



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**COMPARACIÓN DE CUATRO LÍNEAS DE TRIGO CON HARINAS COMERCIALES EN  
RELACIÓN A SU PERFIL DE TEXTURA, TIEMPO DE AMASADO Y VOLUMEN DE  
FERMENTACIÓN.**

**TESIS**

**QUE COMO TRÁMITE PARA LA EVALUACIÓN PROFESIONAL DE LA CARRERA DE  
INGENIERO AGRÓNOMO INDUSTRIAL PRESENTA**

**VIVIANA MÉNDEZ PÉREZ**

**(NO. DE CUENTA: 0612796, 37 GENERACIÓN)**

**MODALIDAD: TESIS INDIVIDUAL**

**ASESORES:**

**DRA. MARÍA DOLORES MARIEZCURRENA BERASAIN**

**DRA. DORA LUZ PINZÓN MARTÍNEZ**

**CAMPUS UNIVERSITARIO "EL CERRILLO", EL CERRILLO PIEDRAS BLANCAS,**

**MUNICIPIO DE TOLUCA, MÉX. SEPTIEMBRE DE 2018.**



## I. ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS.....	3
ÍNDICE DE FIGURAS.....	3
RESUMEN.....	5
ABSTRACT .....	5
II. INTRODUCCIÓN.....	7
III. OBJETIVOS .....	9
3.1. Objetivo general.....	9
3.2. Objetivos específicos.....	9
IV. JUSTIFICACIÓN .....	10
V. REVISIÓN DE LITERATURA.....	11
5.1 El trigo .....	11
5.2.1. Germen.....	11
5.2.2. Endospermo .....	11
5.2.3. Salvado.....	12
5.3. Composición bromatológica del grano.....	12
5.3.1. Harina de trigo .....	13
5.3.2. Composición química de la harina de trigo.....	13
5.3.3. Los glúcidos en la harina .....	13
5.3.4. El gluten.....	14
5.3.5. Proteínas del gluten.....	14
5.4. Tipos de harinas .....	15
5.4.1. Reología en la masa de trigo.....	16
5.4.1.1. Parámetros reológicos.....	17
5.4.1.2. Extensibilidad.....	17
5.4.1.3. Elasticidad .....	18
5.4.1.4. Fuerza .....	18
5.4.1.5. Adhesividad .....	18
5.5. Equipos para pruebas reológicas en panificación.....	19
5.6. Fermentación.....	20
5.6.1. Fermentación alcohólica.....	20

5.7. Proceso de panificación.....	21
5.7.1. Pesado de los ingredientes .....	21
5.7.2. Amasado .....	21
5.7.3. Fases de la fermentación .....	22
VI. MATERIALES Y MÉTODOS .....	24
6.1. Material vegetativo.....	24
6.1.2. Molienda .....	24
6.2. Tamizado.....	25
6.3. Determinación del contenido de humedad.....	25
6.4. Determinación del contenido de proteína .....	26
6.5. Prueba para tiempo óptimo de amasado con modificaciones.....	28
6.6. Prueba de textura con modificaciones .....	29
6.7. Prueba de volumen de fermentación .....	31
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
7.1. Cantidad de agua absorbida.....	34
7.2. Porcentaje de proteína .....	36
7.3. Tiempo Óptimo de Amasado .....	36
7.4. Volumen de fermentación .....	38
7.5. pH final .....	39
7.6. Elasticidad .....	40
7.7. Fuerza .....	41
7.8. Adhesividad .....	41
VIII. CONCLUSIÓN GENERAL .....	46
IX. ANEXOS .....	48
X. BIBLIOGRAFÍA .....	53

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición bromatológica del trigo. ....	12
Cuadro 2. Composición química de la harina integral. ....	13
Cuadro 3. Comparación de medias DMS al 95% .....	35
Cuadro 4. Resultado de la correlación.....	43
Cuadro 5. Adición de agua para prueba de amasado. ....	48
Cuadro 6. Resultado del Análisis de Varianza (ANOVA).....	51

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Perfil general de perfil de textura.....	19
Figura 2. Tiempo Optimo de Amasado.....	37
Figura 3. Prueba de Volumen de Fermentación a 60 min .....	39
Figura 4. Prueba de textura (Elasticidad) .....	42

## Dedicatoria y agradecimientos

A dios por haberme permitido vivir la experiencia de terminar una carrera. A mis padres por darme la vida para poder vivirla y apoyarme en mi vida personal. A mis hermanas que estuvieron ahí para escucharme.

A mi tía Martha Méndez Cruz por haberme apoyado en todo momento y creer en mi e inculcarme ganas de sobresalir y ser mejor cada día con su ejemplo.

A mi hija Sofí que es el motor de mi vida por quien hago lo mejor para que este bien.

A ti que desde que me conociste creíste en mí y no te importo lo que pasaba a mi alrededor, te quedaste para apoyarme y darme el empujón que necesitaba para poder estar en este momento. TE AMO.

A las Dras. Dora Luz Pinzón Martínez y María Dolores Mariezcurrena Berasain por aceptar la dirección de este trabajo, aunque este camino no fue fácil y a veces el pH era elevado supimos y pudimos sobre llevar la situación para beneficio de ambas partes. Doctora lolita la estimo gracias por el apoyo y creer en mí y espero que no sea la última vez que trabajemos juntas.

Al Dr. Sanjaya Rajaram Devi y al Ing. Mario Albarrán Mucientes (Resource Seeds International) por facilitar los materiales evaluados en este trabajo.

A todos mis amigos que siempre me han impulsado para terminar este trabajo y que han estado conmigo en las buenas y en las malas los quiero (Azu, Dani). Y a todos lo que no me alcanzó el papel para ponerlos, pero saben que los estimo.

## RESUMEN

La calidad panadera del trigo se determina mediante pruebas bromatológicas y reológicas, cuyos parámetros están relacionados con las proteínas de la harina, que determinan la cantidad de agua para la hidratación y tiempo óptimo de amasado. El objetivo del presente trabajo fue comparar cuatro Harinas de Grano Entero (HGE) con dos harinas comerciales en relación a textura (Fuerza, Elasticidad y Adhesividad), tiempo óptimo de amasado y volumen de fermentación. Se realizó un diseño completamente al azar con 3 repeticiones, con cuatro tratamientos (HGE) y dos testigos comerciales: “Harina Manitoba integral” y “Harina Selecta integral”. Las variables respuesta fueron: cantidad de agua absorbida (mL), concentración de proteína (%), Tiempo de óptimo de amasado (seg), volumen de fermentación a 60 minutos (cm<sup>3</sup>), pH inicial, pH final, fuerza (N), elasticidad (mm) y adhesividad (kg/m<sup>2</sup>/s<sup>-2</sup>). Al encontrarse diferencias significativas entre los tratamientos se realizó una comparación de medias, mediante una prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS) al 0,05% (SAS, 2002) y una correlación de Pearson con una  $P \leq 0,05$  (Minitap16, 2015).

La HGE PM3-BWML fue similar a Harina Selecta Integral en tiempo óptimo de amasado y volumen de fermentación y en textura (adhesividad) fue superior que ambas harinas comerciales estudiadas. En textura específicamente, elasticidad, la HGE PM18 Labastida fue superior a la Harina Manitoba integral. En base a los resultados obtenidos se concluye que las HGE de líneas estudiadas no cumplen con los niveles de especificación para hacer pan, sin embargo, se les puede dar el uso para hacer galletas ya que las galletas no requieren de un perfil de textura tan específico.

Palabras clave: Calidad panadera, harinas de grano entero, textura, volumen de fermentación.

## ABSTRACT

Wheat bakery quality is determined by bromatological and rheological probes, which are related to protein flour; besides, they dictated water quantity absorbed and optimal mixing time parameters. The main objective of the present research was to compare Whole Grain Wheat Flours (WGWF) with two commercial whole meal flours with texture (Straight, elasticity and adhesiveness), optimal mixing time and volume fermentation. A complete random design by triplicate was done with four treatments (WGWF) and two commercial controls "Manitoba Flour" and "Whole meal Selecta flour". Water quantity absorbed (mL), protein content (%), optimal mixing time (seg), 60 min fermentation volume (cm<sup>3</sup>), initial and final pH, straight (N), elasticity (mm) and adhesiveness (kg/m<sup>2</sup>/s<sup>-2</sup>), were the response variables. Significant differences between treatments were analysed by a Last Significant Differences (LSD) analyse 0.05% (SAS, 2002) and a Pearson correlation  $P \leq 0,05$  (Minitap16, 2015). PM3-BWML WGWF was similar to Whole meal Selecta flour in optimal mixing time and fermentation volume values; likewise, Texture adhesiveness values were higher than both commercial flours compared. In texture test, elasticity WGWF PM18 Labastida resulted higher than Manitoba flour. Based on the results obtained, it is concluded that the four WGWF studies did not achieve specification characteristics for bakery quality standards; nevertheless, they can be use in cookie production, where an specific texture profile is not needed.

Key words: Bakery quality, whole grain wheat flour, texture, fermentation volume.

## II. INTRODUCCIÓN

La calidad panadera del trigo representa un aspecto relevante y es determinada mediante pruebas tales como determinación de pH, composición bromatológica y pruebas reológicas, que implican parámetros tales como tiempo óptimo de amasado, cantidad de agua absorbida, fuerza de las masas, elasticidad y textura, entre otras. Dichos parámetros están relacionados por la composición de las biomoléculas presentes en la harina trigo, principalmente, las proteínas. Mismas, que determinan la cantidad de agua que se requiera para la hidratación y tiempo de amasado de la harina.

Las harinas de grano entero de trigo (HGE) presentan mayor contenido de fibra, antioxidantes y vitaminas, así como azúcares fermentables. Los cuales, son fermentados por la levadura para la producción de CO<sub>2</sub>. La panificación de HGE ofrece productos con numerosos beneficios para la salud: evita la constipación, reduce los niveles de colesterol en sangre y puede ayudar a prevenir la obesidad, entre otros, debido a la fibra presente en los granos enteros (López, 2018).

La textura del pan es muy importante para los consumidores, pues un pan crujiente por fuera y suave por dentro depende de muchos factores, uno de ellos y el más importante, es la fermentación pues en este proceso la levadura convierte los azúcares fermentables en CO<sub>2</sub> y da lugar a un aumento de volumen en la masa. Posteriormente, pasa al horno donde, se cocerá para dar la textura que al consumidor le gusta (Flecha, 2015).

El principal componente de la formulación de la masa panaria, es la harina, que procede del proceso de molturación de los cereales, siendo la harina de trigo la más importante. Los principales ingredientes del pan son: harina, agua, sal, levadura, grasa animal o vegetal (Mesas y Alegra, 2002).

Debido a que la producción de trigos panificables continúa siendo insuficiente para abastecer la demanda de la industria molinera nacional, para el periodo del año 2017 se importaron 4, 356, 000 t y en el ciclo 2015-2016, la importación aumentó a 4, 461, 000 t. Para el año 2016 se produjeron 3, 784, 000 t. De este volumen, el 95,0% correspondió al ciclo otoño-invierno. Las entidades con mejores producciones fueron: Sonora con 265, 000 t (16,0% más que en 2015); Sinaloa con 42, 000 t (13,0% más que en 2015) y Michoacán con 28,000 t (16,0% más que en el año 2015) (CANIMOLT, 2017).

La empresa “Resource Seeds International S. de. R.L de C.V” ubicada en el Municipio de San Miguel Chapultepec, Toluca de Lerdo, México, está sembrando trigos prometedores para la industria panadera, con la finalidad de hacer productivo al estado de este grano para solventar la ingesta del estado, por lo cual en este trabajo se analizaron cuatro líneas de estos trigos, mediante parámetros que ayudarán a determinar su comportamiento ante dos harinas testigos comerciales, las pruebas determinarán factores como tiempo óptimo de amasado, volumen de fermentación a 60 minutos que es el tiempo máximo que están en reposo en la panadería artesanal las masas y prueba de textura, y en base a los resultados promover su uso.

### III. OBJETIVOS

#### 3.1. Objetivo general

Comparar cuatro líneas de trigo (*Triticum aestivum* L.) con dos harinas comerciales en relación al su perfil de textura, tiempo óptimo de amasado y volumen de fermentación.

#### 3.2. Objetivos específicos

- a) Estandarizar una técnica para determinar el tiempo óptimo de amasado, mediante una batidora convencional casera.
- b) Determinar el volumen de fermentación de las cuatro líneas de trigo con dos harinas testigo comerciales.
- c) Comparar el perfil de textura (fuerza, elasticidad y adhesividad) de cuatro líneas de trigo con dos harinas integrales testigos comerciales.

#### IV. JUSTIFICACIÓN

Los cereales son una fuente popular de alimento en todo el mundo, la mayor parte del cereal consumido es de trigo en forma de harina refinada. Por este motivo es necesario implementar estrategias que permitan incrementar la ingesta de cereales integrales como las harinas de grano entero (HGE) que por su composición son ricas en nutrientes, vitaminas, ácido fólico, hierro y zinc, que sirven para ayudar a combatir el problema creciente de enfermedades crónicas degenerativas no infecciosas, así como también la obesidad (Slavin, 2005).

Para identificar harinas promisorias y ofrecer otras opciones a beneficio de la industria panadera con información nueva y relevante sobre el tiempo de elaboración, fermentación y otros aspectos de la calidad panadera, se requiere de diversas pruebas que ocupan algunos instrumentos como el mixógrafo que mide la extensibilidad de las masas y texturómetro, que mide la capacidad de ruptura y fuerza. Mismas, que enriquecen la información que se puede obtener de nuevas líneas experimentales (De la Vega, 2009).

La calidad panadera es un concepto amplio debido a la gran variedad de productos que se obtienen a partir de la harina de trigo en la industria de la panificación, contempla también que, en la obtención y evaluación del pan, no sólo está implicada la harina y el proceso de panificación, sino también el consumidor, cuyos criterios de calidad pueden ser diferentes. Normalmente, se puede relacionar el término de calidad panadera con la obtención de panes con alta relación volumen/peso de harina, miga uniformemente alveolada, textura de la corteza y características organolépticas adecuadas. Estas características están influenciadas por la fuerza y la extensibilidad de la masa, como parámetros de gran importancia para estimar la calidad panadera (Peña *et al.*, 2008; Villanueva, 2014).

## V. REVISIÓN DE LITERATURA

### 5.1 El trigo

Es uno de los tres cereales más cultivados en el mundo, junto al maíz y el arroz. Se utiliza para la producción de harinas y sémolas a partir de las cuales, se obtienen una gran variedad de productos alimenticios como pan, galletas, pastas y otros productos (Lezcano, 2007).

La previsión de la FAO en 2017 sobre la utilización mundial de cereales va incrementando de 2,3 millones de toneladas hasta situarse en 2,5 millones de toneladas. El incremento se debe fundamentalmente a la previsión de una menor utilización de maíz y arroz, la cual, compensa con creces el incremento previsto del consumo de trigo. Se estima que la utilización mundial de trigo en 2017/2018 alcanzará un nivel sin precedentes de 734 millones de toneladas, es decir 3,4 millones de toneladas por encima del nivel estimado respecto de la campaña 2016/2017 (FAO, 2017).

#### 5.2.1. Germen

Es relativamente rico en proteína (25,0%), azúcares (18,0%) y aceites (16,0% en el eje embrionario y 32,0% en el escutelo). Contiene proteínas de origen vegetal, fibra y grasas principalmente, poliinsaturadas con predominio del ácido linoleico. A su vez, suministra vitaminas del complejo B y minerales como zinc, selenio, potasio y un bajo contenido de sodio (Hernández, 2018).

#### 5.2.2. Endospermo

Se compone principalmente de almidón y proteínas. Constituye alrededor del 83,0% del grano y está formado por tres tipos de células, periféricas, prismáticas y centrales (Hoseney, 1991).

### 5.2.3. Salvado

Es la parte externa del grano, sirve de cubierta protectora y constituye alrededor del 14,0% del grano. Está formado por el pericarpio, cubierta de la semilla y epidermis nucelar, se caracteriza por tener alto contenido de fibra, cenizas y carecer de almidón. Se destina principalmente para alimento para animales y solo en pequeñas cantidades, para consumo humano como fuente de fibra dietética (Hoseney, 1991).

### 5.3. Composición bromatológica del grano

La composición del trigo puede variar según las condiciones de cultivo, año y región de producción (Antolín, 2001; Dendy y Dobraszczyk, 2004). En el Cuadro 1, se presenta la composición bromatológica del trigo, sin embargo, las tres principales estructuras que lo integran (salvado, germen y endospermo) varían en su composición.

Cuadro 1. Composición bromatológica del trigo.

Componentes	Cantidad (%)
Humedad	10,0-13,0
Almidón	70,0-75,0
Proteínas (n x 5.7)	6,0-18,0
Fibra	1,5- 2,0
Grasas	1,5- 2,0
Azúcares	1,0- 2,0

Fuente: Antolín, 2001; Peña *et al.*, 2008.

### 5.3.1. Harina de trigo

Se define como harina de grano entero por la molienda del grano maduro limpio, entero, quebrado y seco del género *Triticum*, L; de las especies *T. vulgare*, *T. compactum* y *T. durum* o mezclas de éstas, en el que se elimina gran parte del salvado y germen. Así, el resto se tritura hasta obtener un grano de finura adecuada (NOM-247-SSA1, 2008).

### 5.3.2. Composición química de la harina de trigo

La composición media de una harina de trigo integral, se describe en el siguiente cuadro (Cuadro 2).

Cuadro 2. Composición química de la harina integral.

Parámetro	%
Humedad	14,0±0,02
Proteínas	11,66±0,03
Lípidos	1,68±0,02
Cenizas	1,36±0,00
Fibra total	8,3±0,1

Fuente: Salas y Haros, 2016.

### 5.3.3. Los glúcidos en la harina

Están compuestos de almidón y azúcares simples y juegan un papel importante en el proceso fermentativo de la masa y condicionan su textura. Intervienen igualmente en la coloración, sabor y aroma del pan. Son un alimento necesario para la levadura durante la fermentación. En el almidón, existen enzimas que lo degradan hasta azúcares simples, las  $\alpha$  y  $\beta$  amilasas. Éstas

enzimas lo degradan hasta dextrina, maltosa y glucosa, que servirán a las levaduras durante la fermentación (Bernabé, 2014).

El contenido de la harina de trigo en cuanto a azúcares fermentables es bajo, hasta el punto de sólo ser suficiente para las primeras etapas de la fermentación (Olmedo, 1964).

En cuanto a la calidad panadera los azúcares son relevantes por su papel en la fermentación. Lo cual, resulta en la obtención de un pan voluminoso, de miga uniformemente alveolada, de color satisfactorio. Tal característica no sólo depende de la calidad de la harina empleada, sino que viene condicionada por el adecuado control de la serie de transformaciones y enzimáticas dentro de la fermentación, que tienen lugar desde que comienza el amasado hasta los primeros momentos de la cocción (Olmedo, 1964).

#### 5.3.4. El gluten

El descubrimiento del gluten lo realizó Jacop Bartholomew Beccari, un profesor de Química de la Universidad de Boloña en 1728, al lavar a mano una masa de harina, descubrió un material gelatinoso opuesto a cualquier material soluble amiláceo. Igualmente, observó que este material gelatinoso, una vez aislado, no era capaz de ser mezclado más con agua y tenía propiedades físicas únicas (Beach, 1961).

#### 5.3.5. Proteínas del gluten

La clasificación con base en su solubilidad fue desarrollada por Osborne (1924). Así, las proteínas del gluten se pueden clasificar en albúminas, globulinas, gliadinas y gluteninas (Goesaert *et al.*, 2005). Por lo tanto, las proteínas de la harina de trigo pueden clasificarse con base en su solubilidad y su funcionalidad.

Desde el punto de vista de la funcionalidad de tales proteínas, se pueden distinguir dos grupos de proteínas de trigo. Proteínas pertenecientes al gluten con un desempeño muy importante en la elaboración del pan y proteínas no pertenecientes al gluten, con un desempeño secundario en la elaboración del pan (De la Vega, 2009).

El hinchamiento del gluten es el que otorga a la masa elasticidad, retención de gases y firmeza, características que ayudan en la producción de pan (Montoya *et al.*, 2012). Las proteínas de la harina de trigo, específicamente las proteínas del gluten, le confieren a la masa esa funcionalidad única que la diferencia del resto de las harinas de otros cereales. La masa de harina de trigo se comporta así, desde el punto de vista reológico, como un fluido viscoelástico. Esta propiedad hace que la masa sea elástica y extensible para un buen manejo de la masa (De la Vega, 2009).

#### 5.4. Tipos de harinas

Existen diversos criterios para la clasificación de la harina, con base en la dureza del grano (duro, semiduro y suave); época de cultivo (invierno y primavera); funcionalidad de las harinas (panaderas, galleteras, pasteleras y pastas), por el color del salvado (ámbar, blanco y rojo), % de proteína, alta (15-18), media (10-14), baja (6-9) y por las características del gluten (Avendaño, 2002; Peña *et al.*, 2008; CANIMOLT, 2017).

Harina integral: Es el resultado de la mezcla del grano molido y refinado que conserva su cáscara (NOM-247-SSA1, 2008).

Harinas blandas: Procedentes de la variedad de trigo blando, se destinan a la elaboración de pan y se seleccionan por su capacidad de absorber el agua (Gimeferrer, 2009). El contenido de proteína de este tipo de harina es de 7,5 % a 10,0 % se la utiliza en la fabricación de pasteles y galletas (Franco, 2015).

Harinas duras: Procedentes del trigo duro. Se utiliza sobre todo para la elaboración de productos de pastelería casera (Gimeferrer, 2009). El contenido de proteína de este tipo de harina es de 10,0 a 13,0% (Franco, 2015).

Harina de grano entero (HGE): Es el producto obtenido de la molienda del grano de cereal que conserva el germen, endospermo y salvado en una proporción igual, rica en aceites, fibra y proteínas (NOM-247-SSA1, 2008). La AACC (1995) la define como el producto resultante de la molienda del grano entero y seco, que mantiene tanto el germen, como el salvado. Es decir, mantiene la proporción inicial de todos los componentes del grano en la harina. Contiene sustancialmente más fibras, vitaminas, minerales y fitoquímicos que la harina de trigo refinada (HTR). En consecuencia, se considera fuente importante de ingredientes nutricionales y funcionales para la salud humana, con beneficios en la reducción del riesgo de diabetes, enfermedades cardiovasculares, obesidad y cáncer (Liu *et al.*, 2007).

La harina comercial integral en México no es por lo general, el resultado de la molienda antes mencionada, si no la mezcla de harina refinada y salvado, sin germen. Lo que hace que esta harina, este mal clasificada al denominarla integral (Ferruzi *et al.*, 2014; Bressiani, *et al.*, 2017).

#### 5.4.1. Reología en la masa de trigo

La textura es un factor de aceptabilidad sensorial importante para la aprobación de algunos alimentos por parte del consumidor. Las propiedades texturales de un alimento son el grupo de características físicas que dependen de los elementos estructurales del material y se relacionan con la deformación, desintegración y flujo por aplicación de una fuerza. Una propiedad del alimento que se asocia con la textura es su comportamiento reológico. La reología es el estudio de la deformación y flujo de materias primas, productos intermedios y productos terminados (Shoemaker *et al.*, 1987).

Los parámetros texturales más frecuentes son los siguientes: 1. Fracturabilidad: la fuerza al primer rompimiento significativo en la curva (N), 2. Dureza: la máxima fuerza durante el primer ciclo de compresión (N), 3. Adhesividad: el área bajo la curva de fuerza de cualquier pico negativo después del primer ciclo de compresión (J), 4. Cohesividad: la razón del área bajo la curva de fuerza positiva de la segunda compresión con respecto a la primera compresión (adimensional) y 5. Elasticidad: la altura que recupera el espécimen durante el tiempo entre el final del primer golpe y el comienzo del segundo (m) (Rodríguez *et al.*, 2005).

Los cambios reológicos que ocurren en esta etapa son monitoreados por medio de un reómetro llamado Farinógrafo. Con el alveógrafo y el extensógrafo se realizan otras pruebas reológicas a la masa. Los ensayos reológicos son muy empleados en la industria, ya que de los resultados que se obtienen, permiten clasificar a las harinas de trigo en tres grupos principalmente: para panificación, para la elaboración de pastas y para la elaboración de galletas (Flecha, 2015).

#### 5.4.1.1. Parámetros reológicos

#### 5.4.1.2. Extensibilidad

Definida como la capacidad de la masa para dejarse estirar y modelar sin presentar roturas ni desgarros. En toda masa es necesaria una cierta extensibilidad que le permita soportar las operaciones propias del proceso de elaboración y, a la vez, ceder al impulso gaseoso de la fermentación y al posterior desarrollo del pan durante los primeros minutos de cocción (Flecha, 2015). La extensibilidad (L), mide la viscosidad de la masa ocasionada principalmente por las gliadinas, que junto con el índice de hinchamiento (G) da un valor proporcional a la extensibilidad (Oliver y Allen 1992).

#### 5.4.1.3. Elasticidad

Es la actitud que presenta la masa para retomar a su forma inicial después de un proceso de formación. El ejemplo más claro de elasticidad, se encuentra al intentar estirar una barra inmediatamente después del formado, en la que muestra una clara tendencia al encogimiento. Al igual que la extensibilidad, es un factor necesario en las masas, ya que, en cierta medida, expresa el comportamiento de las masas durante la fermentación y cocción (Flecha, 2015).

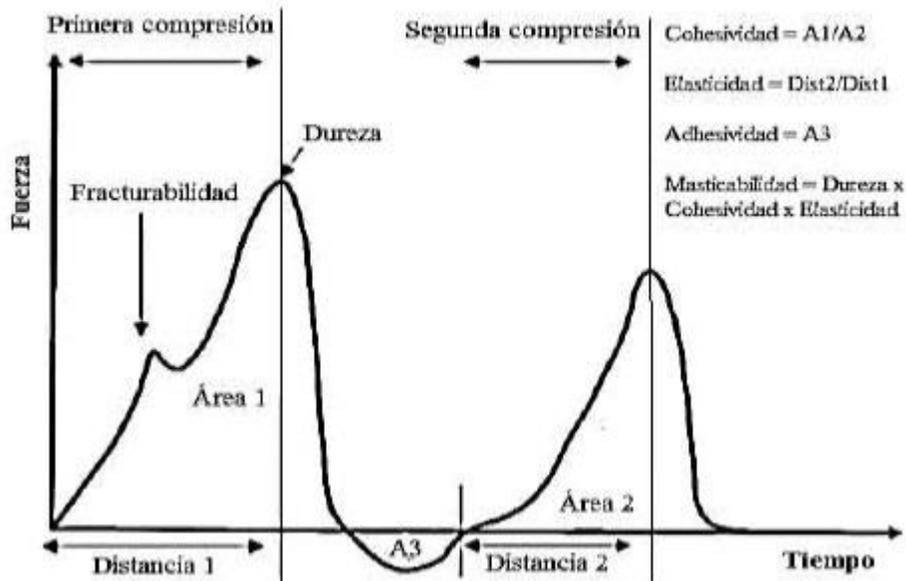
Es la altura que recupera el alimento durante el tiempo que recorre, como se observa en la Figura 1 y se mide en mm (Rosenthal, 1999).

#### 5.4.1.4. Fuerza

Quizá lo más coherente sería llamarla fuerza panadera, en cuanto a panificación se refiere, al conjunto de características físicas que contribuyen a obtener un correcto amasado. Obtener así, una dócil pero firme, manipulación y formado (Flecha, 2015). Dureza= fuerza máxima que tiene lugar en cualquier tiempo durante el primer ciclo de compresión. Se refiere a la fuerza requerida para comprimir un alimento. Se expresa en unidades ( $\text{kg/ ms}^2$ ) (Rosenthal, 1999).

#### 5.4.1.5. Adhesividad

Es el área negativa del primer ciclo de compresión (A3) (Figura 1). Representa el trabajo necesario para retirar el sensor de la muestra y se mide en N.seg (Moore *et al.*, 2006).



Fuente: Higor y Velasco, 2010.

Figura 1. Perfil general de textura.

### 5.5. Equipos para pruebas reológicas en panificación

Alveógrafo: Con este equipo se evalúa la capacidad que tiene el gluten para resistir un determinado trabajo mecánico. Esto se mide mediante la inyección de aire a una muestra de forma circular. Dicha muestra comienza a expandirse hasta que la presión interna es mayor y revienta la masa, en ese momento la curva en el alveograma cae. La información que se obtiene en el alveograma es el trabajo de deformación (W) de la masa hasta la ruptura del alveolo, en el alveograma se representa en el área bajo la curva (Oliver y Allen, 1992).

Extensógrafo. Determina los cambios en tenacidad y elasticidad de la masa con respecto al tiempo principalmente, en la etapa de fermentación. Al igual que en el alveógrafo se mide la tenacidad (T) y extensibilidad de la masa (L) y el área bajo la curva representa la fuerza de la masa (Oliver y Allen, 1992).

Farinógrafo. Con este equipo se pueden visualizar las tres etapas del proceso de mezclado: 1.

Hidratación de los componentes de la harina, 2. Desarrollo del gluten y 3. Colapsamiento de la

masa con respecto al tiempo. De esta manera se puede saber el tiempo del trabajo mecánico que se le puede aplicar a la masa, hasta antes de colapsar la malla de gluten (Oliver y Allen, 1992).

## 5.6. Fermentación

La fermentación es catalizada por enzimas que no forman parte de la harina de trigo, sino que han de ser aportadas por agentes externos tales como las levaduras. En la panadería se utiliza la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. La cual, necesita condiciones de temperatura, humedad y acidez adecuadas para su desarrollo. En el curso de la fermentación, la levadura transforma azúcares en etanol y anhídrido carbónico, además de algunos productos intermedios entre los que predomina la glicerina (Olmedo, 1964).

### 5.6.1. Fermentación alcohólica

Esta fermentación es mejor conocida como fermentación panaria. Entre las numerosas reacciones que se producen durante la fermentación, una de ellas es la etapa etílica o fermentación alcohólica. La transformación es debida a la siguiente reacción. El azúcar presente en la harina es metabolizado por la levadura produciendo anhídrido carbónico, que será el responsable del hinchamiento de la masa y de la formación del etanol que más tarde, se volatizará durante la cocción. Lo cual tendrá consecuencias posteriores en el aroma y sabor del pan. La fermentación alcohólica es en la cual, los jugos azucarados de las frutas son transformados en bebidas alcohólicas (Flecha, 2015).

De una forma sencilla se puede decir que la fermentación panaria es la hinchazón de la masa que posteriormente, permitirá la obtención de un pan alveolado, esponjoso y ligero y todo ello se debe a la producción de gas en el interior de la masa. Es la etapa de la panificación con mayor influencia sobre el sabor y el aroma del pan. De una correcta fermentación se desprende una

serie de reacciones, que son decisivas en la producción de un pan de calidad, al menos olfativa y gustativamente. No existe un método de panificación, sino más bien una gran variedad de procesos posibles. Entre los cuales, el profesional debe escoger, en función del tipo de pan que quiera fabricar (Flecha, 2015).

## 5.7. Proceso de panificación

### 5.7.1. Pesado de los ingredientes

Se toma como referencia el peso de harina necesaria y se calculan, los demás ingredientes en porcentajes del peso de la harina (ej. 60,0% de agua, 2,0% de sal, 2,0% de levadura). Así se toma como base el peso de la harina utilizada, lo que facilita el manejo del grado de hidratación. Finalmente, se determinan las cantidades de los demás ingredientes (Flecha, 2015).

### 5.7.2. Amasado

A comienzos del siglo XX, el amasado se hacía a mano, siendo la forma más usual por utilizar una artesa de madera en la cual, se iba mezclando la harina con el agua con violentos golpes y puñetazos. Los cuales, se alternaban con períodos de reposo que se justificaban, por la diversidad de movimientos efectuados por el panadero y por el tiempo necesario de dar un respiro a tan penoso trabajo. Las primeras amasadoras mecánicas eran lentas (40 r.p.m.) y necesitaban al menos de 40 a 50 min para conseguir un buen amasado. Este paso constituye la base de la elaboración de la masa (Flecha, 2015).

En esta etapa de mezclado se desarrolla la malla de gluten, al mezclar los ingredientes que la componen y de asegurar, sobre esa mezcla, un trabajo mecánico hasta que proporcione una masa coherente homogénea y lisa, que se desprenda bien de las paredes de la amasadora. El amasado tiene muchas variantes que condicionan los productos a elaborar, tales como las

características de las materias primas utilizadas para la elaboración de dichos productos y el proceso al que se van a someter esos productos (Flecha, 2015).

Un elemento iniciador de este proceso es el agua, que va a posibilitar la formación del gluten y la actividad de una serie de procesos físicos químicos que, juntamente con el trabajo mecánico conformarán la masa. La primera función es hidratar todos los componentes de la masa (almidones, proteínas y levadura, entre otros). La segunda función comprende la formación y desarrollo del gluten, gracias a la acción mecánica de la amasadora. El oxígeno capturado en la masa en la aireación durante el trascurso del amasado, posibilita a la vez una serie de procesos de oxidación que forman enlaces entre puentes disulfuro que dotan a la malla proteica (gluten) de tenacidad, elasticidad y extensibilidad, las cuales, son claves para el proceso de elaboración. El oxígeno se aloja en forma de pequeñas burbujas de aire que posteriormente, darán lugar al alveolado del pan, cuyas características dependerán en gran medida de la fase del amasado (Flecha, 2015).

### 5.7.3. Fases de la fermentación

La fermentación panaria se estudia en tres etapas que se describen a continuación:

Primera etapa. Es una fermentación muy rápida que dura relativamente poco tiempo. Se inicia en la amasadora al poco tiempo de añadir la levadura, ya que las células de la levadura comienzan la metabolización de los primeros azúcares libres existentes en la harina. En algunos procesos cuando se quiere reducir esta gasificación inicial (por ejemplo, en masas congeladas) se recurre a producir masas más frías e incorporar al final del amasado (Flecha, 2015).

Segunda etapa. Es la etapa más larga y aunque en muchos casos la actividad de las enzimas comienza muy pronto, su etapa degradadora es larga. Es el momento en el que la  $\alpha$  y  $\beta$  amilasas

actúan sobre el almidón y lo transforman en azúcares. Estos azúcares podrán ser a su vez utilizados por las levaduras que lo transforman en alcohol y gas carbónico (Flecha, 2015).

Tercera etapa. Esta es la última y normalmente, es una fermentación de corta duración, aunque depende mucho del tamaño de la pieza, ya que finaliza, cuando en el interior de la pieza del pan alcanza 55,0 °C pues, en dicha temperatura las células de levadura mueren debido a esto. El tiempo será mayor si la pieza es una hogaza con corteza gruesa, que, si es una barra pequeña con corteza fina ya que, en este último caso el calor penetra rápidamente, al poco tiempo de introducir los panes en el horno. En resumen, se puede decir que la fermentación empieza con el amasado y termina en el horneado (Flecha, 2015).

## VI. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1. Material vegetativo

Se evaluaron cuatro Líneas de trigo (*Triticum aestivum* L.) PM-15 Labastida, PM-18 Labastida, PM-6 BWW y PM-3 BWMXL proporcionadas para su estudio por la empresa “Resource Seeds International S. de R.L de C.V”. Mismas, que se recolectaron en el ciclo otoño-invierno 2016-2017, en el Municipio de San Miguel Chapultepec, Toluca de Lerdo, México. Se utilizaron 4.5 kg de grano para ser evaluado en cuanto a características de calidad panadera, prueba de Textura (con modificación al método 54-10 AACC, 1995), prueba de Volumen de Fermentación y Tiempo Óptimo de Amasado. Éstas, se realizaron en los laboratorios de Calidad de los Productos Agropecuarios y de Textura de Alimentos, pertenecientes a la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México.

Se emplearon además dos harinas comerciales como testigos: Harina Manitoba Integral y Harina Selecta Integral. Las cuales, se sometieron a los mismos análisis que las cuatro líneas de estudio.

### 6.1.2. Molienda

Los granos no pasaron por ningún acondicionamiento, ni tratamiento y se molieron en un molino modelo Nixtamatic NCM1 marca INMEZA, México

Método:

Esta prueba se utilizó para la obtención de las harinas de grano entero que se utilizaron en este trabajo, y a continuación se describen los pasos puntualmente:

- 1.- Se sometieron a molienda 100 g de grano por espacio de 30 s, cada muestra.
- 2.- Se colectó la harina y pasados 30 min, se volvió a moler por otros 30 s.

3.- Cada muestra se procesó de la misma manera en el mismo molino.

## 6.2. Tamizado

1. Después de la molienda, se pasó la muestra por un tamiz de 140 micras (1.00 mm).
2. Cada harina tamizada se colocó en bolsas tipo ziploc de 6 kg (38 cm x 55) debidamente rotulada (fecha de obtención de la harina, cantidad y nombre de la Línea) y se guardaron en un lugar seco y fresco hasta su utilización).

## 6.3. Determinación del contenido de humedad

### Materiales

- Platos de aluminio o crisoles.
- Balanza analítica.
- Espátula.
- Estufa programada a 105,0 °C.
- Desecador.

### Método

Esta prueba evaluó el contenido de humedad, que contienen las cuatro líneas de trigo de estudio, para ocuparlo en las pruebas futuras. A continuación, se describen los pasos puntualmente:

- 1.- Se llevó a peso constante el crisol en una estufa a 105,0 °C, 3 h.
- 2.- Se transfirió al desecador para enfriar.
- 3.- Se pesó el crisol vacío (W1).
- 4.- Se pesaron 3,0 g de muestra en el crisol.
- 5.- Se colocó el crisol con la muestra en la estufa.

6.- Se secó durante 3 h a 105 °C.

7.- Se llevó el crisol al desecador para enfriar. Se volvió a pesar este con la muestra seca (W2).

8.- Se realizaron los cálculos en base a:

Cálculo

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(W1-W2) \times 100}{W1}$$

Donde:

W1 = Peso (g) de la muestra antes del secado.

W2 = Peso (g) de la muestra después del secado.

#### 6.4. Determinación del contenido de proteína

Materiales:

Mezcla de catalizadores ( $K_2SO_4$  y  $H_2SO_4$ ).

Ácido sulfúrico concentrado.

Ácido bórico 4,0%.

Rojo de metilo (0,5 g/100 mL de etanol).

Hidróxido de sodio al 50,0%.

Ácido clorhídrico 0,1 N.

Tiosulfato de Sodio (80,0g/mL).

- Catalizador Kjeldahl: Mezclar 9 unidades de sulfato de potasio ( $K_2SO_4$ ) con 1 parte de sulfato de cobre ( $CuSO_4$ ).

- Solución indicadora: Preparar 100 mL de rojo de metilo al 0,1% (en etanol al 95,0%) y 200 mL de verde bromocresol al 0,2% (en etanol al 95,0%) y mezclar ambas soluciones.

#### Método

Esta prueba evaluó el contenido de proteína que existe dentro en cada línea para posteriormente ocupar este valor para pruebas futuras en conjunto con el porcentaje de humedad. A continuación, se describen los pasos puntualmente

- 1.- Se colocó la muestra (0,5-1,0 g) en el matraz de digestión.
- 2.- Se añadieron 5,0 g de catalizador Kjeldahl y 200 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado.
- 3.- Se colocaron los frascos en la parrilla de calentamiento y se calentó suavemente evitando que hiciera espuma. Se llevó a ebullición hasta que la solución se aclaró.
- 4.- Se dejó enfriar y se añadió 60 mL de agua destilada deslizándola por las paredes del contenedor, para evitar que reaccionara el ácido.
- 5.- Se conectó inmediatamente el matraz con la bombilla de digestión en el condensador, con la punta del condensador, sumergida en hidróxido de sodio al 50,0%, más 5-7 gotas de indicador de mezcla en el receptor.
- 6.- Se rotó el frasco para mezclar bien el contenido y calentó hasta que se destiló todo el hidróxido de sodio.
- 7.- Se retiró el receptor, la punta de lavado del condensador y tituló el exceso de ácido estándar destilado con hidróxido de sodio al 50,0%.
- 8.- Se realizó el cálculo en base a:

Cálculo

$$\% \text{ Proteína} = \frac{(A-B) \times N \times \text{Peso atómico del nitrógeno} \times \text{Factor de conversión}}{W}$$

Dónde

A = Volumen (mL) de HCl 0.2 N usado titulación de la muestra.

B = Volumen (mL) de HCl 0.2 N utilizado en la titulación en blanco.

N = Normalidad de HCl.

W = Peso (g) de la muestra.

14.007g mol = Peso atómico del nitrógeno.

5.71 = Factor de conversión proteína-nitrógeno para leguminosas, trigo y soya.

6.5. Prueba para tiempo óptimo de amasado con modificaciones

Materiales

- Batidora Kitchen Aid K45SS.
- Agua destilada.
- Espátula de caucho.
- Cronómetro.
- Recipientes con tapa para 100 g de harina.
- Recipientes 50 mL.
- Balanza digital

Método

Esta prueba evaluó la capacidad que tuvo la masa ser amasada con la batidora convencional utilizando el porcentaje de proteína y humedad. La cual, se midió en segundos. A continuación, se describen los pasos puntualmente:

1. Se pasó a 14,0% base húmeda (b. h.) los resultados de humedad y proteína, para determinar la cantidad de agua a agregar (Anexo 1).
2. Se partió de 30 g de harina para determinar la cantidad de agua según el paso 1.
3. Se colocó en el bol de la batidora la harina y al final, el agua.
4. Se batió a 250 rpm, 90 s.
5. Se sacó la masa (sin dejar residuos en la batidora) con ayuda de la espátula de caucho.
6. Se verificó mediante el tacto, si se tenía la consistencia adecuada (no debía haber partículas secas de harina y debía ser no pegajosa). Cuando no fue así, se mezcló nuevamente la misma masa por 30 s más. Se verificó nuevamente mediante el tacto, si se tenía la consistencia adecuada. Se repitió este paso hasta tener la consistencia adecuada (como resultado de esto se obtuvo el tiempo de amasado).

#### 6.6. Prueba de textura con modificaciones

##### Materiales

- Batidora Kitchen Aid K45SS
- 1 L de solución salina al 2,0%.
- Espátula de caucho.
- Cronómetro.
- Recipientes para 100 g.
- Recipientes para 50 mL.
- Balanza analítica.

- Texturómetro. Stable Micro Systems.
- Esfera circular para texturómetro.
- Fermentador Seedbura ATTGPT/8.

#### Método

Esta prueba evaluó la capacidad que tuvo la masa después de 60 min de fermentación, al ser expuesta a la prueba de fuerza, elasticidad y adhesividad. Esto se midió en N, cm y  $\text{kg/m}^2/\text{s}^2$ , respectivamente. A continuación, se describen los pasos puntualmente:

1. Esta prueba se realizó a 60 min de fermentación.
2. Se pasaron a 14,0% b.h. los resultados de humedad y proteína para determinar la cantidad de agua a agregar (Anexo 1).
3. Se partió de 30 g de harina (porque no cabían más en la probeta) para determinar la cantidad de agua según el paso 1.
4. Se colocó en el bol de la batidora la harina y al final el agua.
5. Se batió a 250 rpm por el tiempo de amasado que salió de la prueba anterior, para cada línea.
6. Se colocó las muestras en el fermentador a 35 °C (es la temperatura en la cual se desarrolla favorablemente la levadura) por 60 min.
7. El texturómetro se programó a una distancia de 3 cm (para no retardar tanto la regresión de la esfera) a una velocidad de prueba de  $3,3 \text{ mm s}^{-1}$  y se colocó la esfera al texturómetro.
8. Una vez transcurridos los 60 min de fermentación se sacaron las muestras del fermentador.
9. Se tomó una de las muestras y se colocó en la base del aditamento texturómetro.
10. Se corrió la prueba con el texturómetro y registraron datos de fuerza, elasticidad y adhesividad de cada una de las muestras evaluadas.
11. El paso 10 y 11 se repitieron hasta medir el total de las muestras de cada línea.

## 6.7. Prueba de volumen de fermentación

### Materiales

- Batidora Kitchen Aid K45SS.
- Agua.
- Espátula de caucho.
- Cronómetro.
- Recipientes para 100 g.
- Recipientes para 50 mL.
- Balanza analítica.
- Fermentador Seedbura ATTGPT/8.
- Probetas graduadas 250 mL.
- Potenciómetro OPR METER HI2211.
- Termómetro de mercurio.
- Platos de plástico.
- Levadura marca Nevado, nueva y emplear la misma en todas muestras.

### Método

Esta prueba evaluó la capacidad que tuvo la masa para retener el CO<sub>2</sub> formado por acción de la levadura, la cual, se midió tanto por el volumen de la masa fermentada y por el peso de la misma al retener este gas y se registró en cm<sup>3</sup>. A continuación se describen los pasos puntualmente.

1. Se pasaron a 14,0 % b. h. los resultados de humedad y proteína para determinar la cantidad de agua a agregar (Anexo 1).
2. Se pesaron 50 g de harina y se midió la cantidad de agua según el paso 1.

3. Se pesó 1.1 g de levadura.
4. Se colocó en el bol de la batidora la harina, la levadura y la solución salina.
5. Se batió a 250 rpm por el tiempo de amasado que salió de la prueba para tiempo óptimo de amasado de cada línea.
6. Se retiró del bol con la espátula de caucho toda la masa.
7. Se registró el peso inicial en gramos (P.I), pH Inicial (pHi) y temperatura Inicial en °C (T.I) de la masa.
8. Se colocó la masa en la probeta de 250 mL (se formó un rodillo con la masa lo más homogéneo posible y con el diámetro adecuado para que entrara en la probeta).
9. Se registró el volumen inicial en cm<sup>3</sup> (VI) que ocupó la masa en la probeta.
10. Se llevó al fermentador por 60 min.
11. Se registraron las lecturas del: peso final en gramos (P.F), pH final (pH. F), temperatura final en °C (T.F) y volumen final en cm<sup>3</sup> (V.60).

### Diseño experimental

Se realizó un diseño completamente al azar con 3 repeticiones, en donde, hubo seis tratamientos, dos testigos que fueron el T1 (Harina Manitoba integral) y el T2 (Harina Selecta integral), junto con las cuatro líneas de trigo T3 (PM- 15 Labastida), T4 (PM-18 Labastida), T5 (PM-6 BWW) y T6 (PM-3 BWMXL). Las variables respuesta fueron, cantidad de agua absorbida (mL), concentración de proteína (%), tiempo de Óptimo de Amasado (seg), volumen de fermentación a 60 minutos (cm<sup>3</sup>), pH inicial, pH final, fuerza (N), elasticidad (mm) y adhesividad (kg/m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>). Al encontrarse diferencias significativas entre los tratamientos se realizó una comparación de medias, mediante una prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS) al 5%. Todos los análisis se realizaron por el procedimiento GLM (SAS, 2002). Adicionalmente, se determinó el coeficiente de correlación de Pearson con una  $P \leq 0,05$ , entre todas las variables antes mencionadas, con la ayuda del *software* Minitab 16 (2015).

## VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza (ANOVA) mostró que existieron diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) en las variables (Anexo II, Cuadro 6), cantidad de agua absorbida ( $H_2O$ ), porcentaje de proteína (P), Tiempo Óptimo de Amasado (TOA), volumen de fermentación a 60 min (V.60), pH Final (pH F) y elasticidad (EL); sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0,05$ ) en las variables, pH inicial (pH I), fuerza (F) y adhesividad (AD).

Cuando existieron diferencias (Anexo II. Cuadro 7) estadísticamente significativas ( $P \leq 0,05$ ) se realizó una prueba de comparación de medias (DMS al 5,0%) (Cuadro 4).

### 7.1. Cantidad de agua absorbida

Para la variable cantidad de agua absorbida como se ve en el Cuadro 3, se observó que se encontraron 5 grupos con diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0,05$ ). En el primer grupo, se mostró a los tratamientos 6 (PM-3 BWMXL) con 30,5 mL y al tratamiento 3 (PM-15 Labastida) con 30,6. El segundo grupo estuvo compuesto por el tratamiento 5 (PM-6 BWW) con 30,01 mL. En el tercer grupo se observó el tratamiento 2 (Harina Selecta Integral) con 31,2 mL. En el cuarto grupo al tratamiento 4 (PM-18 Labastida) con 31,3 mL Finalmente, al tratamiento 1 (Harina Manitoba Integral) con 32,9 mL.

Cuadro 3. Comparación de medias DMS al 95%

Variable	Harina Manitoba	Harina Selecta					DMS
	Integral	Integral	PM-15 Labastida	PM-18 Labastida	PM-6 BWW	PM-3 BWMXL	
H <sub>2</sub> O (mL)	32,9±0,1d	31,2±0,2bc	30,5±0,0a	31,3±0,0c	31,0±0,2b	30,6±0,0a	0,9
P (%)	15,8±0,2d	12,3±0,1b	11,3±0,0a	12,8±0,1c	12,2±0,5b	11,4±0,0a	1,7
TOA (seg)	152,3±2,5b	124,3±4,0a	243,3±3,0d	212,6±3,0c	272,0±2,0e	212,6±3,0c	67,4
V.60 (cm <sup>3</sup> )	40,6±2,3 <sup>a</sup>	76,0±2,0e	48,0±0,0b	58,6±1,1cd	53,3±8,3bc	63,3±3,0d	15,2
pH. I	6,3±0,4b	5,9±0,2a	6,2±0,0ab	6,4±0,2b	6,2±0,0ab	6,5±0,1b	0,2
pH. F	5,5±0,0a	5,5±0,0a	5,6±0,0ab	5,8±0,2b	5,7±0,0ab	5,7±0,0b	0,1
F (N)	1,3±0,5b	1,3±0,7b	0,9±0,0ab	0,5±0,1a	0,7±0,1ab	0,5±0,0a	0,4
EL (cm)	1,6±0,6bc	1,6±0,6bc	2,4±0,1c	1,9±0,1bc	1,0±0,7ab	0,5±0,2a	0,8
AD(kg/m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )	0,2±0,3 <sup>a</sup>	0,1±0,3a	0,0±0,0a	0,0±0,0a	0,2±0,2a	0,2±0,0a	0,1

H<sub>2</sub>O (mL)= Cantidad de agua absorbida, P (%)= Proteínas, TOA (mL)= Tiempo óptimo de amasado, V.60 (cm<sup>3</sup>)= Volumen de fermentación a 60 minutos, pH I= pH inicial, pH F= pH Final, F (N)= Fuerza de la masa a 60 min de fermentación, EL (cm)= Elasticidad de la masa, AD (kg/m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>)= Adhesividad de la masa., T1=Harina Manitoba Integral, T2= Harina Selecta Integral, T3= PM-15 Labastida, T4= PM 18 Labastida, T5= PM-6 BWW, T6= PM-3 BWMXL.

En relación al agua, éste es el componente mayoritario de la masa y hace posible el amasado de la harina. El agua la hidrata facilitando la formación del gluten, que es principalmente la proteína de la harina de trigo. La cantidad de agua absorbida que requiere una harina se encuentra relacionado con el contenido de proteínas y humedad. Así, se observó que el tratamiento que mayor cantidad de agua absorbió fue el tratamiento 1 (Harina Manitoba Integral) y el que menos cantidad de agua absorbida requirió fue el tratamiento, T3 (PM-15 Labastida).

### 7.2. Porcentaje de proteína

Para la variable de porcentaje de proteína como se ve en el Cuadro 3 la comparación de medias (DMS), este variable arrojó cuatro grupos estadísticamente diferentes ( $P \leq 0,05$ ). Los tratamientos 3 y 6 (PM-15 Labastida y PM-3 BWMXL, respectivamente) se observaron en el primer grupo con valores de 11,3% y 11,4%, respectivamente. En el segundo grupo se encontraron a los tratamientos 5 (PM6- BWW) con 12,2% y tratamiento 2 (Harina Selecta Integral) con una media de 12,3% de proteína. En el tercer grupo se encontró al tratamiento 4 (PM-18 Labastida) con 12,8%. En el último grupo, el tratamiento 1 (Harina Manitoba Integral) con 15,8%. En la NMX-F-007-1982, menciona que en las harinas panaderas el porcentaje de proteínas debe ser de 9,5-16,0%, como puede verse en Cuadro 3, todas las muestras analizadas se encontraron en un rango entre 11,3-15,8% que corresponde al antes mencionado y resultaron adecuadas para la elaboración de pan.

### 7.3. Tiempo Óptimo de Amasado

Para el tiempo óptimo de amasado (TOA) el análisis de comparación de medias que se ve en Cuadro 3, mostró que se formaron cinco grupos estadísticamente diferentes ( $P \leq 0,05$ ). En el primer grupo estuvo el tratamiento 2 y en el segundo grupo estuvo el tratamiento 1 con valores de 124,3-152,3 seg, ambas muestras fueron testigos. En el tercer grupo se observaron los

tratamientos 4 (PM-18 Labastida) y 6 (PM-3 BWMXL) con TOA de 212,4 seg ambos. En el cuarto grupo se mencionó al tratamiento 3 (PM-15 Labastida) con 243,3 seg. En el último grupo, como se observa en la Figura 2, estuvo el tratamiento 5 (PM-6 BWMXL) con un valor de 272,0 seg. Este parámetro indica el tiempo en segundos, desde el inicio del amasado hasta que la masa alcanza su consistencia máxima y adecuada.

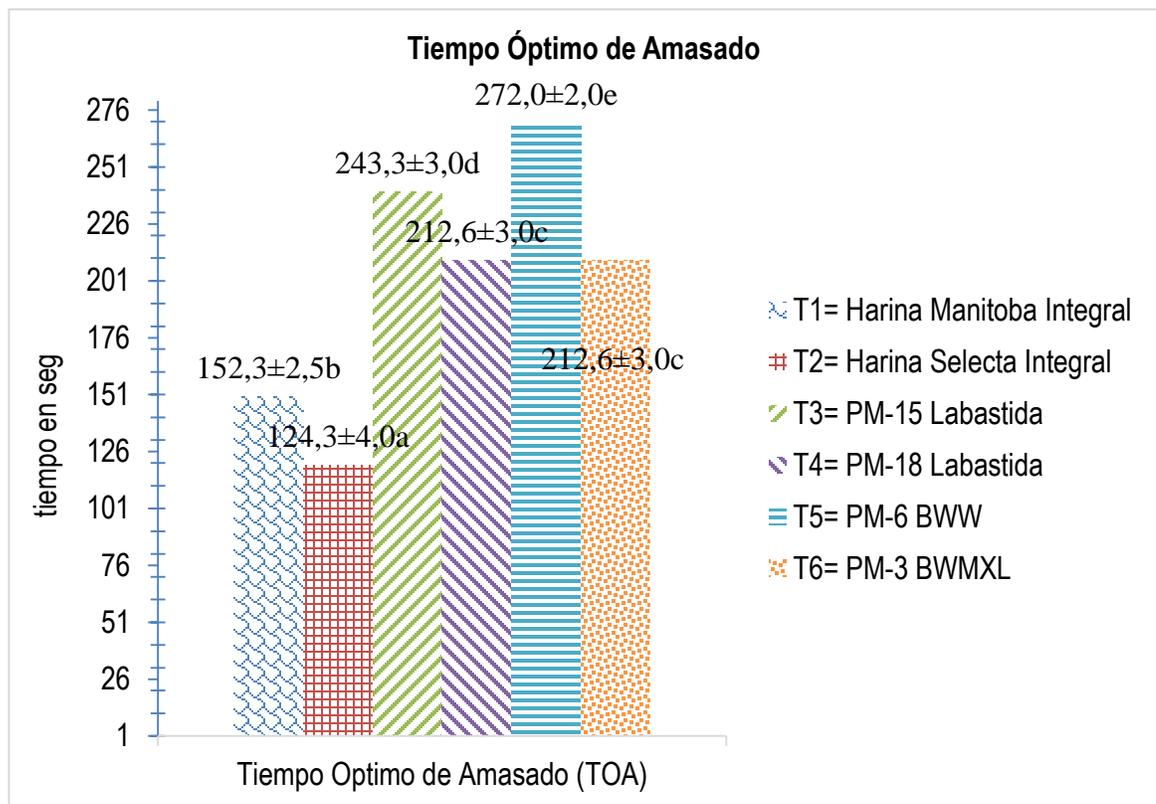


Figura 2. Tiempo Óptimo de Amasado

En el mixograma ésta variable se mide como el tiempo transcurrido desde el inicio, cuando se integran los ingredientes hasta que se mezcle correctamente (Munteanu *et al.*, 2016). En este análisis se observó que el tiempo máximo alcanzado fue por el tratamiento 5 (272,0 seg) y el mínimo fue en el tratamiento 2 (Harina Selecta Integral) como se observa en la Figura 2, con una media de 124,3 seg (Cuadro 4). Vásquez-Lara *et al.*, (2009), reportaron valores de TOA entre

243-456 seg como tiempos de mezclado considerados como intermedios y prolongados, con buena tolerancia al mezclado, desarrollo de buen volumen de pan y de propiedades físicas fuertes. Por lo tanto, los tratamientos 5 (PM-6 BWW) y 3 (PM-15 Labastida), con un valor de TOA de 272,0 y 243,3 seg, se encuentran dentro del parámetro antes mencionado por los autores y así, se sugiere como un material con buena tolerancia al mezclado y buen volumen de pan. Estos autores proponen que el TOA depende de la cantidad y calidad de la proteína, misma que afecta la funcionalidad y calidad de los productos de panificación de trigo.

#### 7.4. Volumen de fermentación

En cuanto a volumen de fermentación a 60 min, el análisis de comparación de medias (MDS) mostró seis grupos estadísticamente diferentes ( $P \leq 0,05$ ) como se puede observar en el Cuadro 3. El primer grupo fue con la harina del testigo 1 (Harina Manitoba Integral) con 40,6 cm<sup>3</sup> de fermentación, y un segundo grupo, con la línea PM-15 Labastida (48,0 cm<sup>3</sup>). El tercer grupo contenía al tratamiento 5 (PM-6 BWW) con 53,3 cm<sup>3</sup> de volumen de fermentación. En el cuarto grupo estuvo el tratamiento 4 (PM-18 Labastida) con 58,6 cm<sup>3</sup>, en el quinto grupo con la línea PM-6 BWMXL con 63,33 cm<sup>3</sup>. Y, por último, el grupo seis con 76,0 cm<sup>3</sup> de volumen de fermentación estuvo el tratamiento 6 PM-3 BWMXL. Los materiales que presentaron los mayores volúmenes de fermentación fueron los tratamientos 6 y 2, esto se puede observar en la Figura 3. Así, el tratamiento 2, que corresponde a la Harina Selecta Integral (Testigo) al compararse con el tratamiento 6 (línea de estudio), como se puede observar en la Figura 3, el volumen fue mayor que el testigo 1, pero muy cercano al testigo 2 y mayor que las demás líneas de estudio. Así, el volumen de fermentación de los tratamientos T2, T3, T4, T5 y T6 se encontró dentro del parámetro reportado por Calixto, (2018), quien reportó volúmenes de fermentación entre 43,6 a 75,6 cm<sup>3</sup> para Harina de Grano Entero y de gluten fuerte sugeridos aptos para panificación.

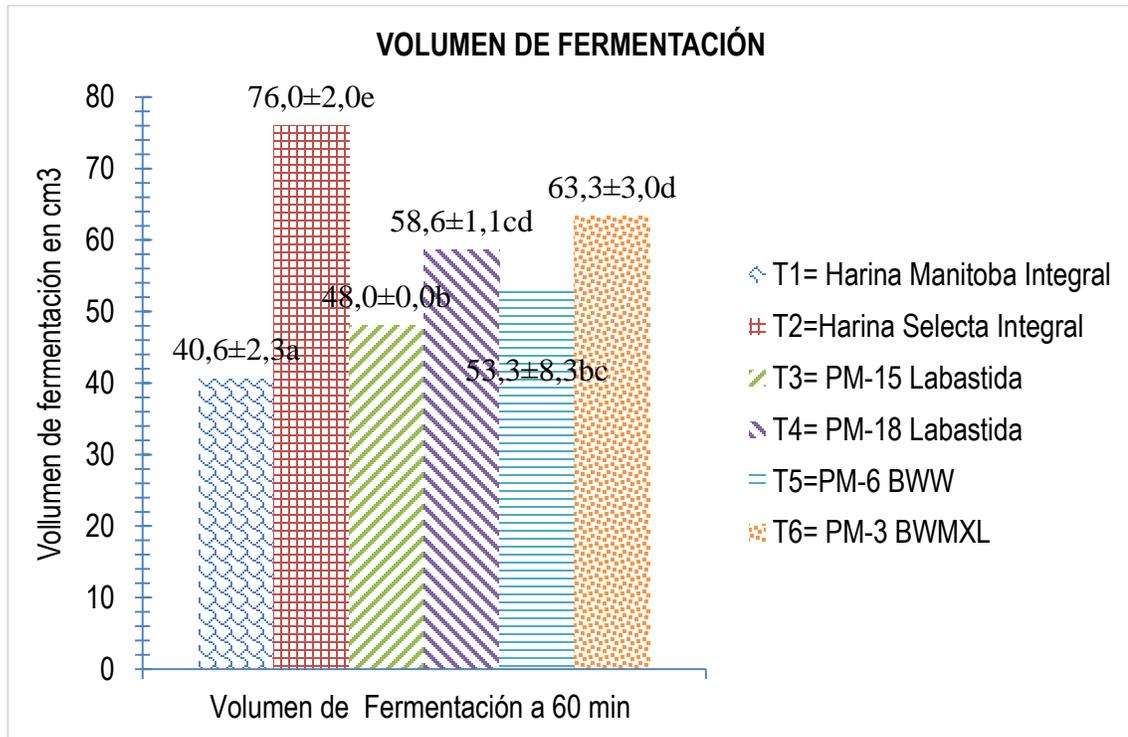


Figura 3. Prueba de Volumen de Fermentación a 60 min.

Descrito con anterioridad todos los materiales estudiados mostraron volúmenes superiores al testigo T1 (Harina Manitoba integral) ya comercial. Es decir, que la fuerza del gluten formado en las muestras retuvo el gas (dando dichos volúmenes) de manera similar al testigo 2.

#### 7.5. pH final

Se encontró (Cuadro 3) que existieron en el análisis de comparación de medias (DMS) tres grupos estadísticamente diferentes ( $P \leq 0,05$ ). En el primer grupo, estuvo el tratamiento 2 (Harina selecta integral) y 1 (harina Manitoba Integral) con 5,5 ambos. Los tratamientos 3 (PM-15 Labastida) y 5 (PM-6BWW), se encontraron en un segundo grupo con media de 5,6 y 5,7 respectivamente. Finalmente, en un tercer grupo estuvieron los tratamientos 6 (PM-3 BWMXL) y 4 (PM-18 Labastida) y con medias de 5,7 y 5,8 respectivamente. El pH para la fermentación según Nomahomed (2005) debe ser de 5,8 a 6,2 para favorecer el crecimiento de las levaduras.

Así, en base a los resultados antes mencionados se pudo observar que el tratamiento 4 (PM-18 Labastida) fue el único tratamiento que se asemejó a lo citado por los autores, y que presentó así, las condiciones de reacción óptimas para el metabolismo de las levaduras y por lo tanto para una adecuada fermentación. Cerda-Cova y Vázquez-Chávez (2017) mencionaron que, por debajo de un pH de 5,8, la actividad de la levadura puede disminuir y, por lo tanto, las masas hacerse más viscosas y difíciles de trabajar. Así también por arriba de los 6,2 se tiene problemas en la vida de anaquel del producto terminado.

#### 7.6. Elasticidad

Se observó diferencia entre los tratamientos (Cuadro 3) dando como resultado la formación de tres grupos estadísticamente diferentes, en el primer grupo se ubicó el tratamiento 6 (PM-3BWMXL) con una media de 0,53 cm, en el segundo grupo se encontró a los tratamientos 5 (PB-6WW), Harina Manitoba Integral, Harina Selecta Integra y PM-18 Labastida con medias de 1,04, 1,6, 1,6 y 1,9, respectivamente. En el último grupo se encontró al tratamiento 3 con media de 2,4 cm. En base a los resultados obtenidos, se observó que los tratamientos testigo se encontraron dentro de un mismo grupo, sin embargo, en comparación con lo citado por Islas, *et al.*, 2005 las líneas estudiadas se encontraron por debajo de lo propuesto por los autores que fue de 5,3 a 10,6 cm. Ninguno de los tratamientos se asemeja a lo citado por los autores sin embargo el tratamiento 3, fue la línea de estudio con mayor elasticidad, pues presentó un valor de 2,4 cm. La elasticidad es la actitud que presenta la masa para retomar a su forma inicial después de un proceso de formación (Flecha, 2015). Es la altura que recupera el alimento durante el tiempo que recorre y se mide en cm (Rosenthal, 1999). Es importante esta variable de estudio pues entre más elástica sea una masa mayor retención de gas tendrá, así la masa más elástica fue el

tratamiento 3 (PM-15 Labastida) y se sugiere que pueda presentar un buen comportamiento durante la fermentación (Flecha, 2015). Como se pudo observar en la Gráfica 4.

#### 7.7. Fuerza

Se refiere, al conjunto de características físicas que contribuyen a obtener un correcto amasado y obtener así, una dócil pero firme, manipulación y formado de la pieza de pan (Flecha, 2015). Tiene lugar en cualquier tiempo durante el primer ciclo de compresión. Se refiere a la fuerza requerida para comprimir un alimento. Se expresa en unidades ( $\text{kg/ ms}^2$ ). En el Cuadro 3, se observa que no existieron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre los tratamientos por consiguiente no se realizó ningún otro análisis (Islas *et al.*, 2005; Vásquez-Lara *et al.*, 2009).

#### 7.8. Adhesividad

Es el área negativa del primer ciclo de compresión (A3) (Gráfica 1) Representa el trabajo necesario para retirar el sensor de la muestra y se mide en N.s (Moore *et al.*, 2006). Como se muestra en el Cuadro 3, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ), entre los tratamientos por consiguiente no se realizó ningún otro análisis para esta variable.

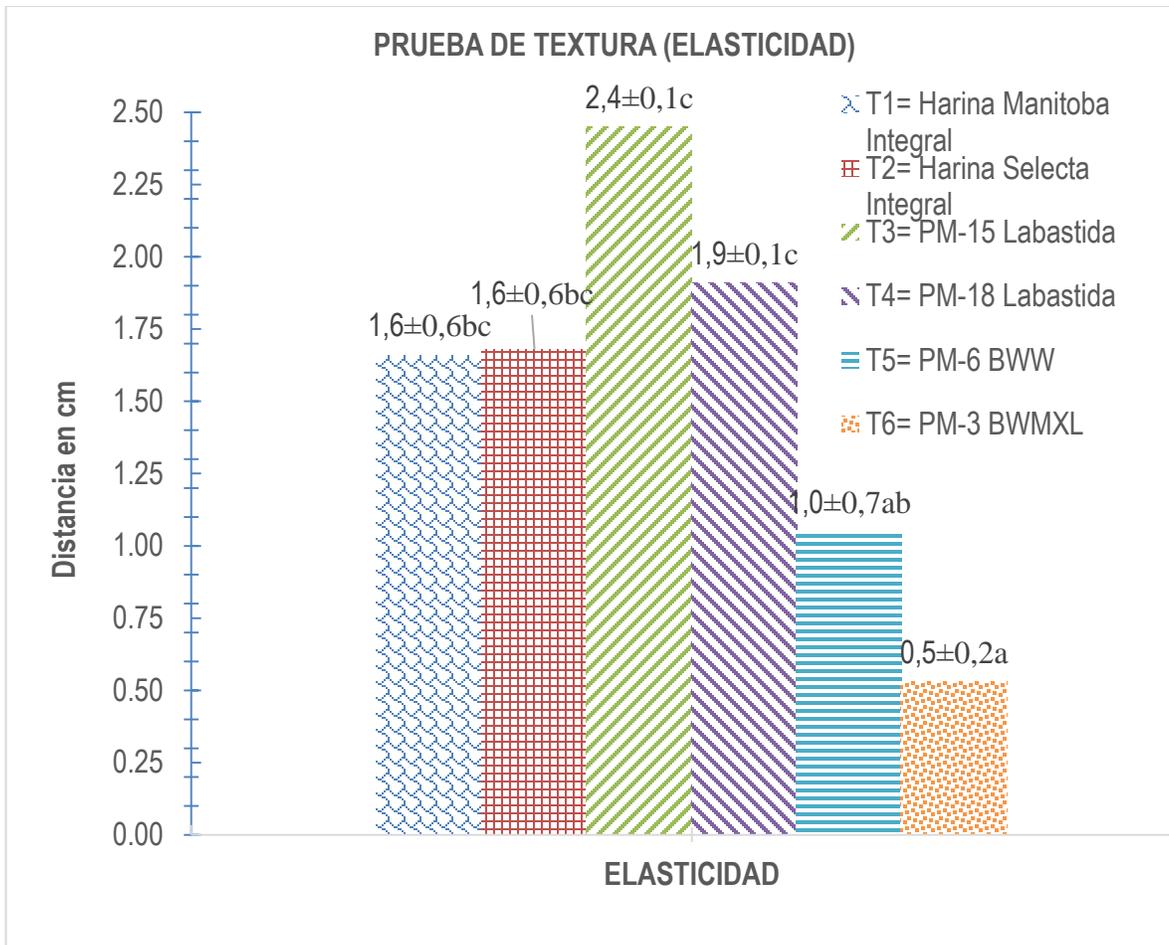


Figura 4. Prueba de textura (Elasticidad).

Cuadro 4. Resultado de la correlación

	H <sub>2</sub> O	PROTEINAS	TOA	V 60 min	pH INICIAL	pH FINAL	Fuerza	Elasticidad	Adhesividad
H <sub>2</sub> O (mL)		0,99	-0,55	-0,40	0,06	-0,36	0,48	0,08	0,14
		0,00	0,02	0,10	0,83	0,14	0,04	0,75	0,59
PROTEINAS (%)			-0,49	-0,48	0,09	-0,32	0,50	0,08	0,16
			0,04	0,05	0,73	0,19	0,04	0,76	0,52
TOA (seg)				-0,33	0,33	0,53	-0,53	-0,10	-0,13
			α	0,17	0,18	0,02	0,02	0,70	0,60
V 60 min (cm <sup>3</sup> )					-0,32	-0,07	-0,12	-0,27	0,13
					0,20	0,77	0,63	0,28	0,62
pH INICIAL						0,49	-0,12	-0,41	0,35
						0,04	0,64	0,09	0,16
pH FINAL							-0,55	-0,18	-0,17
							0,02	0,47	0,49
Fuerza (F)								0,01	0,61
								0,96	0,01
Elasticidad (cm)									-0,71
									0,00
Adhesividad (kg/m <sup>2</sup> /s- 2)									

H<sub>2</sub>O (mL)= Cantidad de agua, P (%)= Proteínas, TOA (mL)= Tiempo óptimo de amasado, V.60 (cm<sup>3</sup>)= Volumen de fermentación a 60 minutos, pH I= pH inicial, pH F= pH Final, F (N)= Fuerza de la masa a 60 min de fermentación, EL (cm)= Elasticidad de la masa, AD (kg/m<sup>2</sup>/s-<sup>2</sup>)= Adhesividad de la masa., T1=Harina Manitoba Integral, T2= Harina Selecta Integral, T3= PM-15 Labastida, T4= PM 18 Labastida, T5= PM-6 BWW, T6= PM-3 BWMXL.

Se observó una correlación positiva significativa ( $P \leq 0,05$ ) entre las variables: porcentaje de proteína con cantidad de agua absorbida ( $r_{xy}=0,99$ ,  $P \leq 0,0$ ), Tiempo óptimo de amasado con cantidad de agua absorbida ( $r_{xy}=0,2$ ,  $P \leq 0,02$ ), pH final con Tiempo óptimo de amasado ( $r_{xy}= 0,53$ ,  $P \leq 0,02$ ), fuerza con cantidad de agua absorbida ( $r_{xy}= 0,48$ ,  $P \leq 0,04$ ), fuerza con porcentaje de proteínas ( $r_{xy}= 0,50$ ,  $P \leq 0,04$ ), adhesividad con fuerza ( $r_{xy}= 0,61$ ,  $P \leq 0,01$ ), Y de manera negativa Tiempo óptimo de amasado con porcentaje de proteínas ( $r_{xy}= -0,49$ ,  $P \leq 0,04$ ), volumen de fermentación a 60 min con el porcentaje de proteínas ( $r_{xy}= -0,48$ ,  $P \leq 0,05$ ), fuerza con Tiempo óptimo de amasado ( $r_{xy}= -0,53$ ,  $P \leq 0,02$ ), fuerza con pH final ( $r_{xy}= -0,55$ ,  $P \leq 0,02$ ) y adhesividad con elasticidad ( $r_{xy}= -0,71$ ,  $P \leq 0,0$ ).

En la correlación (Cuadro 4) de;

- ❖ Tiempo Óptimo de Amasado con el porcentaje de proteínas se correlacionan de manera negativa pues entre mayor sea el porcentaje de proteínas se tardará más tiempo en mezclarse los ingredientes y humedecerse la harina para formar una masa. Cuando una variable aumenta la otra también. Esta correlación es importante en la industria panadera pues las harinas que se utilizan son de un porcentaje de 14 % de proteína así es que las revoluciones de las mezcladoras deben ser más potentes para no tardar tanto tiempo en el amasado mecánico.
- ❖ Volumen de fermentación a 60 minutos se correlaciona con el porcentaje de proteínas de manera negativa, pues como sabemos en las proteínas están los carbohidratos y azúcares que las levaduras transforman en  $\text{CO}_2$ . así entre mayor porcentaje de proteínas contengan las harinas mayor volumen de fermentación se tendrá. En la industria panadera lo que se busca es que el tiempo de fermentación sea menor y obtener volúmenes altos de pan, por eso se utilizan harinas altas en proteína.
- ❖ pH final con el tiempo óptimo de amasado se correlacionan de manera positiva si una variable aumenta la otra también. El amasado desdobra las enzimas para que las

levaduras puedan transformarlas más fácilmente. Además, que el pH final afecta la vida de anaquel del producto terminado.

- ❖ Fuerza con el porcentaje de proteínas se correlaciona de manera positiva es decir si las proteínas son mayores en las harinas la fuerza de la masa será mayor. Esto beneficiando a la industria panadera pues las masas con mayor fuerza tienden a retener mayor cantidad de CO<sup>2</sup> durante la fermentación y así obtener un buen alveolado a la hora de cocer el pan.
- ❖ Adhesividad se correlaciona de manera positiva con la fuerza de las masas, pues una masa con fuerza mayor será más adhesiva. Cuando una variable suba la otra sube con ella. Esta variable es importante en la industria panadera pues las masas no deben ser tan adhesivas pues los instrumentos que ahí manejan son mecánicos y no manuales y si una masa llegara a pegarse a algún rodillo se tendrían muchas horas muertas para despegarla.

## VIII. CONCLUSIÓN GENERAL

Se determinó el tiempo óptimo de amasado de lo cual se concluyó que el tratamiento PM3-BWML es similar a la Harina Selecta Integral.

Se determinó el volumen de fermentación de los tratamientos y se concluyó que el tratamiento PM3-BWML es similar a la Harina Selecta Integral.

En la textura específicamente en la elasticidad, se observó que el tratamiento PM18 Labastida fue superior a la Harina Manitoba Integral, para la adhesividad, se observó que el tratamiento PM-3 BWML mostró valores superiores a los testigos comerciales y en la fuerza se observó que el tratamiento 1 y 2 que fueron las harinas testigo comerciales tuvieron mayor fuerza en comparación con las líneas de estudio.

En base a los resultados obtenidos y analizados se concluye que las líneas en estudio, no cumplen con los niveles de especificación para hacer pan, sin embargo, se les puede dar el uso para hacer galletas ya que las galletas no requieren de un perfil de textura tan específico.

## SUGERENCIA

Realizar análisis de manera convencional como el tiempo óptimo de amasado a través de un mixógrafo y prueba de textura con el aditamento de Kiefer Ring, para determinar el uso que la industria panadera pueda dar a las harinas estudiadas y poder ofrecer una opción diferente de materiales de grano entero, elaborando así productos altos en fibra para beneficio de la población.

## IX. ANEXOS

### ANEXO I.

Cuadro 5. Adición de agua para prueba de amasado.

ADICIÓN DE AGUA PARA HARINA			
MUESTRA	10 g	30 g	50 g
PROTEÍNA %	AGUA mL	AGUA mL	AGUA mL
16,00	6,60	19,80	33,00
15,90	6,59	19,77	32,95
15,80	6,58	19,74	32,90
15,70	6,57	19,71	32,85
15,60	6,56	19,68	32,80
15,50	6,55	19,65	32,75
15,40	6,54	19,62	32,70
15,30	6,53	19,59	32,65
15,20	6,52	19,56	32,60
15,10	6,51	19,53	32,55
15,00	6,50	19,50	32,50
14,90	6,49	19,47	32,45
14,80	6,48	19,44	32,40
14,70	6,47	19,41	32,35
14,70	6,46	19,38	32,30
14,60	6,45	19,35	32,25
14,50	6,44	19,32	32,20
14,40	6,43	19,29	32,15
14,30	6,42	19,26	32,10
14,20	6,41	19,23	32,05
14,10	6,40	19,20	32,00
14,00	6,39	19,17	31,95
13,70	6,36	19,08	31,80
13,60	6,35	19,05	31,75
13,50	6,34	19,02	31,70
13,40	6,33	18,99	31,65
13,30	6,32	18,96	31,60
13,20	6,31	18,93	31,55
13,10	6,30	18,90	31,50
13,00	6,29	18,87	31,45
12,90	6,28	18,84	31,40
12,80	6,27	18,81	31,35
12,70	6,26	18,78	31,30
12,60	6,25	18,75	31,25
12,50	6,24	18,72	31,20
12,40	6,23	18,69	31,15

12,30	6,22	18,66	31,10
12,20	6,21	18,63	31,05
12,10	6,20	18,60	31,00
12,10	6,19	18,57	30,95
12,00	6,18	18,54	30,90
11,90	6,17	18,51	30,85
11,80	6,16	18,48	30,80
11,70	6,15	18,45	30,75
11,60	6,14	18,42	30,70
11,50	6,13	18,39	30,65
11,40	6,12	18,36	30,60
11,30	6,11	18,33	30,55
11,20	6,10	18,30	30,50

---

Fuente: Método 54-10. AACC, 1995.

Para realizar la prueba de amasado es necesario adicionar agua. Para adicionar esta hay que considerar el porcentaje de proteína y humedad de la muestra.

En términos generales se considera como valores ideales para harina de trigo, el presentar 14,0% de humedad y por tanto 86,0% de sólidos totales (b. s). Así, antes de estimar la cantidad de agua (mL) que se le requiere agregar a cualquier muestra, para realizar el amasado y determinar el tiempo óptimo de amasado, es necesario ajustar a ese valor el contenido de humedad (%) de la muestra a estudiar.

Dicho ajuste se realizará considerando en primer lugar, el % de humedad y proteína de la muestra. Para lo cual, se realizará el siguiente cálculo:

$$X = \frac{86 \% (\% Pm)}{BSm}$$

Donde:

X= % Proteína estimado de la muestra a evaluar.

86,0%= B.S. como valor ideal en una harina de trigo con un 14,0% de humedad.

$\%P_m =$  % de la proteína de la muestra.

BS m= Valor estimado de los sólidos totales de la muestra a evaluar.

Posteriormente, con el valor de X% de proteína estimado se utiliza el Anexo 1 (Adición de agua para prueba de amasado) y en base al peso de la muestra, estimar el valor del volumen de agua a adicionar para la prueba de tiempo óptimo de amasado.

ANEXO II.

Cuadro 6. Resultado del Análisis de Varianza (ANOVA).

<b>ANOVA Tabla para H2O por TRATAMIENTO</b>					
Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón- F	Valor- P
Entre grupos	11,01	5	2,202	71,42	0,0000
Intra grupos	0,37	12	0,0308333		
Total (Corr.)	11,38	17			
<b>ANOVA Tabla para PROTEINAS por TRATAMIENTO</b>					
Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón- F	Valor- P
Entre grupos	40,3873	5	8,07745	146,79	0,0000
Intra grupos	0,660333	12	0,0550278		
Total (Corr.)	41,0476	17			
<b>ANOVA Tabla para TOA por TRATAMIENTO</b>					
Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón- F	Valor- P
Entre grupos	45990,4	5	9198,09	1009,55	0,0000
Intra grupos	109,333	12	9,11111		
Total (Corr.)	46099,8	17			
<b>ANOVA Tabla para V 60 min por TRATAMIENTO</b>					
Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón- F	Valor- P
Entre grupos	2293,33	5	458,667	30,81	0,0000
Intra grupos	178,667	12	14,8889		
Total (Corr.)	2472,0	17			
<b>ANOVA Tabla para pH INICIAL por TRATAMIENTO</b>					
Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón- F	Valor- P
Entre grupos	0,692917	5	0,138583	2,32	0,1079
Intra grupos	0,716733	12	0,0597278		
Total (Corr.)	1,40965	17			
<b>ANOVA Tabla para pH FINAL por TRATAMIENTO</b>					
Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón- F	Valor- P
Entre grupos	0,220111	5	0,0440222	3,18	0,0466
Intra grupos	0,166067	12	0,0138389		
Total (Corr.)	0,386178	17			
<b>ANOVA Tabla para Fuerza por TRATAMIENTO</b>					
Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón- F	Valor- P
Entre grupos	2,02087	5	0,404173	2,80	0,0670
Intra grupos	1,73353	12	0,144461		
Total (Corr.)	3,7544	17			
<b>ANOVA Tabla para Elasticidad por TRATAMIENTO</b>					
Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	6,86063	5	1,37213	5,24	0,0088
Intra grupos	3,14147	12	0,261789		
Total (Corr.)	10,0021	17			
<b>ANOVA Tabla para Adhesividad por TRATAMIENTO</b>					
Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre Grupos	0,130294	5	0,0260589	0,59	0,7107
Intra Grupos	0,5334	12	0,04445		
Total (Corr.)	0,663694	17			

Cuadro 7. Nivel de significancia

Variable	Valor de <i>P</i>	Nivel de significancia
H <sub>2</sub> O	0,0000	**
Proteínas	0,0000	**
Tiempo Óptimo de Amasado	0,0000	**
Volumen de fermentación a 60 min	0,0000	**
pH Inicial	0,1079	N. S
pH Final	0,0466	*
Fuerza	0,0670	N. S
Elasticidad	0,0088	**
Adhesividad	0,7107	N. S

## X. BIBLIOGRAFÍA

AACC. (American Association of Cereal Chemists). 1995. Approved Methods of the AACC, 9th Ed. The Association: St. Paul, MN. Methods 10.05, 10-10B, 44-19, 46-13, 54-10, 50-40, 54-40A.

AACC. Method 54-40. 1995. Para tiempo óptimo de amasado American Association of Cereal Chemists Approved methods of the, 9 the ed. AACC, St. Paul, MN. USA. 1268 p.

AACC. Method, 54-10 1995. Prueba de textura. American Association of Cereal Chemists Approved methods of the 9 the ed. AACC, St. Paul, MN. USA. 1268 p.

Antolín, D. S. 2001. Evaluación de la Calidad de Harina de Trigo (*Triticum vulgare*) para la industria de panificación. Tesis de Licenciatura de Ingeniero Agrónomo Industrial. Universidad Autónoma del Estado de México. El Cerrillo Piedras Blancas, Estado de México.

AOAC. 2000. Método 925-09. Prueba para determinar el contenido de proteína. Official Methods of Analysis. Of the association of official analytical chemists 15th Edition 1990.

AOAC. 2000. Método 954-01, Prueba para determinar el contenido de humedad. Official Methods of Analysis. of the association of official analytical chemists. 15th Edition. 1990.

Avendaño, C. M. 2002. Avance genético en parámetros de calidad panadera en trigo (*Triticum aestivum* L.) combinando mejoramiento convencional y selección asistida por marcadores moleculares en poblaciones segregantes. Tesis de Licenciatura. Universidad Austral de Chile. Valdivia Chile.

Beach, E. (1961). Beccari of Bologna: The discoverer of vegetable protein. J. Hist. Med., 26, 354-373.

Bernabé, J. C. 2014. Influencia de los componentes de la harina en la panificación. Parte 1. Almidón. (En línea) [Consulta marzo de 2018]. Disponible en

<http://www.indespan.com/userfiles/file/Microsoft%20Word%20%20ARTICULO%20PANORAMA%20PANADERO-ALMIDON.pdf>)

Bressiani J., Oro, T., Santetti, G. S., Almeida, J. L., Bertolin, T. E., Gómez, M. and Gutkoski, L. C. 2017. Properties of whole grain wheat flour and performance in bakery products as a function of particle size. *Journal of Cereal Science*. 75: 269-277.

Calixto, M. J. J. 2018. Evaluación de calidad panadera de harinas de grano entero de trigo (*Triticum eastivum* L.) mediante marcadores bioquímicos, pruebas fisicoquímicas y reológicas (tesis de grado doctoral). Universidad Autónoma del Estado de México.

CANIMOLT (Cámara Nacional de la Industria Molinera de Trigo). 2017. Reporte Estadístico 2015 con información al 2016, Sinnergia Diseño Ayuntamiento 7-2ª Col. Cd. Adolfo López Mateos, Edo, de México, México, 136 p.

Cerda-Cova, V. y Vázquez-Chávez, L. 2017. Diferentes masas de trigo prefermentadas usadas para mejorar la calidad del pan. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos* 2: 60-64.

De la Vega, R. G. 2009. Proteínas de la harina de trigo: clasificación y propiedades funcionales, temas de ciencia y tecnología. (En línea) [Consulta mayo 2018] disponible en <http://panypizza.com/tecnica/proteinas-del-trigo-composicion-funcionalidad/>.

Dendier, R. 2011. Fermentación parte I. El club del pan (en línea). [Consulta febrero de 2018]. Disponible en <http://unpedazodepan.es/la-masa-madre-paso-paso-iv-hacer-pan/>.

Dendy, D. A. y Dobraszczyk, B. J. 2004. Cereales y Productos Derivados. Química y Tecnología. Ed. Acribia. Zaragoza, España. Pp 403-421.

FAO, 2017. Organización de las naciones unidas para la agricultura y alimentación. Roma, ISBN 92-5-300437.

Ferruzzi, M. G., Jonnalagadda, S. S., Liu, S., Marquart, L., McKeown, N., Reicks, M., Riccardi, G., Chris Seal, C., Slavin, J., Thielecke, F., van der Kamp, J-W., and Webb, D. 2014. Developing a Standard Definition of Whole-Grain Foods for Dietary Recommendations: Summary Report of a Multidisciplinary Expert Roundtable Discussion. Review. American Society for Nutrition. *Advances of Nutrition*. 5: 164-176.

Flecha, M. 2015. Procesos y técnicas de panificación. *Revista Mexicana Agrícola*. Pp. 4-6, 8-12,30-38.

Franco, V. 2015. Cómo diferenciar los tipos de harinas. (En línea). [Consulta febrero 2018] Disponible en <https://chefenflor.wordpress.com/2015/04/09/conociendo-las-harinas-y-levaduras/>.

Gimeferrer, N. 2009. Del grano a la harina | EROSKI CONSUMER. (En línea) [Consulta mayo 2018]. Disponible en <https://www.eroski.es/>.

Goesaert, H., Bris, K., Veraberbeke, W. S., Courtin, C. M., Gebruers, K. and Delcour, J. A. 2005. Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends in Food Science & Technology*, 16: 12-30.

Hernández, J. M. 2018. Alimentos funcionales. Fundación viva sano. (En línea) [Consultado 30/01/2018]. Disponible en <http://www.vivosano.org/>.

Higor, H. J y Velasco, V. 2010. Análisis de las propiedades de textura durante el almacenamiento de salchichas elaboradas a partir de tilapia roja. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Colombia (tesis). Pag 51.

Hoseney, C. 1991 Principios de Ciencia y Tecnología de los Cereales. Acribia. Zaragoza, España. pp. 269-274.

Islas, R. A., MacRitchie, F., Gandikota, S. y Hou, G. 2005. Relaciones de la composición proteínica y mediciones reológicas en masa con la calidad panadera de harinas de trigo. Revista Fitotecnia Mexicana. Pp. 28 243-251.

León, E. A. y Rosell, C. 2007. De tales harinas tales panes. Granos harinas y productos de panificación en Iberoamérica. Capítulo 1: Trigo. 1a edición, Cytel y Báez Ediciones. Córdoba, Argentina. 480 p.

Lezcano, E.P. 2007. Análisis de producto cereal para el desayuno. Alimentos argentinos. (En línea) [Consulta febrero 2018]. Disponible en [http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/sectores/farinaceos/Productos/Cereales.Desayuno\\_2010\\_11Nov.pdf](http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/sectores/farinaceos/Productos/Cereales.Desayuno_2010_11Nov.pdf).

Liu, Y., Xiong, Z., He, Y., Shewry, P. R, and He, G. 2007. Diversidad genética de la subunidad de glutenina HMW en variedades locales de trigo chino (*Triticum aestivum* L.) de la provincia de Hubei. Recursos genéticos y evolución de los cultivos, 54 (4): 865-874.

López, A. 2018. Beneficios-de-la-harina-integral-que-debes-conocer. (En línea) [Consultado febrero 2018] Revista ovix. Disponible en <https://www.vix.com/es/salud/175692/7-beneficios-de-la-harina-integral-que-debes-conocer>.

Mesas, J. M. y Alegria, M. T. 2002. El pan y su proceso de elaboración Ciencia y Tecnología Alimentaria. Sociedad Mexicana de Nutrición y Tecnología de Alimentos Reynosa, México. Vol. 3, núm. 5, pp. 307-313.

Montoya, L, J; Giraldo- Giraldo, G A.; Lucas-Aguirre, J. C. 2012. Determinación del índice de blancura en harina de trigo comercial. *Vitae*, Vol. 19, núm. 1, pp. 415-416. Universidad de Antioquia Medellín, Colombia.

Moore, M; Heinbockel; P; Dockery H. M. U. and Arendt, E. E. 2006. "Network Formation in Gluten-Free Bread with Application of Transglutaminase". *Cereal Chemistry*, Vol. 83, pp. 28-36.

Munteanu, M. G., Voicu, G., Ungureanu, N., Zăbavă, B. Ş., Ionescu, M., Constantin, G. and Istrate, I. 2016. Methods for determining the characteristics of flour and dough.

NMX-F-007-1982. Norma Oficial Mexicana de Fitosanidad. Alimentos para humanos. Harina de trigo. Foods for humans. Wheat flour. Normas mexicanas. Dirección general de normas.

NOM-247-SSA1-2008, Norma Oficial Mexicana Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales.

Normahomed, I. 2005. El papel de la fermentación a lo largo de la historia. Tipo y tecnología de la panificación. Sabadell universidad cuarta edición. Pp. 4-8.

Oliver, J. R. and Allen, H. M. 1992. The prediction of bread baking performance using the farinograph and extensograph. *Journal of Cereal Science*. Pp.15: 79-89.

Olmedo, G. F. 1964. El papel de la fermentación en la fabricación del pan. *Cereales*. Pp.173: 13-15.

Osborne, T. B. 1924. The vegetable proteins. Longmans. 2nd Ed. New York; Green Co. Pp. 154.

Peña, B. R. J., Hernández, E. N., Pérez, H. P., Villaseñor, M. E., Gómez, V. M. M. y Mendoza, L. M. A. 2008. Calidad de la cosecha de trigo en México. Ciclo otoño-invierno 2006-2007. Publicación Especial del CONASIST-CONATRIGO. Mexico, D.F. 28 p.

Rodríguez, S. E; Fernández, Q. A; Ayala, A. A. 2005. Reología y textura de masas: aplicaciones en trigo y maíz Ingeniería e Investigación. Universidad Nacional de Colombia Bogotá, Colombia., Vol. 25, núm. 1, pp. 72-78.

Rosenthal, A. 1999. Food texture measurements and perception. Editorial Aspen Publisher INC. Pp 10-12.

Salas, M. M.M; y Haros, M. 2016. Evaluación de la calidad tecnológica, nutricional y sensorial de productos de panadería por sustitución de harina de trigo por harina integral de arroz. Brazilian. Journal of. Food Technology. Campinas, Vol. 19. P 5-7.

SAS, 2002. Statistical Analysis System. User's Guide: Statistics. Ver 9.0. SAS Institute, Cary, NC.

Shoemaker, C. F; Lewis, J.I and Tamura, M, S 1987. Instrumentation for technology measurements of food. Food technology.

Slavin J. 2005. Dietary fiber and body weight nutrition. (En línea) [Consultado abril 2018).  
¡Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0899900704003041#!>

Vásquez-Lara, F., Camacho-Casas, M. A., Granados-Nevárez, M. C., Silva, E. B. e Islas-Rubio, A. R. 2009. Propiedades reológicas y composición proteica: parámetros de calidad en harinas de líneas experimentales de trigo. Biotecnia. Pp.9-36.

Villanueva, F. R. 2014. El gluten del trigo y su rol en la industria de la panificación. Ingeniería Industrial. 32: 231-246.