tipos de harina (fresca y deshidratada), bajo dos procesos (manteca fundida y sin fundir) y dos días de elaboración diferentes.

- 3). Caracterizar las propiedades físicas (densidad, humedad), texturales (pruebas de adhesividad en masa, punción, corte y perfil de textura en tamal), así como la estructura de la miga (porosidad) del tamal, a partir de harina fresca del molino, bajo tres procesos de preparación (manteca fundida, manteca sin fundir y proceso de rutina en el molino) y dos días de elaboración diferentes.

2.2 Materia prima

En la Cuadro 2.1 se muestra cada uno de los materiales utilizados en la elaboración de los tamales para los procesos propuestos.

Cuadro 2. 1 Descripción de materia prima

Material	Características y referencia
Harina para tamales fresca	Harina húmeda con tamaño de partícula gruesos obtenida de la molienda de nixtamal sin adición de agua en el molino La abeja ubicado en Bosques de Morelos Cuautitlán Izcalli
Harina para tamales Maseca	Harina de maíz nixtamalizado Maseca para tamal norteño 1 kg.
Masa para tamal preparada, lista para usarse.	Se prepara a partir de maíz nixtamalizado recién molido en el mismo molino con adición de manteca y polvo para hornear.
Agente leudante (Royal)	Polvo para hornear Royal. Ingredientes: harina de arroz, gasificantes (bicarbonato sódico, pirofosfato ácido de sodio), estabilizante (fosfato monocálcico).
Manteca de cerdo	Manteca de cerdo J.C. Fortes 500 g, 100% Pura de cerdo.
Agua	Epura
Consomé de pollo en polvo	Caldo de pollo en polvo marca Knorr
Sal	Cloruro de sodio, dióxido de potasio y yodato de silicio. Marca La Fina presentación de 500 g

2.3 Actividades Preliminares

Durante la experimentación fue necesario replantear alguna de las formulaciones seleccionadas para la elaboración de los tamales, en el Cuadro 2.2 se encuentran las formulaciones propuestas al inicio de la experimentación, para cada uno de los procesos y distintos tipos de materias utilizadas.

Cuadro 2. 2 Formulaciones establecidas al inicio de la experimentación

Ingredientes	Con harina Maseca (%)	Con harina fresca de molino (%)
Harina	26.06	62.8
Manteca	19.9	15.7
Agua	51.68	15.7
Royal	1.06	2.51
Sal	0.8	2.01
Caldo de pollo en polvo	0.5	1.25

La formulación con harina Maseca corresponde a una masa elaborada propuesta por (Herrera, 2013), y la segunda corresponde a una masa elaborada a base de harina de molino, ésta fue propuesta por el propietario del molino en el cual se adquirió dicha harina.

Cada una de las formulaciones anteriores se utilizó para dos diferentes procesos, uno en el cual la manteca se funde previamente al mezclado (Figura 2.1) y donde la manteca se mezcló a temperatura ambiente (Figura 2.2), siendo la temperatura de adición de la manteca una variable que se puede controlar.

Elaboración de las masas

Para la elaboración de las masas se utilizaron tres procesos distintos en cada tipo de harina los procesos fueron los siguientes:

- Proceso utilizando manteca fundida

Independientemente de la harina a utilizar se coloca la cantidad de manteca de cerdo especificada por la formulación (Cuadro 2.2) en un recipiente, ésta se calienta en baño maría hasta alcanzar aproximadamente una temperatura de 45°C, la manteca se retira una vez que esté completamente líquida. Al mismo tiempo los ingredientes sólidos se mezclan con ayuda de una batidora marca KitchenAid modelo k555 a una velocidad mínima y por un tiempo aproximado de 5 minutos utilizando el dispositivo de paleta.

Una vez que se tiene la mezcla de sólidos secos en polvos y la manteca de cerdo fundida se procede a la mezcla de todos los ingredientes, esta se realiza en la misma batidora que se mezclaron los sólidos agregando alternadamente la cantidad de agua establecida en la formulación, así como la manteca fundida. Esta operación dura aproximadamente 30 minutos tiempo determinado por la prueba de flote de la masa (INAES, 2014), que determina cuando la masa está lista para comenzar con el proceso de cocción. Al tener la masa lista, esta se agregó sobre hojas de elote previamente hidratadas, con ayuda de un recipiente cilíndrico que empuja la masa con un embolo, esto con el fin de agregar una cantidad similar de masa en cada hoja y que los tamales tengan una forma final lo más homogénea posible. Una vez que se tiene el tamal, éste se coloca en la vaporera, en forma vertical y con el doblez de la hoja hacia abajo en la base, el tiempo de cocción es aproximadamente de una hora y treinta minutos; lo anterior está representado en el diagrama de proceso ilustrado en la Figura 2.1.

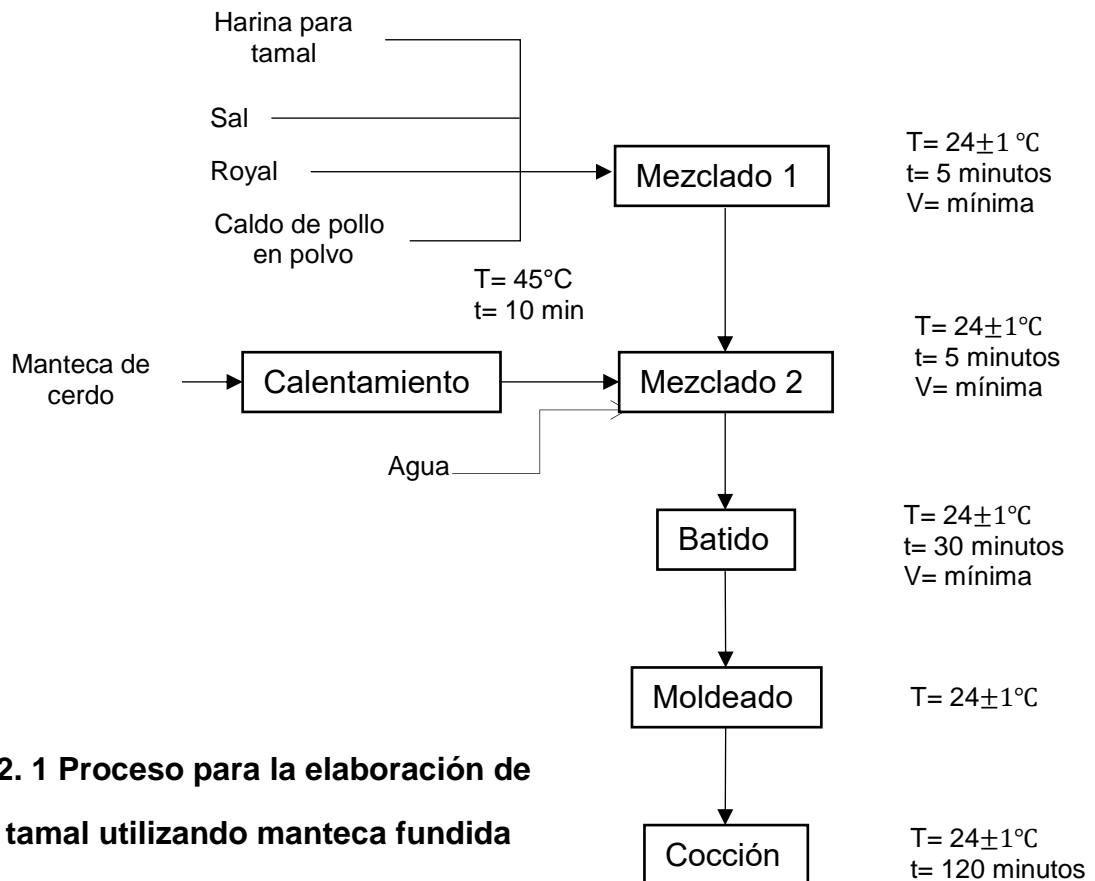


Figura 2. 1 Proceso para la elaboración de masa y tamal utilizando manteca fundida

- Proceso con manteca batida.

En este caso la manteca en vez de ser fundida es batida con ayuda de la batidora KitchenAid modelo k555 utilizando el dispositivo de paleta, el tiempo de batido es de 5 minutos. A diferencia del proceso con manteca fundida el batido de todos los ingredientes dura únicamente 5 minutos tiempo determinado de igual manera por el punto de flote. El proceso de moldeo y cocción es el mismo que para el anterior proceso.

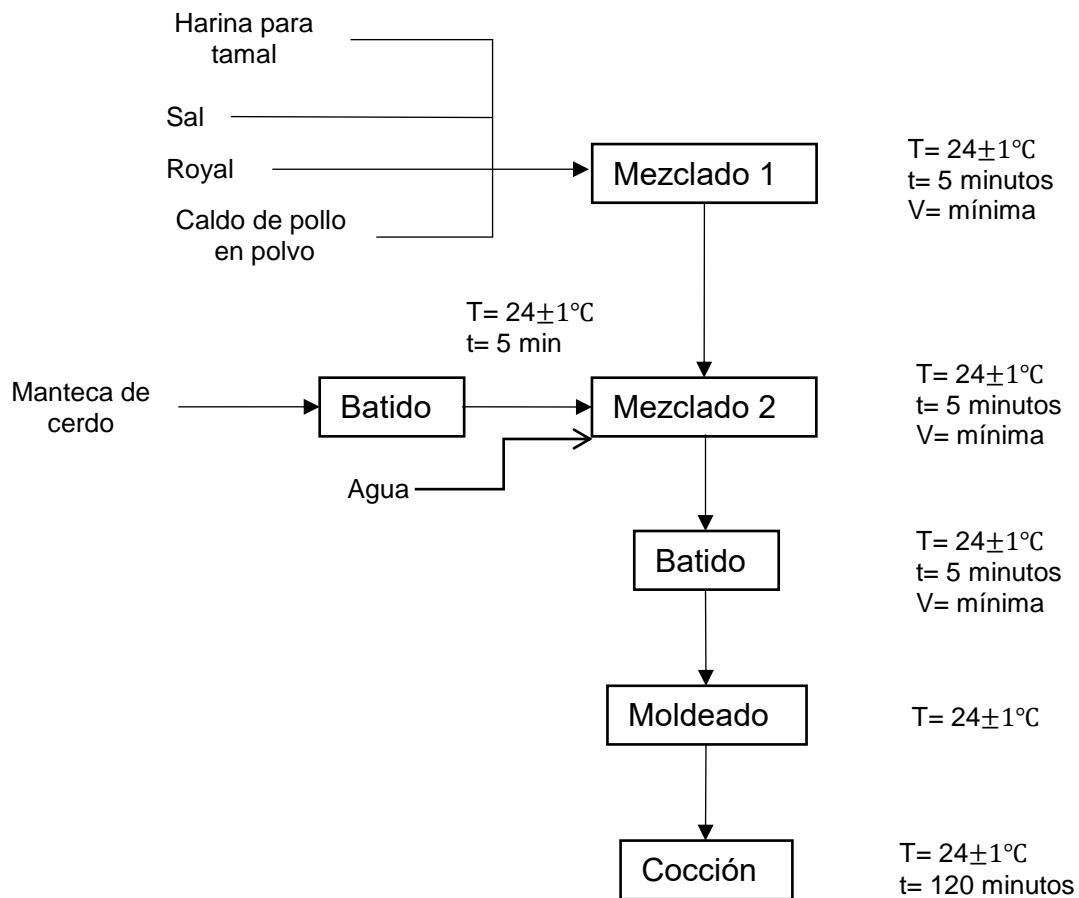


Figura 2. 2 Proceso para la elaboración de masa y tamal utilizando manteca batida

- **Proceso con manteca a temperatura ambiente**

Este proceso (Figura 2.3) es similar a los anteriores, en esta ocasión la manteca se agregó en estado sólido (25°C) alternadamente con el agua; el batido de todos los ingredientes requiere de un tiempo de 5 minutos para alcanzar el punto de flote, el moldeado y la cocción son los mismos que en los procesos anteriores.

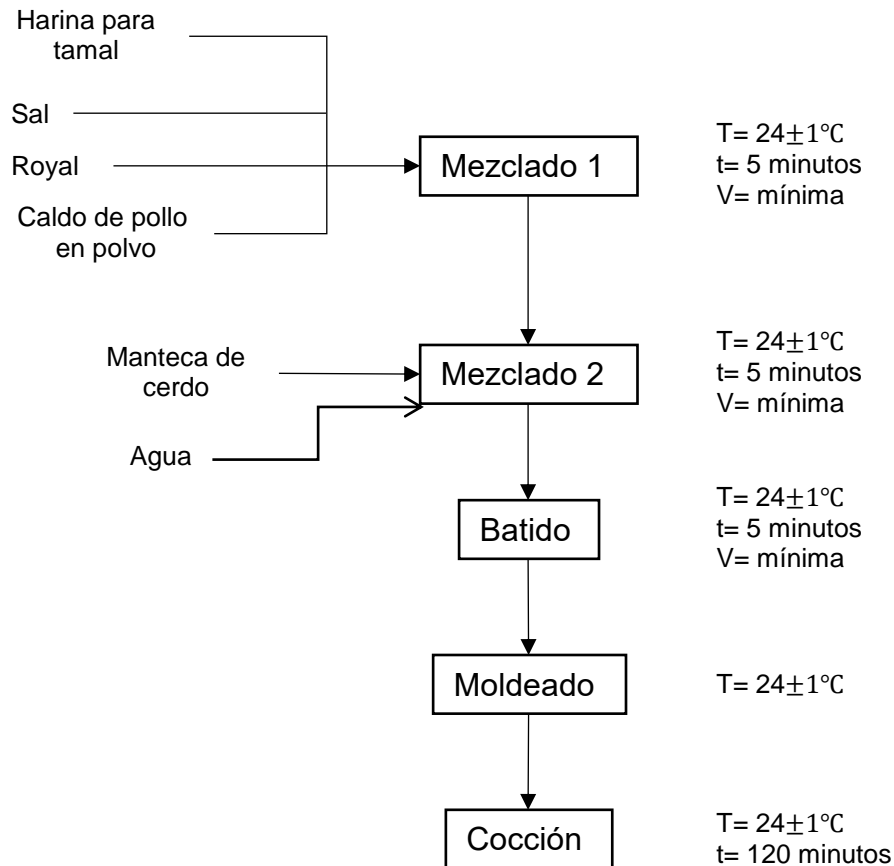


Figura 2. 3 Proceso para la elaboración de masa y tamal utilizando manteca a temperatura ambiente

2.4 Métodos de evaluación de propiedades físicas y texturales

2.4.1 Determinación de humedad

Esta prueba se realizó en cada harina y en cada masa y tamal elaborada en cada proceso a estudiar, se utilizó una termobalanza marca Ohaus, modelo MB45, país de origen E.U.A (Figura 2.4).

El equipo funciona sobre la base del principio termogravimétrico. Al comienzo de la medida, el analizador de humedad determina el peso de la muestra, a continuación, la muestra se calienta rápidamente por medio de la unidad halógena desecadora y la humedad se evapora. Durante la operación de desecación, el equipo determina continuamente el peso de la muestra y presenta el resultado. Cuando la desecación termina, el resultado se muestra como % de contenido de humedad, % sólido y peso (Corporation 2010).

Las condiciones empleadas fueron las siguientes: se utilizaron 3 gramos de muestra para harina y masa y 2 gramos para tamal; un perfil de secado rápido a 105°C (harina) y 120°C (masa y tamal); las pruebas finalizan cuando la pérdida de peso es menor a 1mg/min. La prueba se realizó por triplicado para todos los casos.



Figura 2. 4
Termobalanza Ohaus

2.4.2 Determinación de tamaño de partícula por tamizado

Este método se utiliza para determinar el tamaño de partícula de un polvo al hacerlo pasar a través de una malla de abertura específica y bajo condiciones establecidas. Se realizó un tamizado a 10 g de harina empleando 8 tamices de acero inoxidable de 7 cm de diámetro con mallas: 20, 40, 60, 80, 120, 170, 200, 270 utilizando un agitador de tamices por un tiempo de 10 minutos por prueba. Al terminar se pesó la cantidad de muestra retenida en cada tamiz registrando los resultados en un Cuadro como el 2.3.

Cuadro 2. 3 Registro de datos del análisis de tamaño de partícula

Numero de malla de cada tamiz (USA)	Abertura de la malla (mm)	Valor del peso retenido en la malla (g)	Valor de la fracción retenida en la malla (%)
20	0.84	-	-
40	0.42	-	-
60	0.25	-	-
80	0.17	-	-
120	0.12	-	-
170	0.08	-	-
200	0.07	-	-
270	0.05	-	-
Charola			

Los tamices utilizados fueron los únicos con los que contaba el laboratorio donde se realizó la prueba, por ese motivo la elección de su abertura. Para encontrar la moda se utilizó la información del cuadro 2.3 y con ayuda de una hoja de cálculo de Excel se obtuvo una curva de distribución representativa para cada harina (Figura 2.5). El valor de la fracción retenida se obtuvo multiplicando el peso retenido en cada malla por 100 y el resultado es dividido entre el total del peso de la muestra utilizada en la prueba; para el caso de la harina Maseca la muestra para cada corrida se tomó de la misma bolsa.

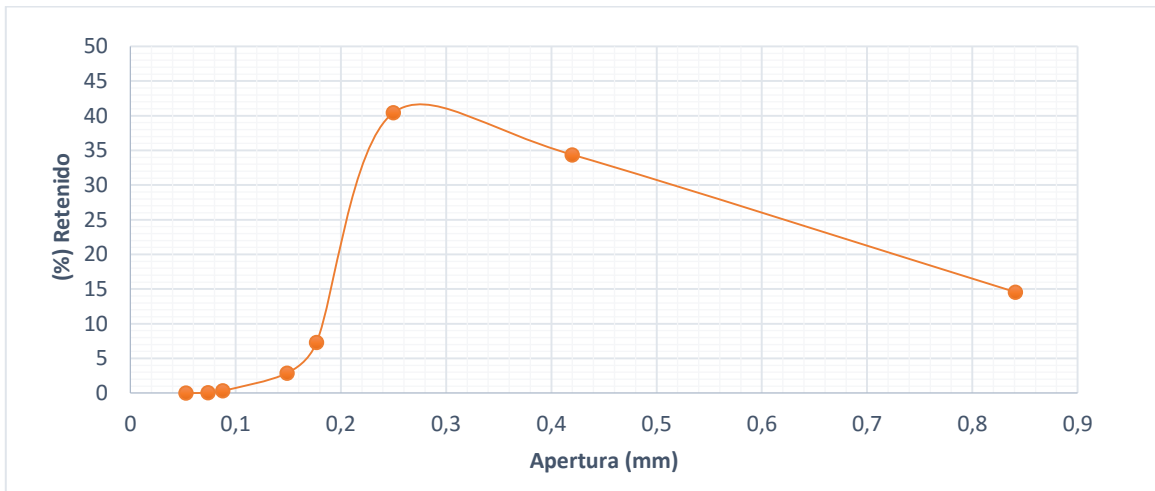


Figura 2. 5 Gráfico que representa una curva de distribución de tamaño de partícula.

Como complemento del análisis granulométrico en las harinas se determinó el diámetro medio Sauter que considera el volumen promedio de la partícula. (Cortázar 2008). Éste se obtuvo con ayuda de la siguiente ecuación.

$$Dp_{sau} = \frac{\sum xi}{\sum \frac{xi}{dpi}}$$

Donde: Dp_{sau} es el diámetro medio Sauter en (mm);

$\sum xi/dpi$ sumatoria del peso retenido de las partículas entre el diámetro correspondiente al promedio de las aberturas de mallas que pasa y que retiene.

2.4.3 Densidad

- Densidad del harina

La densidad, es una de las propiedades más características de cada elemento físico. Está dada por el cociente de la masa sobre el volumen. Para determinar esta propiedad en la harina se utilizó una probeta de 50 ml en la cual se vertieron 20 g de harina. Para eliminar el aire contenido en la harina, se trató de compactarla lo más posible golpeando la boca de la probeta con la palma de la mano en repetidas veces (aprox. 50 veces), una vez realizado esto, se tomó la lectura del volumen ocupado por la harina.

- Densidad de la masa

Para su determinación se tomaron tres cajitas Petri de las mismas dimensiones (14 mm de alto por 54 mm de diámetro), éstas fueron medidas con un vernier y pesadas. Una vez medidas y pesadas se llenó de muestra cada cajita Petri para volverlas a pesar, con los resultados obtenidos se aplicó la siguiente ecuación.

$$d = \frac{m_{\text{caja petri con muestra}} - m_{\text{caja petri vacia}}}{V_{\text{caja petri}}}$$

Donde:

$$d = \text{densidad} \left(\frac{g}{cm^3} \right)$$

$$m_{\text{caja Petri con muestra}} = \text{masa de la caja Petri con muestra} (g)$$

$$m_{\text{caja Petri con vacia}} = \text{masa de la caja Petri vacia} (g)$$

$$V_{\text{caja petri}} = \text{volumen de la caja Petri} (cm^3)$$

- Densidad del tamal

Se determinó utilizando la metodología propuesta por Carrillo (2007) usando el método de desplazamiento de semillas de mijo. El procedimiento fue el siguiente: en una probeta de 250 ml se midieron 200 ml de semillas de mijo. Parte de estas semillas (150 ml) se colocaron en otro recipiente (vaso de precipitado) para poder introducir la muestra de tamal dentro de la probeta, la muestra de tamal fue un

cilindro de aproximadamente 2 cm de diámetro y 2.5 cm de alto envuelto en plástico adherible. Ya con la muestra de tamal dentro de la probeta, se regresó el resto de las semillas de mijo y se midió el aumento de la altura de las semillas a partir de la marca de los 200 ml, con esta altura y el diámetro de la probeta se calculó el volumen de semillas desplazadas por el tamal utilizando la siguiente ecuación.

$$V = \pi \times r^2 \times d$$

Donde, V= volumen del tamal (ml), r= radio del vaso de precipitados (cm) y d = distancia desplazada (cm). La densidad se obtuvo dividiendo el peso de la muestra del tamal sobre el volumen de las semillas desplazadas.

2.4.4 Pruebas texturales

Se utilizó el Texturómetro Texture Analyser, marca Stable Micro Systems, modelo TA-XT2 (país de origen Inglaterra), con una celda de carga de 25 kg (Figura 2.6). Su fundamento se basa en tratar de imitar las operaciones humanas sobre los materiales para juzgar su comportamiento mecánico (masticación, presión con los dedos, corte, entre otros) y asumen que las fuerzas de reacción desarrolladas para la muestra representan acciones humanas.

El instrumento cuenta con una unidad motora, que gobierna otra unidad con movimiento en dirección vertical, y un sistema sensor de fuerza, durante la prueba se capturan datos de fuerza, distancia y tiempo.

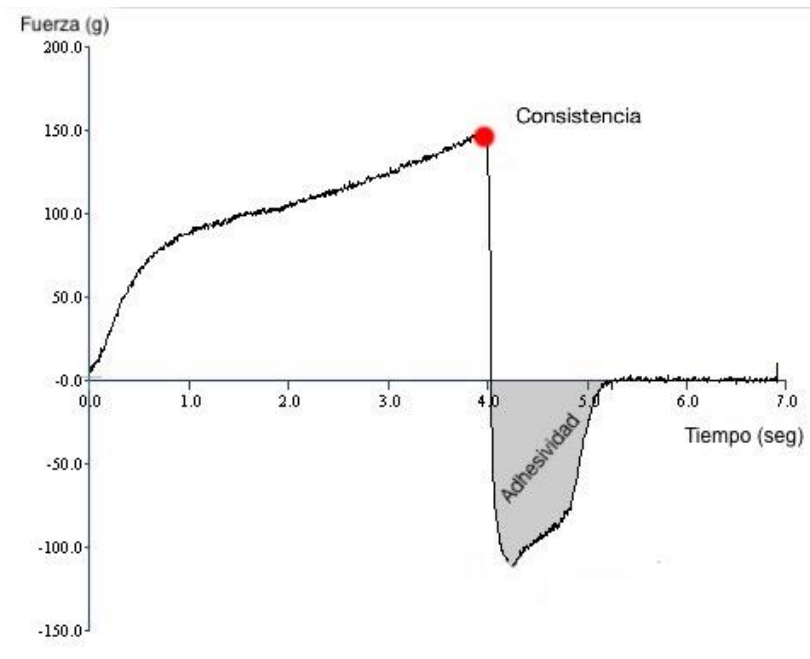


Figura 2. 6 Texturómetro Texture Analyser TA-XT2

- **Consistencia y adhesividad en masa**

La adhesividad fue definida por Szczesniak, (1963) como el trabajo necesario para vencer las fuerzas atractivas entre la superficie del alimento y otros materiales con los cuales entra en contacto. Comúnmente es vista como un atributo negativo en los alimentos, pero en algunos alimentos cierto nivel de adhesividad no es solo tolerable sino deseable, como en el caso de la masa para tamal que debe adherirse a la hoja de elote seca.

Para la prueba de consistencia - adhesividad se utilizó un cilindro de acrílico de 1 in, la muestra se colocó en cajitas Petri y tratando que la penetración del cilindro fuera en la parte central de la misma. Antes de realizar la prueba se calibró la distancia a la cual se separará el dispositivo, ésta fue de 35 mm. Se utilizó una velocidad de acercamiento y ensayo de 2 mm/s y de retirada de 10 mm/s con una fuerza de contacto de 5g y una distancia de penetración de 7.5 mm. De la curva fuerza - tiempo (Figura 2.7) se calcularon los parámetros que se describen a continuación.



Consistencia = Se calculó como la fuerza necesaria para penetrar la máxima distancia establecida.

Adhesividad = Se calculó como el área negativa hasta la separación del dispositivo de la masa.

Figura 2. 7 Curva característica de la prueba de adhesividad

- **Punción de tamal**

La prueba de punción muestra el trabajo necesario para penetrar una muestra de material sólido o semisólido con dispositivos cónicos, cilíndricos o esféricos. En este caso se midió la fuerza necesaria para que el dispositivo recorra una distancia específica. Se utilizó un cilindro de acero inoxidable de 3 mm de diámetro con una fuerza de contacto de 5g, velocidad de ensayo y velocidad de acercamiento de 2 mm/s así como una velocidad de retirada de 10 mm/s, con una distancia de penetración de 15 mm.

La penetración se realizó en un tamal entero en la parte central del mismo por triplicado, la separación entre cada una fue alrededor de 5 mm a un costado de la primera. Los parámetros calculados en la prueba de punción se ilustran en la Figura 2.8 y son los siguientes:

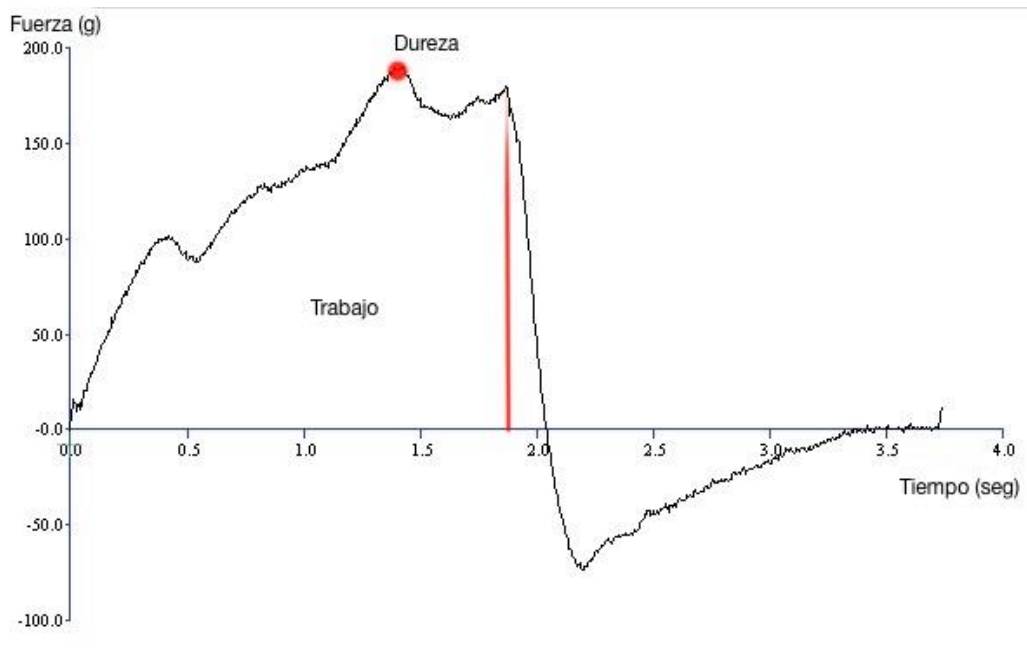


Figura 2. 8 Curva característica de la prueba de punción

Dureza = Se calculó como la fuerza máxima necesaria para penetrar la muestra.

Trabajo de penetración = Se calculó como el área bajo la curva durante la penetración.

- **Corte**

La prueba de corte determina la resistencia del material al ser sometido a un corte con una cuchilla de alambre que tiene un diámetro de 0.33 mm. Ésta consiste en colocar una muestra de tal manera que ésta sea cortada preferentemente en el centro de la misma, el tamal se colocó de manera perpendicular para realizar un corte transversal, se utilizó una fuerza de contacto de 10 g, velocidad de ensayo, de acercamiento y de retirada 2 mm/s y 30 mm de profundidad de corte.

Los parámetros calculados en la prueba de corte se ilustran en la Figura 2.9 y son los siguientes:

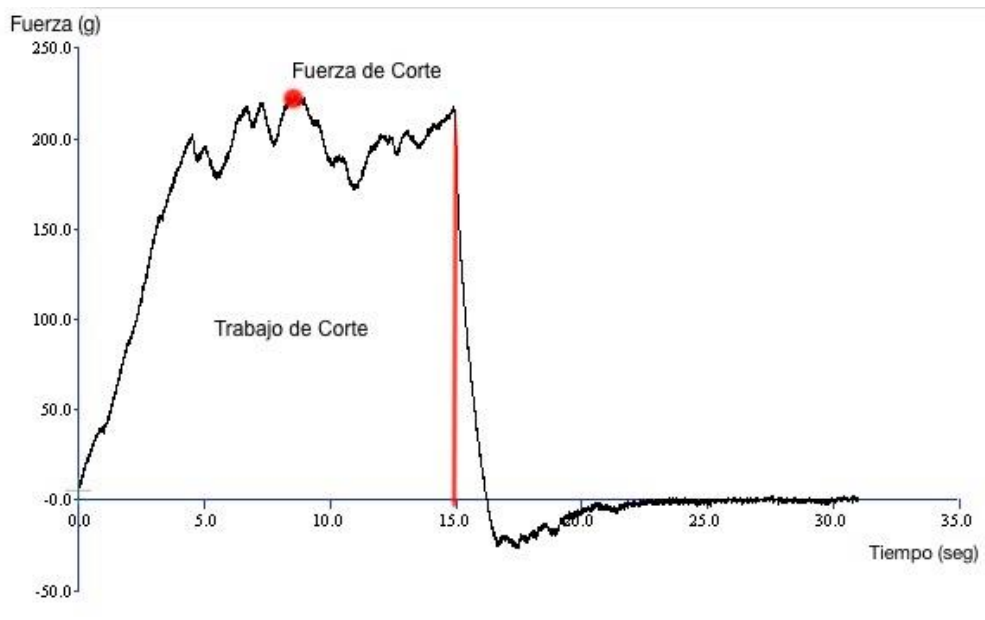


Figura 2. 9 Curva característica de la prueba de corte

Fuerza de Corte = Se calculó como la fuerza máxima necesaria para cortar la muestra.

Trabajo de Corte = Se calculó como el área bajo la curva durante el corte de la muestra

- **Perfil de Textura**

Dentro de los métodos mecánicos, en la categoría de imitativos, es donde nos encontramos con la prueba de perfil de textura (TPA, por sus siglas en inglés), siendo este análisis el más utilizado en la evaluación de productos de panificación. El TPA fue desarrollado por la General Foods en el año de 1960 durante sus estudios de correlación entre la evaluación sensorial y las medidas instrumentales de la textura del alimento (Szczesniak, 1963).

El método comprime una porción del alimento dos veces en movimientos recíprocos que imitan la acción de la masticación, obteniéndose diferentes parámetros texturales de una curva de fuerza – tiempo (Figura 2.10).

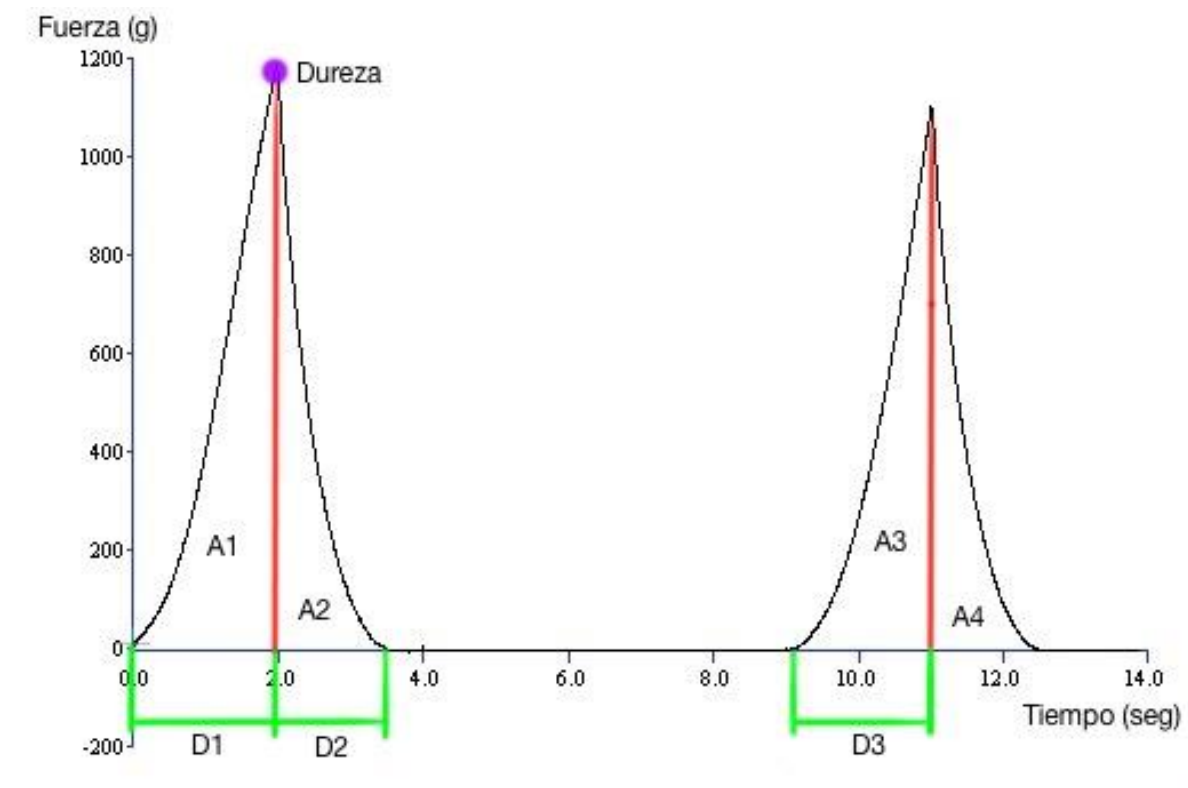


Figura 2. 10 Curva característica de la prueba de TPA

- **Dureza.** Se define como la fuerza necesaria para alcanzar una deformación dada y se calcula como la fuerza máxima en el primer ciclo de compresión.

- **Cohesividad.** Se define como la resistencia de los enlaces internos que forman el cuerpo del producto. Se calcula como el área bajo la curva de compresión del segundo ciclo sobre el área bajo la curva en la compresión del primer ciclo ($A3/A1$).
- **Elasticidad Total.** Es un índice de la recuperación elástica total de material. Se calcula como la distancia recuperada por la muestra en el tiempo transcurrido desde el término de la compresión en el primer ciclo y el inicio del segundo en relación con la distancia comprimida ($D3/D1$).
- **Resiliencia.** Se define como la capacidad de un cuerpo de almacenar energía elásticamente. Se calcula con el área bajo la curva en la descompresión del primer ciclo sobre el área bajo la curva en la compresión del mismo ($A2/A1$).
- **Elasticidad Instantánea.** Es un índice de las características elásticas ideales de un material (recuperación instantánea) en relación con la distancia comprimida. Se calcula como la distancia recuperada por la muestra durante la descompresión del primer ciclo sobre la distancia comprimida ($D2/D1$).
- **Elasticidad Retardada.** Este parámetro refleja la recuperación elástica debida al comportamiento viscoso del material. Se calcula restando el índice de recuperación elástica instantánea del índice de recuperación elástica total.
- **Masticosidad.** Es el resultado del producto de la dureza por la cohesividad por la elasticidad total (Casas y Pardo, 2005).

La prueba se realizó a un nivel de compresión de 20% con relación a la altura original de la muestra; ésta se obtuvo de la parte central del tamal y tenía una forma cilíndrica de dimensiones definidas (2.5cm de diámetro y 2 cm de altura). El corte de la muestra se realizó con un molde ya definido, para esta prueba se requieren muestras lo más homogéneas posibles. Se utilizó una placa metálica de 7.5 cm de diámetro con una fuerza de contacto de 10 g, una velocidad de ensayo, de acercamiento y de retirada de 2 mm/s, dejando un tiempo de espera de 5 s entre el primer y segundo ciclo de compresión. La prueba se realizó en 5 muestras diferentes, obtenidas de diferentes tamales.

2.4.5 Características de la miga por análisis de imagen

Las propiedades mecánicas de los productos de panificación dependen principalmente de su estructura, la abertura de la miga que es definida por el tamaño de las celdas de aire o el tamaño de los poros característicos de un producto de panificación. La caracterización de la estructura y del tamaño de abertura de la miga se puede obtener utilizando técnicas de análisis imagen (Lassoued, 2007). Muchos productos alimenticios con estructura celular como pan, botanas, espumas, debido a su variación estructural y sus defectos tienen influencia en las propiedades mecánicas. Se ha reportado numerosas técnicas para el análisis de imágenes, entre ellas la técnica de segmentación. El análisis consta de varios pasos que se pueden resumir como:

- **Preparación de la muestra de tamal para su digitalización**

Se tomó un tamal entero y se realizó un corte transversal con ayuda de la cuchilla de alambre, tomando como referencia el centro y la longitud más grande del tamal.

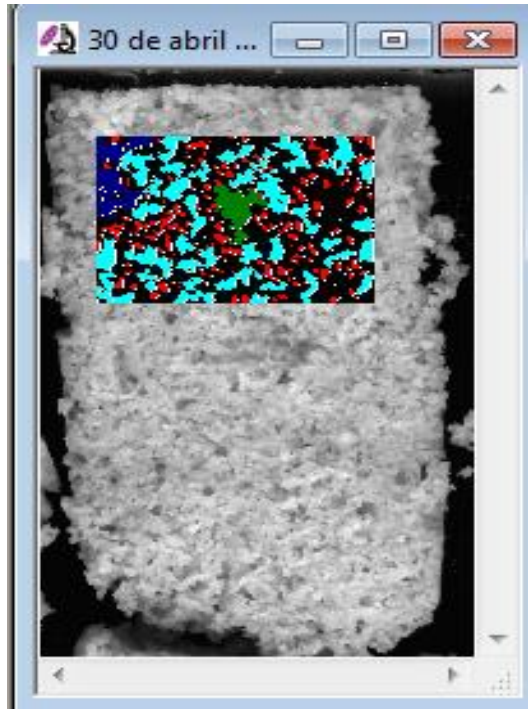
- **Digitalización**

Se colocó la muestra en un equipo de digitalización (escáner multifuncional HP modelo 6230) sobre una película de acetato para evitar ensuciar el escáner, se tapó con una caja de cartón para evitar que la luz modifique la lectura del escáner, el tamal se colocó sobre la cara que fue previamente cortada. El equipo permite seleccionar la definición y el color (a color o escala de grises) de la imagen a obtener, para facilitar el análisis posterior se seleccionó una definición de 300 ppp (píxeles por pulgada) escala de grises.

- **Análisis de Imagen**

La imagen resultante se analizó con ayuda del software ImagePro 6.0. Una vez abierta la imagen en el programa, se seleccionó la escala métrica en la que se trabajó, en este caso fue mm; ya seleccionada se prosiguió a seleccionar una área de interés dentro de la imagen, cuando se tiene esa área se hace un ajuste en el contraste, esto para obtener una mayor definición de los poros existentes en el tamal. Se aplicó una máscara la cual resaltó los poros, ya con la máscara se realizó una segmentación de la imagen (aprox. 140 tonos de gris) que permitió

separar los poros de las paredes de los mismos. Ya con la imagen lista se seleccionaron las características a medir (número de poros contados, diámetro y área de poros, y diámetro medio de los poros).



**Figura 2. 11 Ejemplo de análisis de imagen con el software ImagePro 6.0.
(cada color corresponde a una clase de poros con base en su tamaño)**

- **Mediciones de las características estructurales**

La medición de los parámetros (número de poros, área media de poros (mm^2) y el diámetro de poro promedio (mm)), se realizó automáticamente con ayuda del software y se hace referente al área seleccionada. Los valores de los parámetros antes mencionados obtenidos a partir del análisis de la imagen se exportaron a Microsoft Excel donde se realizó el cálculo de la fineza (número total de poros detectadas en el área total seleccionada), la uniformidad (la relación entre el número de poros inferiores a 1 mm, entre el número de poros mayores a 1 mm de diámetro) y la fracción de vacía (el área total de los poros entre el área evaluada) (Che Pa, 2013).

2.5 Análisis factorial

Para dar respuesta al objetivo 2 se realizó un diseño factorial donde se tuvieron 3 variables con 2 niveles cada uno (Cuadro 2.5).

Cuadro 2. 4 Variables y niveles a utilizar en el diseño factorial empleado para dar solución al objetivo 2

Variable	Niveles
Tipo de harinas	<ul style="list-style-type: none">• Harina para tamal Maseca• Harina fresca del molino
Proceso de elaboración	<ul style="list-style-type: none">• Adición de manteca a temperatura ambiente• Adición de manteca fundida
Día de elaboración	<ul style="list-style-type: none">• 1• 2

Para el objetivo numero 3, se utilizó harina fresca del molino, y se estudiaron dos variables.

Cuadro 2. 5 Variables y niveles a utilizar en el diseño factorial empleado para dar solución al objetivo 3

Variable	Niveles
Proceso de elaboración	<ul style="list-style-type: none">• Adición de manteca batida a temperatura ambiente• Adición de manteca fundida• Proceso y formulación de rutina empleados en el molino *
Día de elaboración	<ul style="list-style-type: none">• 1• 2

* La masa se compró ya preparada y la preparación y proceso empleados no fueron proporcionados por el propietario, solamente comentó que el mezclado se realizó en un mezclador helicoidal.

3. Resultados

3.1 Actividades preliminares

Durante la experimentación fue necesario replantear alguna de las formulaciones seleccionadas para la elaboración de los tamales, en el Cuadro 2.2 (pag. 21) se puede observar las formulaciones propuestas al inicio de la experimentación, para cada uno de los procesos y distintos tipos de materias utilizadas. La formulación de la segunda columna corresponde a una masa elaborada a base de harina Maseca ésta fue propuesta por Herrera (2013), y la segunda corresponde a una masa elaborada a base de harina de molino, está fue propuesta por el propietario del molino en el cual se adquirió dicha harina.

Cada una de las formulaciones anteriores se utilizó para dos diferentes procesos, uno en el cual la manteca se funde previamente al mezclado y el segundo donde la manteca se mezcló a temperatura ambiente. Se elaboró la primer masa utilizando harina Maseca y se ocupó el proceso en el cual la manteca se funde, este presentó un gasto excesivo de energía puesto que se requiere batir por lo menos 30 minutos para alcanzar el punto de flote de la masa, y el proceso se alarga demasiado lo que no lo hace factible, aunque la masa fue elaborada correctamente.

Para el caso de la harina proveniente del molino, se elaboró la masa de la misma manera que la elaborada con harina Maseca, presentando las mismas dificultades y en ésta ocasión la presentó un color oscuro, así como una densidad alta lo que originó que no flotara en agua y una consistencia no muy agradable al tacto, por lo cual se replanteó el proceso y la formulación de la masa elaborada a base de harina de molino. Se decidió retirar el proceso donde se ocupa la manteca fundida y en su lugar se colocó un proceso donde se batirá la manteca previamente antes de ser mezclada; de igual manera se realizó una reformulación para la harina del molino. Se utilizó un balance de materia para igualar la cantidad de sólidos y líquidos tomando como referencia la formulación con harina Maseca, la formulación se encuentra en el Cuadro 3.1.

Cuadro 3. 1 Nueva formulación para la harina del molino

Ingredientes	%
Harina	42.68
Manteca	34.96
Agua	20
Royal	1.06
Sal	0.8
Caldo de Pollo en polvo	0.5

Se elaboró la masa con la nueva formulación para la harina del molino utilizando el proceso de manteca sin batir, pero la masa quedó demasiado fluida. Aunque cumplió con la especificación del punto de flote descrito por (INAES, 2014) no fue factible utilizarla, ya que al momento de colocar la masa dentro de las hojas secas de maíz , ésta no se pudo moldear y se salía de la hoja. Por lo tanto se replanteó de nuevo la formulación; en esta ocasión se redujo el porcentaje de manteca y se aumentó el porcentaje de harina y agua quedando la formulación como se observa en el Cuadro 3.2.

Cuadro 3. 2 Formulación final establecida para la harina del molino

Ingredientes	%
Harina	50.18
Manteca	23.2
Agua	23.2
Royal	1.24
Sal	0.94
Caldo de Pollo en polvo	0.58

Con esta formulación se elaboró cada una de las masas, utilizando como harina la obtenida del molino.

3.2 Propiedades físicas de las harinas

3.2.1 Densidad

En el Cuadro 3.3 se realiza la comparación de la densidad de las harinas utilizadas durante la experimentación.

Cuadro 3. 3 Densidad de las harinas

Densidad Harinas (g/ml)		
Datos	Harina del molino	Harina Maseca
Promedio	0.740	0.627
Desviación	0.031	0.012
CV	4.167	1.869

Se puede observar que la harina del molino es más densa que la Maseca, esto se puede explicar muy fácilmente ya que la harina de molino tiene un gran contenido de agua lo que la hace más pesada que la harina deshidratada Maseca.

3.2.2 Tamaño de partícula

- Harina Maseca

Para el análisis de tamaño de partícula se realizó una curva de distribución donde está representado el diámetro de partícula y la fracción retenida en cada malla. En la Figura 3.1 se muestra la curva de distribución característica de la harina Maseca.

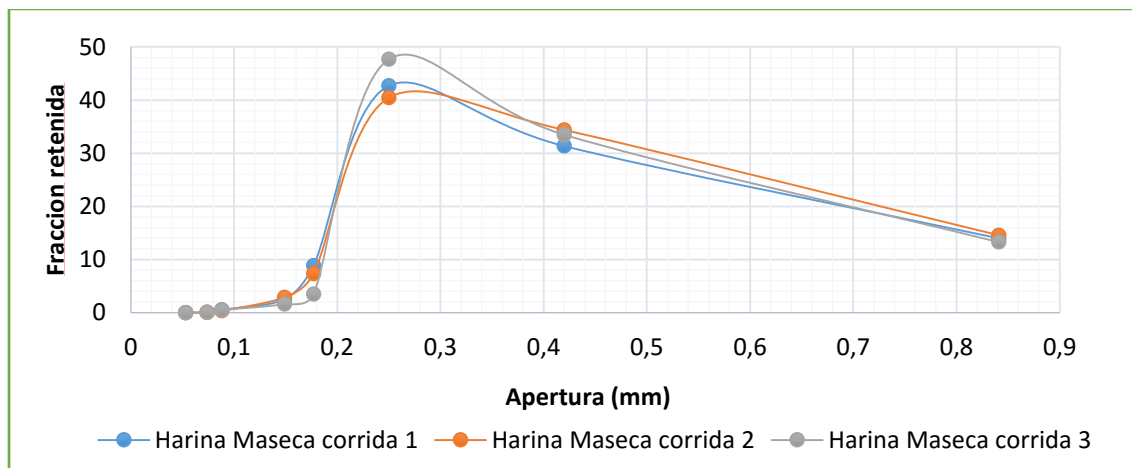


Figura 3. 1 Curva de distribución correspondiente a la harina Maseca

Se puede observar una distribución monomodal amplia cuya moda se localiza entre 0.2 mm y 0.3 mm para las tres corridas y la fracción retenida muy cercana, entre 40% y 48%. Al ser una distribución amplia el tamaño de partícula en la Maseca no es homogéneo. En el Cuadro 3.4 se encuentra el valor obtenido para el diámetro Sauter medio.

Cuadro 3. 4 Diámetro Sauter obtenido para la harina del molino

Diámetro medio Sauter medio Harina Maseca (mm)	
Datos	0.395
	0.408
	0.418
Promedio	0.407
Desviación Estandar	0.012
CV (%)	2.879

A diferencia del diámetro de la moda, el diámetro Sauter medio da un valor de 0.4 mm.

- Harina del Molino

En la Figura 3.2a y 3.2b se muestra la curva de distribución de tamaño para la harina del molino, donde se puede observar que no hay diferencia entre el diámetro moda (alrededor de 0.4 mm) de cada curva pero se observa una distribución diferente entre las mallas.

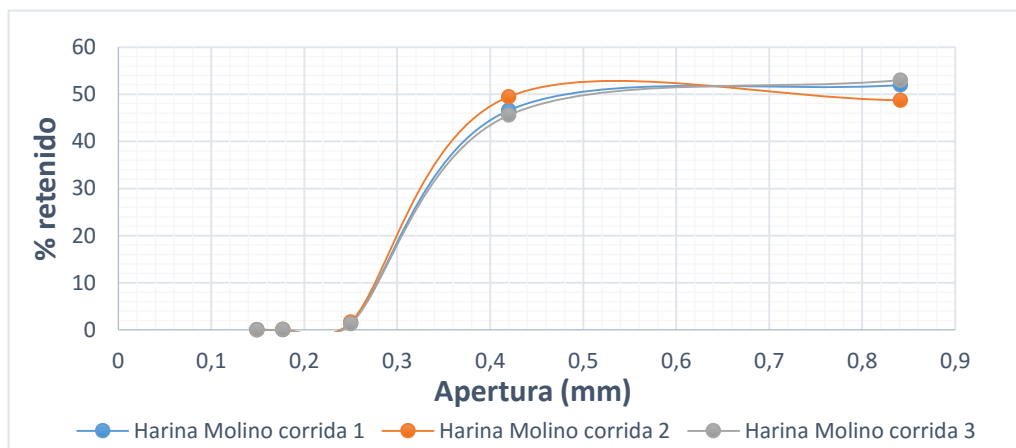


Figura 3. 2a Curva de distribución obtenida para la harina del día 1

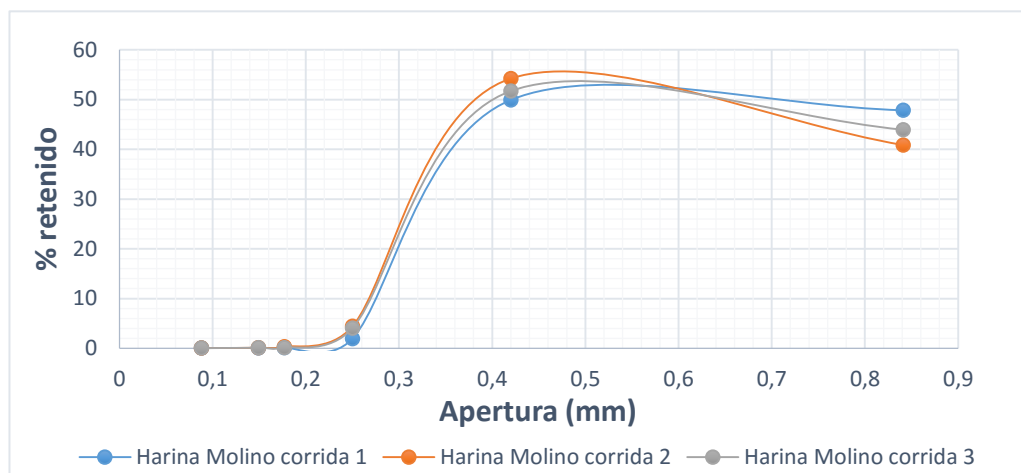


Figura 3. 3b Curvas de distribución obtenidas para la harina del molino día 2

En esta ocasión no se puede obtener el diámetro Sauter debido a que las aperturas de las mallas fueron demasiado pequeñas para hacer este análisis ya que prácticamente el 50% de la harina se retuvo en la malla de mayor apertura lo que muestra que esta harina tiene una distribución mas amplia.

3.2.3 Humedad

En el Cuadro 3.5 se muestran los valores obtenidos de la prueba de humedad, correspondiente a ambas harinas.

Cuadro 3. 5 Humedad para harina del molino y harina Maseca

Tipo de Harina	Humedad Harina Maseca (%)	Humedad Harina del Molino (%)		
		Día 1	Día 2	Día 3
Datos	Día 1	44.48	44.84	44.57
	10.39	44.47	44.92	44.54
	10.44	44.5	44.87	44.49
	10.4			
Promedio	10.410	44.483	44.877	44.533
Desviación	0.026	0.015	0.040	0.040
C.V.	0.2542	0.0343	0.0901	0.0908

Se puede observar claramente que dicho valor difiere en gran cantidad entre una harina y otra. La harina Maseca tiene menor contenido de agua debido a que ésta se vende en centros comerciales y tiendas locales, por lo que requiere tener una vida larga de anaquel; a diferencia de la harina del molino que regularmente se vende para ser utilizada el mismo día, y no es sometida a un proceso de deshidratación como la harina Maseca.

3.3 Propiedades de la masa y el tamal elaborado a partir de dos tipos de harina (fresca y deshidratada), bajo dos procesos (manteca batida y sin batir) y dos días de elaboración.

3.3.1 Propiedades de la masa

En este objetivo se estudió el efecto del tipo de harina (harina Maseca para tamal y harina para tamal obtenida del molino), el proceso (manteca batida a temperatura ambiente, manteca sin batir) y el día de elaboración (día 1 y día 2) en las propiedades físicas y texturales de la masa. En el Cuadro 3.6 se muestran los resultados del análisis estadístico (diseño factorial).

El análisis estadístico mostró que el tipo de harina tuvo efecto significativo ($\alpha=0.05$) en humedad densidad y consistencia, presentando la masa del molino un valor menor en estas propiedades; para el caso de la adhesividad el tipo de harina no tuvo efecto. Lo anterior se puede atribuir a la diferencia en tamaño de partícula y humedad inicial de cada harina con la cual se elaboraron las masas.

Con respecto al proceso no se encontraron diferencias significativas ($\alpha=0.05$) en humedad y densidad de las masas pero si en las propiedades texturales, siendo más altas con el proceso donde se batió la manteca, ya que al batirla esta mantiene su sistema lo que permite una mejor incorporación con los demás ingredientes; el día de elaboración no tiene efecto significativo.

Cuadro 3. 6 Efecto del proceso y día de elaboración en las propiedades de la masa para tamal, elaboradas con harina fresca (molino) y deshidratada (Maseca) para tamal

Variable	Nivel	Humedad (%)	Densidad (g/cm ³)	Consistencia (g)	Adhesividad (g*s)
Tipo de Harina	Maseca	55.81 ^a	0.807 ^a	133.68 ^a	89.17 ^a
	Molino	44.90 ^b	0.770 ^b	118.28 ^b	91.07 ^a
Proceso	Manteca sin batir	50.56 ^a	0.782 ^a	115.58 ^a	85.01 ^a
	Manteca batida	50.16 ^a	0.795 ^a	136.39 ^b	95.23 ^b
Día	1	50.47 ^a	0.788 ^a	122.78 ^a	87.47 ^a
	2	50.25 ^a	0.790 ^a	129.19 ^a	92.77 ^a

Para cada propiedad y cada variable, los valores que comparten la misma letra son estadísticamente iguales, con $\alpha=0.05$.

3.3.2 Propiedades físicas del tamal

En el Cuadro 3.7 se muestra el efecto del tipo de harina (harina Maseca para tamal y harina para tamal obtenida del molino), el proceso (manteca batida a temperatura ambiente, manteca sin batir) y el día de elaboración (día 1 y día 2) en las propiedades físicas y texturales del tamal.

Cuadro 3. 7 Efecto del proceso y día de elaboración en las propiedades físicas del tamal, elaborado con harina fresca (molino) y deshidratada (Maseca) para tamal

Variable	Nivel	Humedad (%)	Densidad (g/cm ³)
Tipo de Harina	Maseca	57.19 ^a	0.817 ^a
	Molino	45.30 ^b	0.645 ^b
Proceso	Manteca sin batir	51.28 ^a	0.797 ^a
	Manteca batida	51.21 ^a	0.665 ^b
Día	1	51.52 ^a	0.730 ^a
	2	50.97 ^b	0.731 ^a

Para cada propiedad y cada variable, los valores que comparten la misma letra son estadísticamente iguales, con $\alpha=0.05$.

La humedad y la densidad del tamal se ven afectadas principalmente por el tipo de harina con la que se elaboró, pues la diferencia de humedad entre ambas harinas es causante de esta variación.

El día en que se elaboraron los tamales también produjo una diferencia significativa ($\alpha=0.05$) para el caso de la humedad, ésta se puede atribuir a que el proceso de cocción no se controla totalmente pues influyen el tamaño del tamal, así como su ubicación dentro del recipiente donde se realizó la cocción. Sin embargo, la densidad sí se mostró afectada por el tipo de proceso, teniendo como resultado un menor valor de densidad para el tamal elaborado mediante el proceso de manteca batida, se piensa que esto es causado por el aire captado en el batido de la manteca.

3.3.3 Propiedades texturales del tamal (prueba de corte)

La Figura 3.3 muestra ejemplos de las curvas de corte obtenidas para tamales elaborados con las dos harinas (proceso manteca sin batir). Puede notarse una importante diferencia en la altura y área en las graficas, siendo estas mayores para el tamal elaborado con harina del molino.

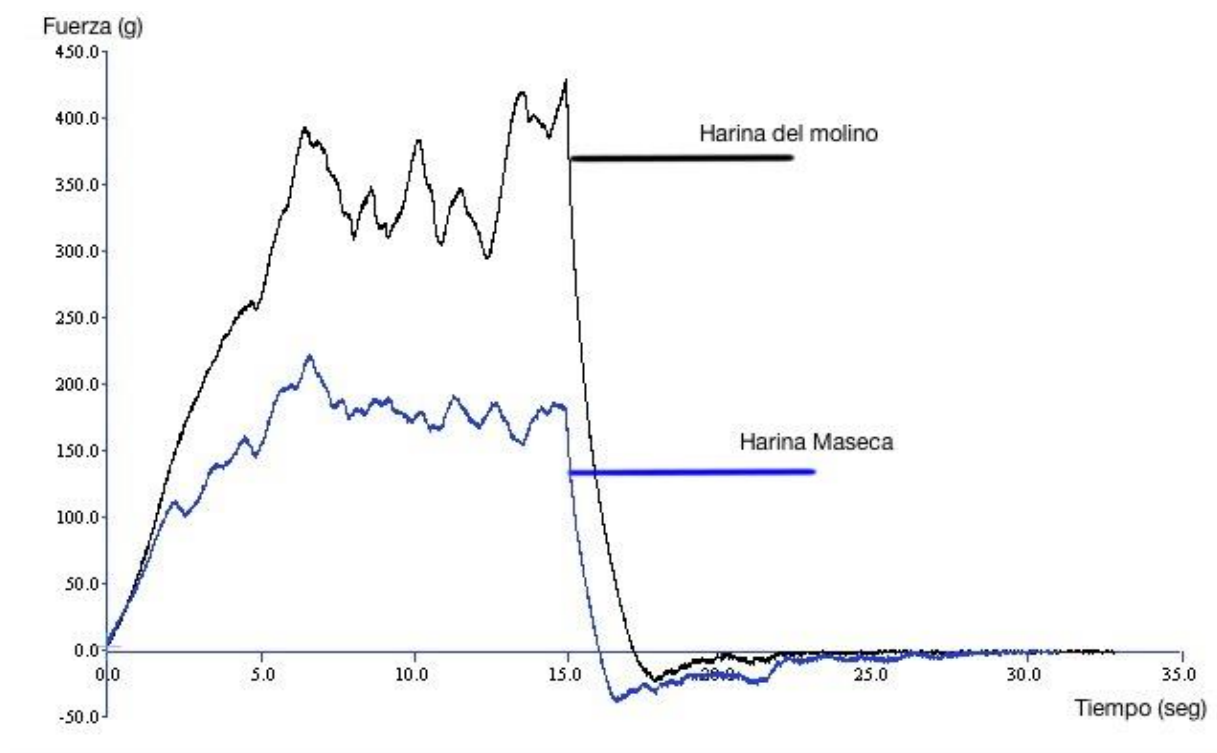


Figura 3. 4 Prueba de corte para tamal elaborado con harina del molino, y harina Maseca

En el Cuadro 3.8 se presentan los datos obtenidos de la prueba de corte para tamales elaborados con distintos tipos de harina (harina Maseca para tamal y harina para tamal obtenida del molino) y proceso (manteca batida a temperatura ambiente, manteca sin batir). Se observa que tanto el tipo de harina como el proceso generaron una diferencia significativa ($\alpha=0.05$) en las propiedades evaluadas (fuerza de corte y trabajo de corte).

Los tamales elaborados con harina Maseca presentaron una menor fuerza y trabajo de corte, esto se atribuye a la diferencia en el tamaño de partícula entre ambas harinas, pues el tamal elaborado con harina del molino es menos húmedo, lo que puede deberse a que la harina Maseca, con tamaño de partícula más pequeño capta más agua. Para el caso del proceso, el mayor valor registrado en ambas propiedades corresponde a los tamales elaborados con el proceso de manteca sin batir, pues éstos demostraron ser más densos, lo que genera una mayor fuerza y un mayor trabajo de corte. El día no tuvo un efecto significativo (Cuadro 3.8).

Cuadro 3. 8 Parámetros texturales de la prueba de corte en tamal. Efecto del tipo de harina, el proceso y el día de elaboración.

Variable	Nivel	Fuerza de Corte (g)	Trabajo de Corte (g*s)
Tipo de Harina	Maseca	246.5 ^a	2591 ^a
	Molino	469.5 ^b	4612 ^b
Proceso	Manteca sin batir	399.8 ^a	3931 ^a
	Manteca batida	316.2 ^b	3272 ^b
Día	1	337.5 ^a	3383 ^a
	2	378.4 ^a	3820 ^a

Para cada propiedad y cada variable, los valores que comparten la misma letra son estadísticamente iguales, con $\alpha=0.05$.

3.3.4 Propiedades texturales del tamal (prueba de punción)

La Figura 3.4 muestra ejemplos de las curvas obtenidas de la prueba de punción para tamales elaborados con las dos harinas (proceso manteca sin batir).

Se puede identificar que el tamal elaborado con harina del molino presentó una mayor dureza (pico más alto de la curva) y trabajo (área bajo la curva).

Los resultados obtenidos tienen la misma tendencia que los mostrados en la prueba de corte, ambos presentaron una diferencia por el tipo de harina, siendo la harina del molino la que produjo un valor más alto. El proceso y el día de elaboración no causaron diferencias significativas ($\alpha=0.05$).

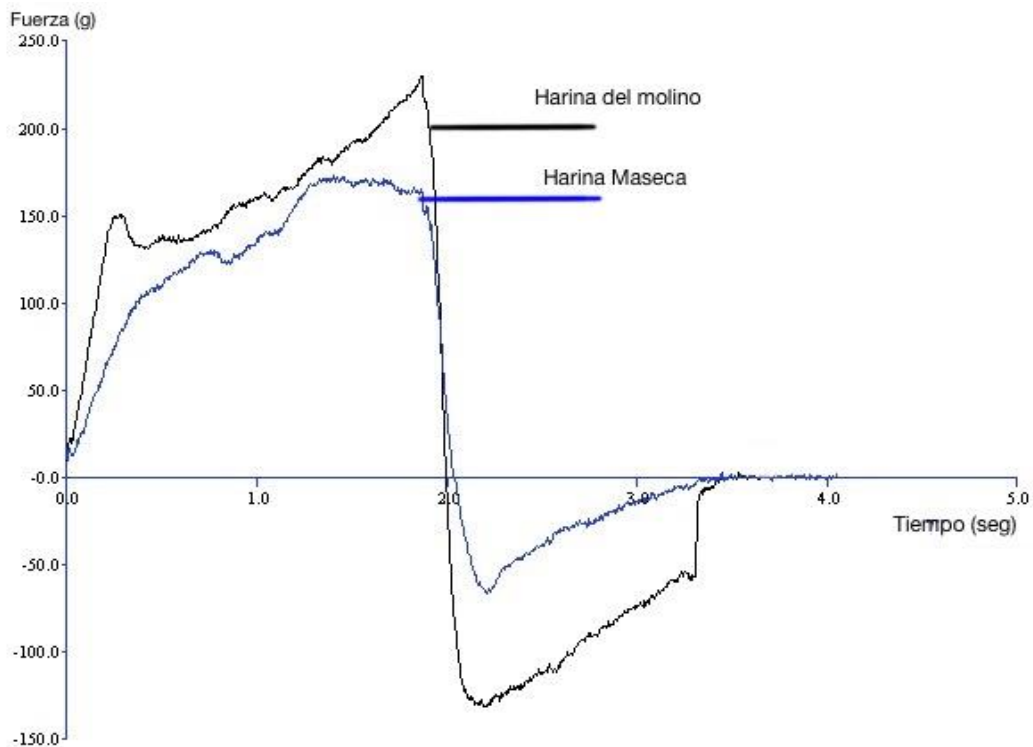


Figura 3. 5 Prueba de punción para tamal elaborado con harina del molino, y harina Maseca

En el Cuadro 3.9 se presentan los resultados obtenidos de la prueba de punción para tamales elaborados con distintos tipos de harina, proceso y día de elaboración.

Cuadro 3. 9 Parámetros texturales de la prueba de punción en tamal. Efecto del tipo de harina, el proceso y el día de elaboración.

Variable	Nivel	Dureza (g)	Trabajo (g*s)
Tipo de Harina	Maseca	164.62 ^a	115.83 ^a
	Molino	246.88 ^b	175.9 ^a
Proceso	Manteca sin batir	213.7 ^a	146.94 ^a
	Manteca batida	197.81 ^a	144.79 ^a
Día	1	212.93 ^a	146.91 ^a
	2	198.57 ^a	144.82 ^a

Para cada propiedad y cada variable, los valores que comparten la misma letra son estadísticamente iguales, con $\alpha=0.05$.

3.3.5 Propiedades texturales del tamal (perfil de textura)

La Figura 3.5 muestra las curvas de perfil de textura de tamales elaborados con harina Maseca y del molino con el proceso de manteca sin batir. Puede notarse que al igual que en las pruebas de corte y punción, la curva mas alta corresponde al tamal elaborado con harina del molino. También cabe resaltar que las curvas son bastante simétricas y hay poca diferencia en el ancho y la altura de las curvas del primer y segundo ciclo, lo que implica elasticidad y cohesividad altas.

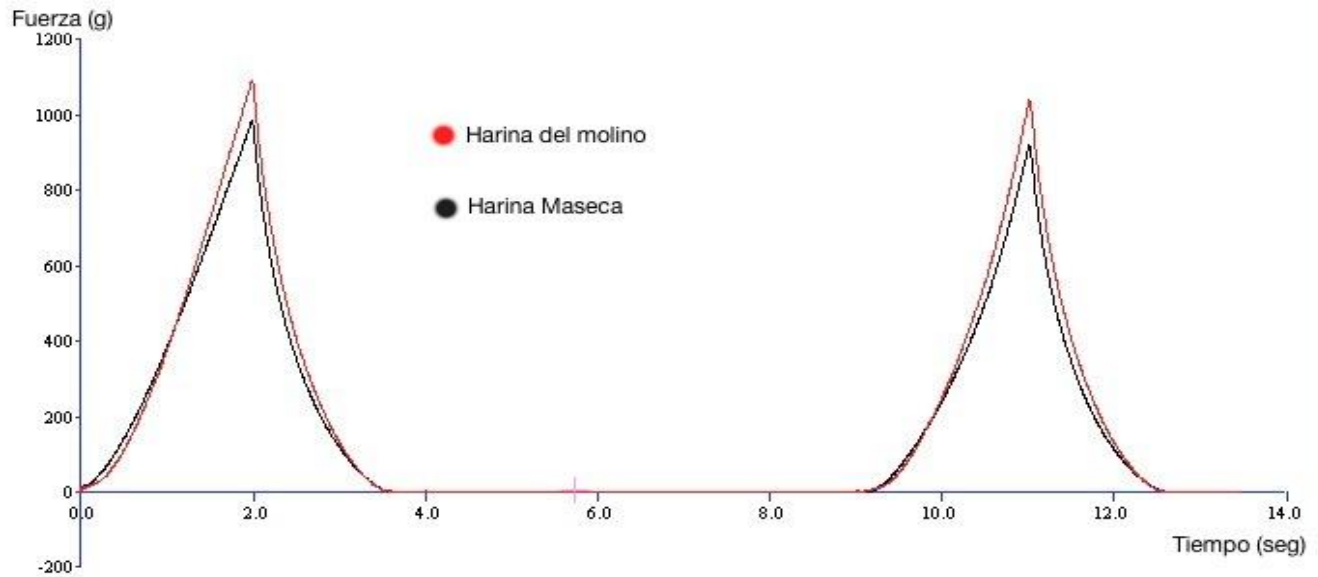


Figura 3. 6 Prueba de TPA para tamal elaborado con harina del molino, y harina Maseca, utilizando el proceso de manteca sin batir en ambas harinas.

El Cuadro 3.10 muestra el parámetro de la prueba de perfil de textura para los tamales elaborados con distintos tipos de harina, proceso y día de elaboración. La harina del molino mostró mayor valor de dureza, cohesividad, masticidad y resiliencia con respecto a la harina Maseca. Este comportamiento es el esperado ya que las pruebas de corte y punción presentaron ésta misma tendencia. El proceso con manteca sin batir produjo tamales con valores significativamente más altos en dureza, masticidad, resiliencia, elasticidad retardada e instantánea. Los altos valores de cohesividad y elasticidad instantánea (cerca de 0.8), así como la elasticidad total (alrededor de 0.95) confirman el comportamiento observado en las curvas, indicando que el tamal es un material con elasticidad y cohesividad alta.

Cuadro 3. 10 Parámetros de la prueba de perfil de textura en tamales. Efecto del tipo de harina, el proceso y el día de elaboración.

Variable	Nivel	Dureza (g)	Cohesividad	Elasticidad Total	Masticosidad (g)	Resiliencia	Elasticidad instantánea	Elasticidad Retardada
Tipo de Harina	Maseca	888.1 ^a	0.770 ^a	0.942 ^a	646.8 ^a	0.546 ^a	0.750 ^a	0.192 ^a
	Molino	1026.4 ^b	0.802 ^b	0.958 ^a	791.8 ^b	0.599 ^b	0.779 ^a	0.179 ^a
Proceso	Manteca sin batir	1090.3 ^a	0.796 ^a	0.951 ^a	826.1 ^a	0.587 ^a	0.795 ^a	0.215 ^a
	Manteca batida	824.2 ^b	0.776 ^a	0.949 ^a	612.5 ^b	0.558 ^b	0.734 ^b	0.156 ^b
Día	1	921.2 ^a	0.776 ^a	0.949 ^a	679.5 ^a	0.554 ^a	0.748 ^a	0.201 ^a
	2	993.3 ^b	0.796 ^a	0.951 ^a	759.1 ^a	0.591 ^b	0.781 ^a	0.170 ^a

Para cada propiedad y cada variable, los valores que comparten la misma letra son estadísticamente iguales, con $\alpha=0.05$.

3.3.6 Análisis de la estructura de la miga

En la Figura 3.6 se muestra la imagen de un tamal elaborado con harina Maseca después del análisis de imagen, en ésta se puede observar que el tamaño de poro del tamal elaborado con el proceso de manteca sin batir (a) es menor que el tamaño presentado en el proceso de manteca batida (b). Los poros tienen diferentes colores dependiendo su diámetro por lo que se puede observar una mayor cantidad de poros en el tamal elaborado con el proceso de manteca sin batir (a).

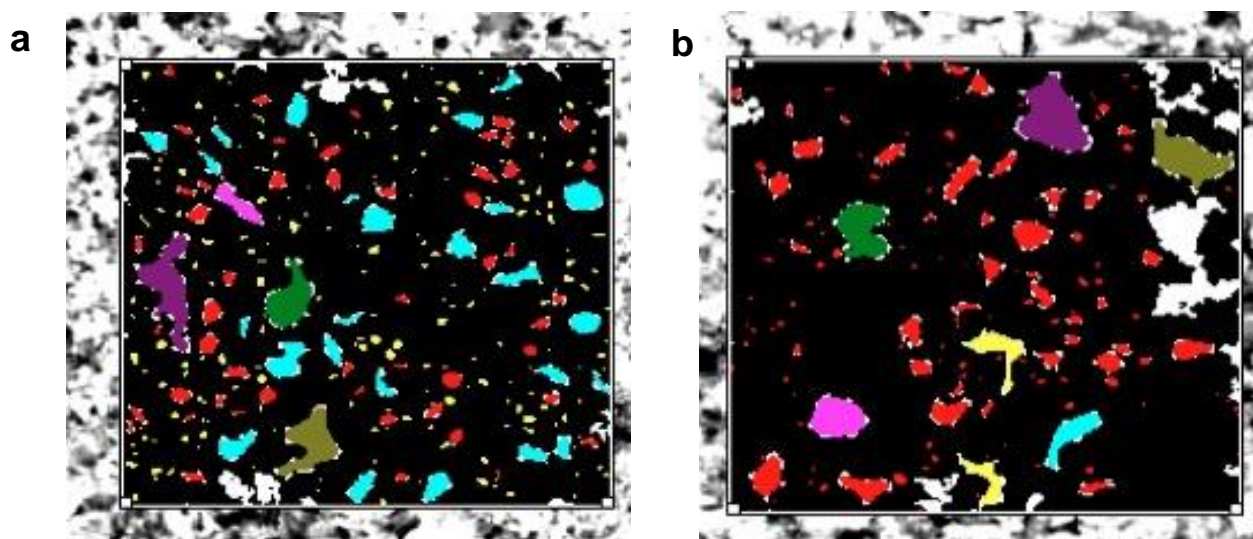


Figura 3. 7 Imagen de tamal elaborado con harina Maseca clasificada por el diámetro de los poros, a) proceso manteca sin batir, b) proceso manteca batida

En el Cuadro 3.11 se presentan los resultados obtenidos del análisis de imagen que se realizó a tamales elaborados con distintos tipos de harina, proceso y el día de elaboración. Los tamales únicamente presentaron diferencia significativa ($\alpha=0.05$) debido al proceso de elaboración y esto se puede observar sólo en las propiedades de fineza y número de poros. Para el proceso donde se bate la manteca se pudo observar un menor número de poros en la estructura del tamal, por lo que el valor de fineza también fue menor, esto se debe principalmente a que al batir la manteca la masa contiene una mayor cantidad de aire lo que genera poros más grandes, lo antes descrito se ilustra en la Figura 3.7.

Sin embargo, la fracción vacía resultó estadísticamente igual, lo que implica la misma cantidad de aire pero distribuido de diferente manera: mayor número de poros en el tamal con manteca sin batir y menor cantidad de poros pero mas grandes con la manteca batida.

Cuadro 3. 11 Efecto del proceso y día de elaboración en las características de la miga de tamal, elaborados con harina fresca (molino) y deshidratada (Maseca) para tamal

Variable	Nivel	Fineza (poros/cm ²)	Fracción vacía	Uniformidad	Numero de Poros
Tipo de Harina	Maseca	30.52 ^a	0.127 ^a	9.81 ^a	210.9 ^a
	Molino	31.59 ^a	0.145 ^a	8.79 ^a	220.8 ^a
Proceso	Manteca sin batir	33.82 ^a	0.137 ^a	10.63 ^a	235 ^a
	Manteca batida	28.29 ^b	0.135 ^a	7.97 ^a	196.6 ^b
Día	1	30.63 ^a	0.121 ^a	9.91 ^a	213.4 ^a
	2	31.47 ^a	0.150 ^b	8.69 ^a	218.3 ^a

Para cada propiedad y cada variable, los valores que comparten la misma letra son estadísticamente iguales, con $\alpha=0.1$.

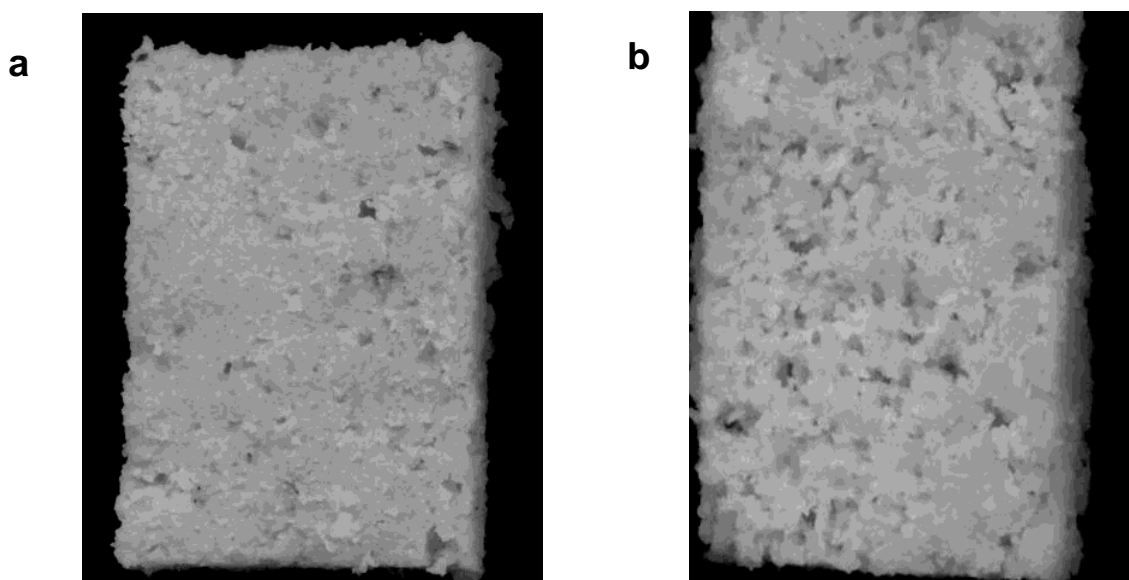


Figura 3. 8 Imagen en escala de grises de tamal elaborado con harina Maseca, a) proceso manteca sin batir, b) proceso manteca batida

3.4 Propiedades de la masa y el tamal elaborado a partir de harina fresca (harina del molino), bajo tres procesos (manteca batida, sin batir y proceso de rutina en el molino) y dos días de elaboración.

3.4.1 Propiedades físicas de la masa

En el Cuadro 3.12 se muestra, para la masa elaborada con harina del molino, el efecto del proceso y el día de elaboración en las propiedades físicas y texturales de la masa. Se encontró diferencia significativa ($\alpha=0.05$) entre los 3 distintos procesos, en la consistencia, adhesividad y densidad.

Los valores correspondientes a la masa elaborada en el molino están muy por debajo de los que presentan los procesos con manteca batida y sin batir, esto se atribuye a la manera diferente con la cual se elabora esta masa, pues se ocupa una máquina de batido específica (tipo tornillo helicoidal), y probablemente exista una diferencia en la proporción de los ingredientes con los que se elaboró así como el orden de incorporación, comparada con la formulación empleada en el laboratorio, esto se puede observar en la Figura 3.8 y en el Cuadro 3.12.

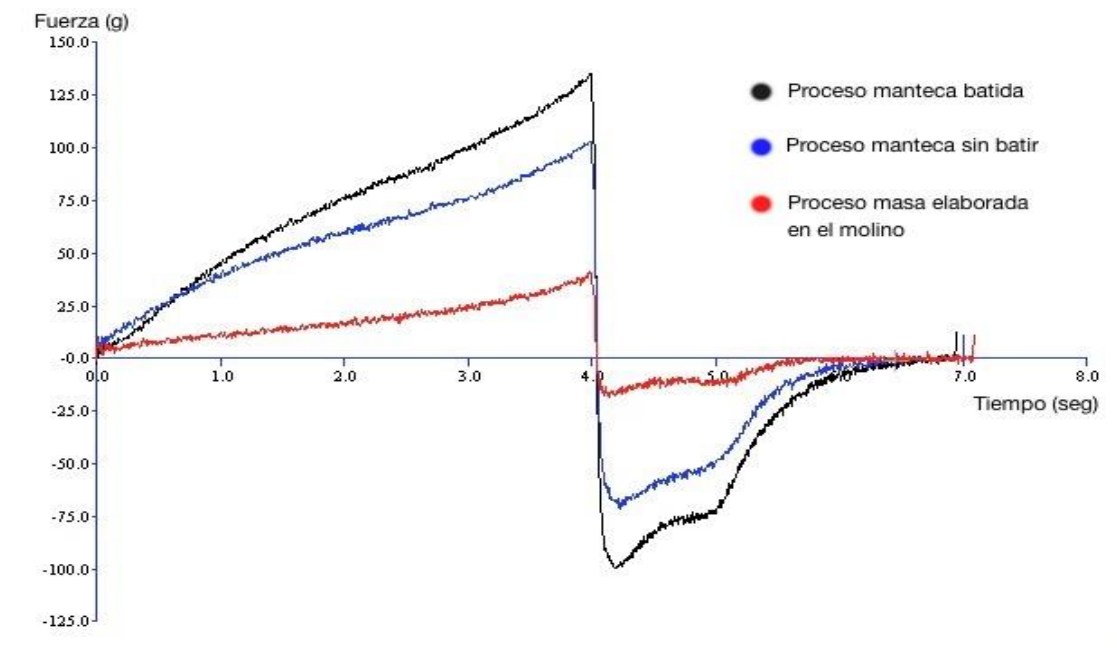


Figura 3. 9 Prueba de adhesividad para masa elaborada con el proceso de manteca batida, manteca sin batir y masa comprada directamente en el molino.

El proceso con manteca batida muestra un mayor valor en comparación con los otros dos procesos, en este caso, el día de elaboración no produjo diferencia significativa ($\alpha=0.05$) en las propiedades evaluadas.

Cuadro 3. 12 Efecto del proceso y día de elaboración, en las propiedades de la masa elaborada con harina fresca (molino) para tamal

Variable	Nivel	Humedad %	Densidad (g/cm ³)	Consistencia (g*s)	Adhesividad (g*s)
Proceso	Manteca sin batir	44.607 ^a	0.754 ^a	101.89 ^a	78.5 ^a
	Manteca batida	45.193 ^b	0.787 ^b	134.68 ^b	103.64 ^b
	Proceso del Molino	44.772 ^b	0.651 ^c	53.2 ^c	37.08 ^c
Día	1	44.926 ^a	0.732 ^a	95.72 ^a	71.37 ^a
	2	44.789 ^a	0.728 ^a	97.45 ^a	74.78 ^a

Para cada propiedad y cada variable, los valores que comparten la misma letra son estadísticamente iguales, con $\alpha=0.05$.

3.4.2 Propiedades físicas del tamal

En el Cuadro 3.13 se presenta el efecto del proceso (manteca batida, manteca sin batir, masa comprada directamente del molino) y el día de elaboración (día 1 y día 2) en las propiedades físicas y texturales del tamal elaborado únicamente con harina de molino bajo diferentes procesos.

Para este caso la diferencia principal radica en el proceso pues los tres son diferentes tanto como en la densidad como en la humedad, siendo el proceso de manteca batida el que presentó un menor valor. Cuando no se bate la manteca el valor de la densidad aumenta ya que se incorpora menos aire, lo que provoca que el tamal sea más denso. A diferencia del proceso el día únicamente mostró variación en la humedad, ésta cambia debido a lo aleatorio del proceso de cocción.

Cuadro 3. 13 Efecto del proceso y día de elaboración en las propiedades físicas del tamal elaborado únicamente con harina fresca (molino) para tamal

Variable	Nivel	Humedad %	Densidad (g/cm ³)
Proceso	Manteca sin batir	45.427 ^a	0.736 ^a
	Manteca batida	45.180 ^b	0.554 ^b
	Proceso del Molino	46.420 ^c	0.666 ^c
Día	1	45.842 ^a	0.656 ^a
	2	45.509 ^b	0.647 ^a

Para cada propiedad y cada variable los valores que comparten la misma letra son estadísticamente iguales, con $\alpha=0.05$

3.4.3 Propiedades texturales del tamal (corte y punción)

Los tamales que se elaboraron con harina del molino y masa elaborada en el molino (Cuadro 3.14) presentaron una diferencia significativa únicamente en uno de los procesos. El proceso donde no se bate la manteca presentó mayor trabajo y fuerza de corte, pues los tamales que se elaboraron con este proceso resultaron más compactos y densos debido a que al momento de batir la manteca se capta cierta cantidad de aire lo que reduce la densidad de la masa. En este caso el día presentó una diferencia significativa ($\alpha=0.05$), ésto se atribuye a que la masa o harina compradas en el molino en diferentes días, difieren en sus características debido a que el proceso de elaboración no es muy bien controlado por parte de quien elabora la masa. Los tamales elaborados con manteca batida y con el proceso del molino fueron estadísticamente iguales.

Cuadro 3. 14 Efecto del proceso y día de elaboración en las propiedades texturales (corte) del tamal elaborado con harina fresca (molino) para tamal

Variable	Nivel	Fuerza de Corte (g)	Trabajo de Corte (g*s)
Proceso	Manteca sin batir	528.3 ^a	5085.0 ^a
	Manteca batida	410.6 ^b	4139.0 ^b
	Proceso del Molino	407.1 ^b	4058.0 ^b
Día	1	399.5 ^a	3961.0 ^a
	2	497.8 ^b	4894.1 ^b

Para cada propiedad y cada variable los valores que comparten la misma letra son estadísticamente iguales, con $\alpha=0.05$

Los resultados para la prueba de punción se representan en el Cuadro 3.15 en el cual se puede observar que el comportamiento textural del tamal es similar al presentado en la prueba de corte, pues es nuevamente el tamal elaborado mediante el proceso donde no se bate la manteca el que presentó mayor fuerza y trabajo a la punción. El día de elaboración ocasionó una variación en el trabajo, nuevamente se hace alusión a que la masa o harina elaborada en el molino es la causante de dicho efecto.

Cuadro 3. 15 Efecto del proceso y día de elaboración en las propiedades texturales (punción) del tamal elaborado únicamente con harina fresca (molino) para tamal

Variable	Nivel	Dureza (g)	Trabajo (g*s)
Proceso	Manteca sin batir	200.50 ^a	280.80 ^a
	Manteca batida	151.30 ^b	212.90 ^a
	Proceso del Molino	177.80 ^b	263.00 ^b
Día	1	180.97 ^a	274.28 ^a
	2	172.10 ^a	230.19 ^b

Para cada propiedad y cada variable, los valores que comparten la misma letra son estadísticamente iguales, con $\alpha=0.05$.

3.4.4 Propiedades texturales del tamal (perfil de textura)

En la Figura 3.9 se observa que la curva más alta corresponde al proceso de manteca sin batir. La elasticidad instantánea y retardada también presentaron un mayor valor para el caso del proceso de la manteca sin batir esto es originado por la estructura más cohesiva presentada por este tipo de tamal.

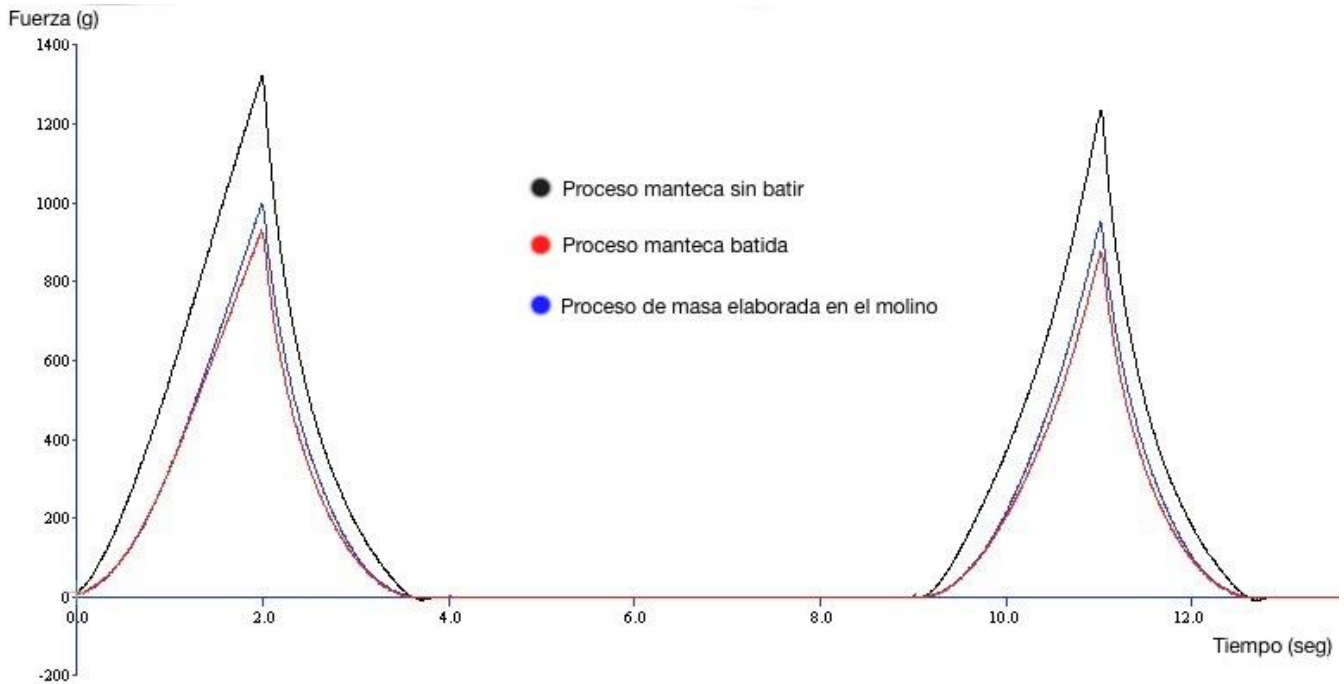


Figura 3. 10 Prueba de perfil de textura en tamal elaborado con proceso de manteca batida, con masa comprada ya elaborada en el molino y proceso con manteca batida

El Cuadro 3.16 corresponde a los resultados que mostró el perfil de textura para los tamales elaborados con harina del molino con distintos procesos y en diferentes días de elaboración. En esta prueba, el proceso solamente causó diferencia significativa en la elasticidad instantánea y retardada. Comparando los resultados del Cuadro 3.6, con los obtenidos para la harina Maseca se comprueba que la harina del molino mostró mayores valores en la dureza, cohesividad, masticidad y resiliencia con respecto a la harina Maseca (Cuadro 3.10, pag. 48).

Cuadro 3. 16 Efecto del proceso y día de elaboración en las propiedades texturales (perfil de textura) del tamal elaborado únicamente con harina fresca (molino) para tamal

Variable	Nivel	Dureza (g)	Cohesividad	Elasticidad Total	Masticosidad (g)	Resilencia	Elasticidad instantánea	Elasticidad Retardada
Proceso	Manteca sin batir	1126.5 ^a	0.804 ^a	0.960 ^a	870.2 ^a	0.615 ^a	0.826 ^a	0.134 ^a
	Manteca batida	926.3 ^a	0.799 ^a	0.957 ^a	713.5 ^a	0.584 ^a	0.733 ^a	0.224 ^b
	Proceso del Molino	931.1 ^a	0.805 ^a	0.962 ^a	719.4 ^a	0.616 ^a	0.838 ^b	0.123 ^b
Día	1	905.9 ^a	0.789 ^a	0.945 ^a	672.5 ^a	0.578 ^a	0.771 ^a	0.174 ^a
	2	1083.4 ^b	0.817 ^a	0.974 ^b	862.9 ^b	0.632 ^b	0.828 ^b	0.147 ^a

Para cada propiedad y cada variable, los valores que comparten la misma letra son estadísticamente iguales, con $\alpha=0.05$.

3.4.5 Análisis de la estructura de la miga

Para los tamales elaborados únicamente con harina del molino se presentó diferencia significativa en el día y en el proceso, el día se atribuye como en todos los casos anteriores a que la masa al ser comprada no se puede saber si se elaboró de la misma forma en ambos días. El proceso ocasionó diferencia en el tamal elaborado con la masa preparada en el molino pues al ser menos densa genera un tamal muy esponjoso, con estructura menos firme y con poros muy grandes (Figura 3.10).

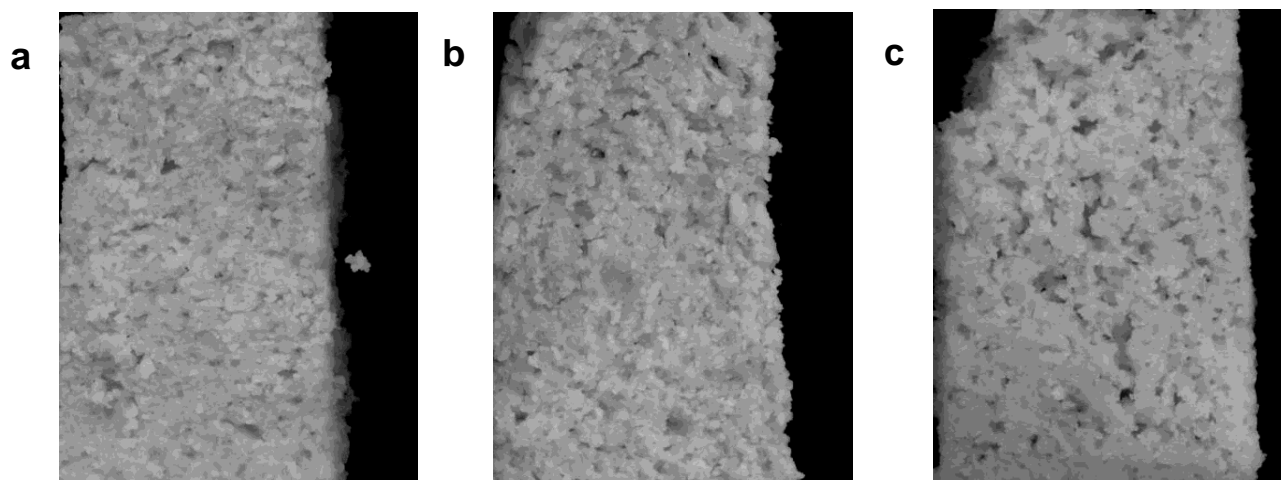


Figura 3. 11 Imagen en escala de grises de tamal elaborado con harina del molino, a) proceso manteca sin batir, b) proceso manteca batida, c) masa elaborada directamente en el molino

El tamal elaborado con la masa que se adquirió directamente del molino (c) tuvo el menor valor en fineza, uniformidad y número de poros, ésto se puede apreciar en el Cuadro 3.17, el tamal elaborado mediante el proceso de manteca batida (b) y con manteca sin batir (a) presentaron valores similares en cada propiedad pero el tamal elaborado con la masa preparada en el molino presentó menor número de poros y en consecuencia menor fineza y uniformidad pues sus poros fueron mas grandes.

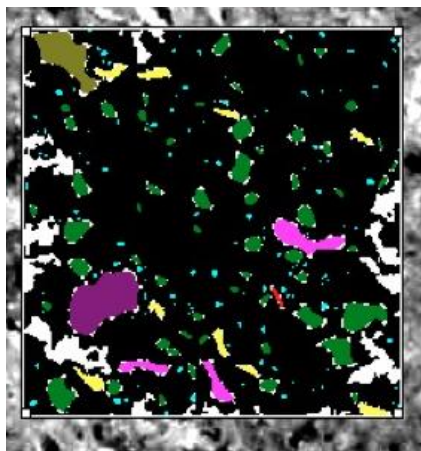
Cuadro 3. 17 Análisis de imagen de los tamales elaborados con harina del molino únicamente. Efecto del proceso y día de elaboración

Variable	Nivel	Fineza (poros/cm ²)	Fracción vacía	Uniformidad	Numero Poros
Proceso	Manteca sin batir	32.64 ^a	0.145 ^a	9.42 ^a	227 ^a
	Manteca batida	30.54 ^a	0.144 ^a	8.16 ^{ab}	214.5 ^a
	Proceso del Molino	20.95 ^b	0.156 ^a	4.96 ^b	146.8 ^b
Día	1	30.30 ^a	0.141 ^a	8.29 ^a	212 ^a
	2	25.79 ^b	0.155 ^a	6.73 ^a	180.2 ^b

Para cada propiedad y cada variable, los valores que comparten la misma letra son estadísticamente iguales, con $\alpha=0.1$.

El análisis de imagen realizó una selección de clases tomando como base el diámetro máximo de los alveolos que presentaron cada tamal, éstas se pueden observar gracias a que el software rellena los poros de cada clase con un color diferente (los poros de color blanco no son contabilizados al estar en el borde del área de trabajo).

a



b

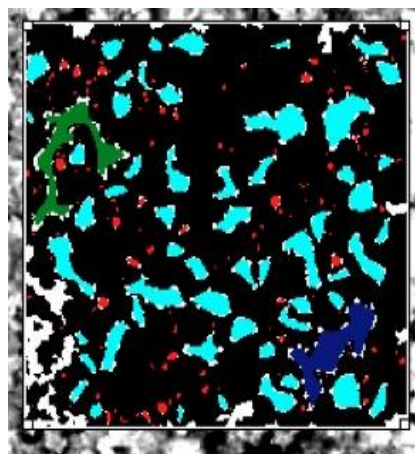


Figura 3. 12 Clasificación de poros por su diámetro, a) tamal elaborado con harina del molino proceso manteca batida, b) tamal elaborado con masa elaborada directamente en el molino. Representación de clases por colores

El mayor número de clases encontradas fue de 7 y se presentó principalmente en el tamal elaborado con harina Maseca en cualquier proceso y harina del molino únicamente con manteca batida (Imagen 3.11 a), a diferencia de los tamales que se elaboraron con masa preparada en el molino pues presentaron entre 4 y 5 clases Imagen (3.11 b).

Esto se debe a que los tamales contaban con alveolos más grandes que ocuparon un mayor espacio dentro del área de trabajo, lo que redujo la oportunidad de variación en las dimensiones del alveolo y en consecuencia se encontraron menor numero de clases.

Conclusiones

El tamaño de partícula y la humedad de la harina empleada en la preparación de la masa influyeron en las propiedades de la misma y del tamal, pues en la mayoría de las propiedades físicas y texturales se observaron diferencias significativas.

Con el proceso de manteca batida, la masa fue más consistente y adhesiva y los tamales menos densos, con menor fuerza de corte y punción, así como menos duros, masticosos, resilientes y con menor elasticidad instantánea, debido a que el batido propicio que la manteca incorporara mas aire. En las características de la miga, solamente tuvo influencia el proceso de preparación de la masa, pues con la manteca batida, se tuvieron menos poros y éstos fueron más grandes, ocasionando una menor fineza (menos poros/ cm²), con fracción vacía (fracción de área de poros con relación al área total) estadísticamente igual.

Cuando se utilizó solamente harina fresca del molino probando tres procesos de preparación de masa, la masa preparada con el proceso de rutina del molino fue menos húmeda, densa, cohesiva y adhesiva que las preparadas con los procesos de laboratorio (manteca batida y sin batir) y los tamales fueron más húmedos y menos densos; los parámetros de corte y punción fueron estadísticamente iguales a los obtenidos con el proceso de manteca batida y menores que los del proceso de manteca sin batir, en perfil de textura, no se observaron diferencias a excepción de la elasticidad instantánea y retardada, que fueron más alta la primera y más baja la segunda. En la mayoría de las propiedades físicas y texturales se encontraron diferencias por efecto del día de elaboración, lo que muestra la poca reproducibilidad del proceso de preparación de la harina y masa en el molino. El estudio de las características de la miga mostró que con la masa preparada en el molino se obtuvieron tamales con menos poros y por lo tanto menor fineza y uniformidad (el número de poros menores de 1 mm fue menor que en los otros dos procesos). Las pruebas empleadas permitieron detectar diferencias por efecto de las variables estudiadas por lo que se puede concluir que la información recaudada permitirá ser la base para futuras investigaciones que selecciones a la masa de tamal e el tamal, como tema de estudio.

Referencias

Álvarez-Jubete, L., Auty, M., Arendt E.K. 2010. Baking properties and microstructure of pseudocereal flours in gluten-free bread formulations. *European Food Research*, 230, 437-445.

Aranda, F. D. 1998. Antojitos. *Guia México Desconocido*, 44.

Brousse, A. B. 2012. Cinética de adsorción de agua en purés deshidratados de mandioca. *Venezolana de ciencia y tecnología de alimentos*, 3, 80-96.

Casas, N. B., Pardo, D.G. 2005. Analisis de perfil de textura y propiedades de relajacion de geles de mezclas almidon de maiz ceroso entrecruzado-gelana. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 4, 107-121.

Cedillo, E. C. (01 de Febrero del 2014). Recuperado el 27 de 08 de 2014: http://spanish.xinhuanet.com/iberoamerica/2014-02/01/c_133088267.htm

Che Pa, N.F., Chi, N.L., Yusof, Y.A., Aziz, N.A. 2013. Measurement of bread crumb texture via imaging of its characteristics. *Journal of Food Agricultural and Environment*, 11, 48-55.

Clerici, M.T.P., Airoldi, C., El-Dash, A.A. 2009. Production of acidic extruded rice flour and its influence on the quality of glute-free bread. *LWT-Food Science and Technology*, 42, 618-623.

Codinä, G. G. (2013). Influence of mixing speed on dough microstructure and rheology. *Food Technol Biotechnol*, 509-519.

CONABIO. (s.f.). Maíces . Recuperado el 17 de agosto de 2014, de Biodiversidad Mexicana : <http://www.biodiversidad.gob.mx/usos/maices/maiz.html>

Contreras, M. M. (s.f.). Tamales Emporio. Recuperado el 03 de 09 de 2014, de El tamal y sus orígenes: <http://www.tamales.com.mx/>

Corporation, O. (2010). Manual de instrucciones de analizador de humedad M45. Ohaus Corporation.

Cortázar, L. M. (2008). Consumo de energía y distribución de tamaño de partícula en la Revista mexicana de ingeniería química, 123-130.

Dapêvić, T.R., Dokic, L. Hadnadev, M., Pojic, M. 2014. Rheological and bread making properties of wheat flours supplemented with octenyl succinic anhydride-modified waxy starches. *Food Bioprocess and Technology*, 7, 235-247.

Demirkesen, I., Mert, B., Summu, G., Sahin, S. 2010. Rheological properties of gluten-free bread formulations. *Journal of Food Engineering*, 96, 295-303.

Emagister. (2016). Teoría de la Panadería. Obtenido de http://www.emagister.com/uploads_courses/Comunidad_Emagister_43562_Microsoft_Word_-_panaderia.pdf

EUFIC Recuperado el 15 de enero de 2016. La enfermedad celíaca o intolerancia al gluten, de EUFIC.org: <http://www.eufic.org/article/es/artid/enfermedad-celiaca-intolerancia-gluten/>

Gasca, J.C., Casas, N.B. 2007. Adición de harina de maíz nixtamalizado a masa fresca de maíz nixtamalizado. Efecto en las propiedades texturales de masa y tortilla. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 3 , 317-328.

Hager, A.S., Arendt, E.K. 2013. Influence of hydroxypropylmethylcellulose (HPMC), xanthan gum and their combination on loaf specific volume, crumb hardness and crumb grain characteristics of gluten-free breads based on rice, maize, teff and buckwheat. *Food Hydrocolloids*, 32, 195-203.

Herrera, D.Y. 2013. Influencia de las condiciones de proceso en las propiedades físicas y texturales del tamal típico del D.F. Informe final del Taller Multidisciplinario de Ingeniería en Alimentos Reología y Textura, FESC, UNAM.

INAES. (2014). Tamalerías. Obtenido de http://www.inaes.gob.mx/doctos/pdf/guia_empresarial/tamalerias.pdf

J. M. V. Blanshard, P. J. Frazier and T. Galliard. (1985). *Chemistry and Physics of Baking* (Jonsson, S. Tamstorf, and N. Krog, The Role of Fats and Emulsifiers in Baked Products, Vol. 6.) Nottingham, Royal Society of Chemistry.

La Costeña. 2016, (20 de octubre de 2014). Recetas. Recuperado el 18 de agosto de 2015, de La costeña <http://www.lacostena.com.mx/home-recetas/>

Lara, E., Cortés, P., Briones, V., Perez, M. 2011. Structural and physical modifications of corn biscuits during baking process. *LWT-Food Science and Technology*, 44, 622-630.

Lassoued, N., Babin, P., Della Valle, G., Devaux, M.F., Réguerre, A.L. 2007. Granulometry of bread crumb grain: Contribution of 2D and 3D image analysis at different scale. *Food Research International*, 40, 1087-1097.

López, J.A., Rodríguez, S.E., Sepúlveda, J.U. (2012). Evaluación de características físicas y texturales del pan de bono. *Acta agronómica*, , 273-281.

M. Panouillé, M., Saint, I., Déléris, F. Le Bleis, I. (2014). Oral processing and bolus properties drive the dynamics of salty and texture perceptions of bread. *Food Research International* , 62, 238–246.

Magdic, D., Horvat, D., Drezner, G., Jurkovic, Z. Simic, G. (2006). Image analysis of bread crumb structure in relation to gluten strength of wheat, Original scientific paper 1-7.

Matos, M.E., Sans, T, Rosell, C.M. 2014. Establishing the function of proteins on the rheological and quality properties of rice based gluten-free muffins. *Food Hydrocolloids*, 34, 150-158.

Mercado, E.B., Morales, E., Reyes, M., Gaytán, M. and Ortega, J. (2013). Effects of a low-shear transport system on the physicochemical characteristics of nixtamal corn flour. *Journal of Food Processing and Preservation*, 1745-4549.

Mizukoshi, M., Maeda, H., and Amano, H. 1980. Model studies of cake baking. II. Expansion and heat set of cake batter during baking. *Cereal Chem.* 57, 352.

Mohamed, A., Xu, J. Singh, K. (2010). Yeast leavened banana-bread: Formulation, processing, colour and texture analysis. *Food Chemistry* , 118, 620–626.

Quaglia, G. (1991). *Ciencia y tecnología de la panificación*. Sevilla, España: Acriba.

Red Nacional Cultural. (20 de octubre de 2008). CONACULTA. Recuperado el 18 de agosto de 2014, de Los tamales antojitos mexicanos: http://sic.conaculta.gob.mx/ficha.php?table=gastronomia&table_id=91

Renzetti, S., Dal Bello, F., Arendt, E.K. 2008. Microstructure, fundamental rheology and baking characteristics of batters and breads from different gluten-free flours treated with a microbial transglutaminase. *Journal of Cereal Science*, 48, 33-45.

Rodríguez, E., Fernández, A. Ayala, A. (2005). Reología y textura de masas: aplicaciones en trigo y maíz. *Revista Ingeniería e Investigación* , 57, 72 - 78.

Ruiz, K. M. (2008). Estudio de propiedades físicas de alimentos mexicanos . *Revista mexicana de Ingeniería Química* , 41-54.

Sanz, T., Salvador, A., Fiszman, S.M. 2008. Evaluation of four types of resistant starch in muffin baking performance and relationship with batter rheology. *European Food Research Technology*, 227, 813-819.

Sapirstein, H.D. Roller, R., Bushuk, W. 1994. Instrumental measurement of bread crumb grain by digital image analysis. *Cereal Chemistry*, 71, 383-391.

Scanlon M.G., Zghal, M.C., 2001. Bread properties and crumb structure. *Food Research International*, 34, 841-864.

Sciarini, L., Ribotta P., León A. 2010. Influence of gluten-free flours and their mixtures on batter properties and bread quality. *Food Bioprocess Technology*, 3, 577-585.

Shibata, M., Tsuta, M., Sugiyama, J., Fugita, K., Kokawa, M. Araki, T. 2013. Image analysis of breadcrumb structure in relation to mechanical properties. *International Journal of Food Engineering*, 9, 115-120.

Storck, C.R., Zavareze, E. R., Arocha, M., Elias, M., Molina, C., Guerra, A.R. 2013. Protein enrichment and its effects on gluten-free bread characteristics. *LWT-Food Science and Technology*, 53, 346-354.

Szczesniak, A.S. (1963). Classification of Textural Characteristics. *Journal of Food Science*, 28, 385 - 389.

Texture Technologies. 2016. <http://texturetechnologies.com/bread-volume-testing/Volscan-Profiler.php>. Consultado el 13 de febrero de 2016.

Turabi, E., Summu, G., Sahin, S. 2008a. Optimization of baking of rice cakes in infrared-microwave combination oven by response surface methodology. *Food Bioprocess Technology*, 1, 64-73.

Turabi, E., Summu, G., Sahin, S. 2008b. Rheological properties and quality of rice cakes formulated with different gums and an emulsifier blend. *Food Hydrocolloids*, 22, 305-312.

Vega, J. P. (2012). Alimentos, consumo y calidad en la construcción de la identidad mesoamericana. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.

Vélez, K. M. (2008). Estudio de propiedades físicas de alimentos mexicanos durante la congelación y el almacenamiento congelado. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 7, 41-54.

Wikipedia. (2016). Wikipedia Enciclopedia Libre. Recuperado el 6 de abril de 2016, Tamal: <http://es.wikipedia.org/wiki/Tamal>

Zacahuil ¡El tamal de los tamales!. (2016). México Desconocido. Recuperado el 14 de enero de 2016, de: <http://www.mexicodesconocido.com.mx/zacahuil-el-tamal-de-los-tamales2.html>

Zghal, M. C., Scanlon, M. G. and Sapirstein, H. D. (2002). Cellular structure of bread crumb and its influence on mechanical properties. *Journal of Cereal Science*, 36, 167–176.