



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD PANADERA DE 4 LÍNEAS DE TRIGO  
(*Triticum aestivum* L) PRODUCIDAS EN EL ESTADO DE MÉXICO”

# TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÓNOMO INDUSTRIAL

**PRESENTA**

**DANIELA RIVERA GONZÁLEZ**

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.

**DEDICATORIA**

A mi madre por brindarme su apoyo, confianza y respaldo en cada paso que doy para hacer  
realidad cada uno de mis sueños.

### **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por regalarme sabiduría y fuerza para lograr este sueño.

A mi Madre y hermana por apoyarme en todo momento.

A la Dra. María Dolores Mariezcurrena Berasain por su dedicación en esta investigación.

A la Dra. Dora Luz Pinzón Martínez por su atención e interés en este proyecto.

A la empresa “Resource Seeds International S. de. R.L de C.V por proporcionarme los materiales para llevar a cabo esta investigación.

Al Mtro. Jesús Castellón Jardón por compartirme sus conocimientos.

## **RESUMEN**

El objetivo principal de ésta investigación fue comparar harinas de grano entero con dos harinas comerciales, en parámetros de prueba de amasado, prueba de fermentación y prueba de panificación. Se realizó un análisis de varianza al 5% por triplicado para comparar los cuatro tratamientos de harina de grano entero (HGE) con los dos testigos que fueron las harinas comerciales. La calidad de trigo panadero está determinada por pruebas de textura y análisis bromatológicos, ésta se encuentra relacionada con la harina de trigo y ambas cosas establecen la cantidad de agua absorbida y los parámetros de tiempo óptimo de mezclado. Las variables respuesta fueron: Prueba de amasado (humedad, cantidad de agua absorbida, proteína y tiempo óptimo de amasado), Prueba de fermentación (peso inicial y final, volumen de fermentación, temperatura inicial y final, pH inicial y final) y Prueba de panificación: peso de pan horneado, densidad y volumen de pan. Las diferencias estadísticas entre tratamientos fueron analizadas por DMS al 5% (SAS, 2002). Los valores de proteína y humedad de las harinas de grano de trigo entero fueron menores que las harinas comerciales comparadas. Con los parámetros estudiados se concluye que las harinas evaluadas no cumplen con los parámetros de calidad panadera. Sin embargo, de acuerdo a los parámetros evaluados se sugiere que las harinas estudiadas podrían usarse en la elaboración de galletas.

**Palabras clave:** *Triticum aestivum L*, calidad panadera, fermentación, trigo

### **ABSTRACT**

The objective of the present research was to compare Whole Grain Wheat Flours (WGWF) with two commercial whole meal flours with kneading parameters, fermentation volume test and bakery parameters. Wheat bakery quality is determined by proximal analysis and texture probes, which are related to protein flour; besides, they dictated water quantity absorbed and optimal mixing time parameters. A complete random design by triplicate was done with four treatments (WGWF) and two commercial controls “Manitoba Flour” and “Whole meal Selecta flour”. Kneading parameters (humidity, absorbed water, protein, optimal kneading time), fermentation volume test (Initial and final weight, fermentation volume, initial and final temperature, initial and final pH) and bakery parameters (baked bread weight, density and bread volume) were the response variables. Significant differences between treatments were analysed by a Last Significant Differences (LSD) analyse 0.05% (SAS, 2002). Protein and humidity values of WGWF were lower than both commercial flours compared. Based on the results obtained, it is concluded than the four WGWF studies did not achieve specification characteristics for bakery quality standards; nevertheless, according to the evaluated parameters, it is suggested that same flours could be used in cookies production.

**Key words:** *Triticum aestivum* L, bakery quality, fermentation, wheat.

## ÍNDICE GENERAL

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>I</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>II</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>III</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE GENERAL .....</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS .....</b>	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>IX</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Trigo .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1.1 Trigos duros.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1.2 Trigos suaves .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 Harina .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2.1 Propiedades de la harina .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2.2 Harinas de grano entero .....</b>	<b>4</b>
<b>2.3 Amasado.....</b>	<b>5</b>
<b>2.3.1 Tiempo óptimo de amasado.....</b>	<b>5</b>
<b>2.3.2 Tipos de amasadoras.....</b>	<b>5</b>
<b>2.4 Fermentación .....</b>	<b>6</b>
<b>2.5 Definición de pan.....</b>	<b>6</b>
<b>2.5.1 Panificación.....</b>	<b>7</b>
<b>2.6 Pruebas para evaluar calidad panadera .....</b>	<b>8</b>
<b>2.6.1 Pruebas fisicoquímicas en pan .....</b>	<b>8</b>
<b>2.6.2 Prueba de volumen de pan .....</b>	<b>8</b>
<b>2.6.3 Prueba de masa directa .....</b>	<b>8</b>
<b>2.6.4 Pruebas de calidad reológica en masa .....</b>	<b>8</b>
<b>III. OBJETIVOS.....</b>	<b>10</b>
<b>Objetivo General .....</b>	<b>10</b>

Objetivos Específicos .....	10
<b>IV. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>11</b>
<b>V. MATERIALES Y METODOS .....</b>	<b>12</b>
5.1. Material vegetal.....	12
5.2 Molienda de los granos para cada muestra .....	12
5.2.1 Molienda .....	12
5.2.2 Tamizado.....	13
5.3 Prueba de amasado.....	13
5.3.1 Humedad.....	13
5.3.2 Cantidad de agua absorbida .....	14
5.3.3 Proteína .....	14
5.3.4 Tiempo óptimo de amasado.....	14
5.4.1 Peso inicial .....	15
5.4.4 Volumen de fermentación.....	15
5.4.5 Temperatura final .....	15
5.4.6 pH final.....	16
5.5 Prueba de panificación .....	16
5.5.1 Peso cocido .....	17
5.5.2 Volumen de pan.....	17
5.5.3 Densidad.....	17
5.8 Diseño Experimental.....	17
<b>VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>18</b>
6.1 Prueba de amasado .....	20
6.1.1 Humedad.....	20
6.1.2 Cantidad de agua absorbida .....	20
6.1.3 Proteína .....	21
6.2 Prueba de volumen de fermentación en cilindro.....	23
6.2.1 Peso inicial de la masa.....	23
6.2.2 Volumen de fermentación.....	23
6.2.3 Temperatura Inicial .....	24

<b>6.2.4 pH inicial</b> .....	25
<b>6.3 Prueba de Panificación</b> .....	26
<b>6.3.1 Peso de pan horneado</b> .....	26
<b>VII. CONCLUSIONES</b> .....	<b>29</b>
<b>VIII. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>30</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Título</b>	<b>Pág</b>
1	Resultados de la Comparación de Medias de DMS para las variables en las pruebas de Amasado, Prueba de panificación y Prueba de Fermentación para los 6 tratamientos	21

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Título</b>	<b>Pág</b>
1	Resultados obtenidos en la variable tiempo óptimo de amasado.	25
2	Evaluación del volumen de fermentación en cilindro	27
3	Análisis de pH inicial.	29
4	Evaluación de volumen de pan	31

## **I. INTRODUCCIÓN**

Los cereales son sin duda de gran importancia en la alimentación humana. Cabe resaltar que el cereal más utilizado en la producción de pan es el trigo, debido a que posee una propiedad única para formar una masa que puede retener  $CO_2$ , producido por las levaduras durante su fermentación. Ésta característica se atribuye principalmente a las proteínas del gluten (Gómez *et al.*, 1997), dichas proteínas juegan un papel indispensable, para determinar la calidad en la formación de la masa y le proporcionan la capacidad de cohesividad, absorción de agua, elasticidad y viscosidad (Martínez *et al.*, 2008).

Los principales productores de trigo a nivel nacional son los estados de Sonora, Guanajuato, Baja California, Sinaloa, Michoacán, Tlaxcala y Jalisco. Sin embargo, el Estado de México no cuenta aún con la producción para considerarse uno de los principales. Así, se puede sugerir que se incluya al cultivo de trigo en la producción de granos aparte del cultivo de maíz que abarca la mayor cantidad de suelo agrícola (Gutiérrez, 2016).

Por otra parte, en la presente investigación se evaluaron las características de calidad panadera de 4 líneas de harina de trigo (*Triticum aestivum L*) PM-15 LABASTIDA, PM18 LABASTIDA, PM-6 BWB y PM-3 BWBXL proporcionadas por la empresa “Resource Seeds International S. de. R.L de C.V”. Los datos se obtuvieron al realizar el siguiente conjunto de pruebas: contenido de humedad de trigo, contenido de proteína de trigo, prueba de amasado, prueba de volumen de fermentación en cilindro y prueba de panificación, cuyo objetivo fue evaluar la calidad de cada una de las líneas ya antes mencionadas.

Por otra parte, se llevó a cabo una comparación con harinas integrales comerciales, todo esto con el fin de ubicar en qué tipo de producto pueden ser utilizados, ya que las harinas de trigo de grano entero, conservan las partes que los componen, aún si ha sido procesado, el producto final debe contener aproximadamente, la misma composición de nutrimentos que se encuentran el grano original (Gutiérrez, 2016). Lo que trae consigo un mayor aporte de todos

los nutrientes, como son la fibra, antioxidantes, fitoquímicos y de minerales tales como vitaminas, ácido fólico, hierro y zinc.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Trigo

Los cereales constituyen el eje de la agricultura y la fuente de diversos alimentos procesados o semiprocados, el trigo es uno de los principales a nivel mundial. La palabra trigo proviene del latín *Triticum* cuyo significado es quebrado, triturado o trillado y hace referencia al proceso que se sigue para separar de su cascarilla. Se utilizan para obtener gran variedad de productos alimenticios, por ejemplo, pan, galletas, pastas, harina, entre otras. Además, en Europa fue importante también para la fabricación de papel y cartón (Juárez *et al.*, 2014). Las variedades de trigo actuales (*Triticum aestivum*) han evolucionado por diferenciación genómica y por cruzamiento con trigos silvestres. Las tres especies originales, conocidas como trigos antiguos, son espelta (*Triticum spelta*), farro (*Triticum diococcum*) y escanda (*Triticum monococcum*). Una ventaja de los trigos antiguos es que retienen su cascarilla, que protege al grano maduro del ataque de insectos y se elimina antes del procesamiento del grano, en cambio en los granos actuales esta cascarilla se trilla fácilmente durante la cosecha (Juárez *et al.*, 2014).

Por su parte Garza (2011) afirma que el trigo es ampliamente cultivado en todo el mundo siendo, de las cosechas más importantes en Canadá, Estados Unidos y sus sembradíos se expanden en casi todos los países de Asia, Europa y América Latina. Posee una gran estabilidad y una vida útil de anaquel considerable, además contiene gluten, que es necesario para productos panificables; gracias a estas características es el cereal más cultivado en el mundo. Los productos elaborados a base de harina de trigo son consumidos en forma masiva, entre ellos, el pan ocupa un lugar preponderante en todo el mundo.

#### 2.1.1 Trigos duros

Las harinas duras proceden del trigo duro, contienen más proteína y por ende más gluten y se utiliza en productos panificables (Gimeferrer, 2009). El contenido de proteína de este tipo de harina es de 10,0 % a 13,0 % (Franco *et al.*, 2015).

### **2.1.2 Trigos suaves**

Las harinas suaves procedentes de trigo suave, se diferencian por la cantidad de gluten presente en ellas (Gimeferrer, 2009). El contenido de proteína de este tipo de harina es de 7,5 % a 10 % y la utilizan en la fabricación de pasteles y galletas (Franco *et al.*, 2015).

## **2.2 Harina**

La harina es el polvo fino que se obtiene del cereal molido y de otros alimentos ricos en almidón. Se obtiene harina de distintos cereales, aunque la más habitual es harina de trigo considerado como elemento habitual en la elaboración del pan, también se hace harina de centeno, de cebada, de avena, de maíz o de arroz. (Franco *et al.*, 2015)

Por otra parte, lo mencionado por la Normatividad Mexicana que hace referencia a cereales y sus productos (NOM-247-SSA1-2008) establece que la harina o harina de trigo, es la obtenida de la molienda del trigo del grano maduro, entero, quebrado, y seco del género *Triticum L.*, de las especies *T. vulgare*, *T. compactum* y *T. durum* o mezclas de éstas, limpio, en el que se elimina gran parte del salvado y germen y el resto se tritura hasta obtener un grano de finura adecuada.

### **2.2.1 Propiedades de la harina**

Las propiedades funcionales de la harina de trigo son la capacidad de formar una masa viscoelástica y la absorción que presenta, cuando es mezclada con agua y las proteínas del gluten, gliadinas y gluteninas, son las implicadas de tal comportamiento en la industria. La cantidad y la composición de estas proteínas, influyen en las propiedades de la masa y el potencial de la harina (Ramírez *et al.*, 2012). Es así, que 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).

### **2.2.2 Harinas de grano entero**

Las harinas de grano entero, ofrece todas las ventajas de consumir el grano de trigo completo,

aprovechando cada una de sus tres partes: salvado, endospermo y germen. Aportan mayor contenido de nutrientes importantes como vitaminas, proteínas, carbohidratos, ácidos grasos esenciales, ácido fólico, sales minerales y fibra. Los panes resultantes del uso de éste tipo de harinas, tienen un contenido más alto en fibra, vitaminas, proteínas, antioxidantes, fotoquímicos y lípidos, y un mucho menor porcentaje de hidratos de carbono que el pan blanco (Franco *et al.*, 2015).

## **2.3 Amasado**

El amasado es un proceso en la fabricación de pan o masa de pasta, que se utiliza para mezclar los ingredientes y añadir resistencia al producto final. Su importancia radica en la mezcla de la harina con el agua. Cuando estos dos ingredientes se combinan y amasan, las proteínas gliadina y glutenina en la harina se expanden y forman hebras de gluten, que dan al pan su textura (Hernández, 2009).

### **2.3.1 Tiempo óptimo de amasado**

El tiempo óptimo de amasado (TOA), se relaciona con el porcentaje de humedad y proteína de la harina. El agua es el componente mayoritario de la masa y es el que hace posible el amasado de la harina. Hidrata facilitando el desarrollo del gluten, que es parte de la proteína insoluble y que a su vez uno de los componentes mayoritario de la harina, con ello y empleando el tiempo correcto para obtener una mezcla homogénea, le confieren a la masa sus características viscoelásticas como cohesión, elasticidad, plasticidad y la tenacidad (Hernández, 2009).

### **2.3.2 Tipos de amasadoras**

En cuanto al proceso de amasado, Mezas y Popoca (2009) mencionaron que los principales objetivos del mismo son lograr la mezcla íntima de los distintos ingredientes y conseguir, por medio del trabajo físico del amasado, las características viscoelásticas de la masa, así como su perfecta oxigenación. El amasado se realiza en máquinas denominadas amasadoras que constan de una artesa móvil, donde se colocan los ingredientes y de un elemento amasador.

Su diseño determina en cierto modo los distintos tipos de amasado, siendo actualmente las más utilizadas, las de brazos de movimientos variados (sistema Artofex) y las espirales (brazo único en forma de «rabo de cerdo).

## **2.4 Fermentación**

Este proceso consiste básicamente en una fermentación alcohólica llevada a cabo por levaduras que transforman los polisacáridos (amilosa y la amilopectina) constituyentes del almidón fermentables en etanol,  $CO_2$  y algunos productos secundarios. En el caso de utilizar levadura para hacer la masa (*Saccharomyces cerevisiae*), los objetivos de la fermentación son la formación de  $CO_2$ , para que, al ser retenido por la masa, mejore el sabor del pan como consecuencia de las transformaciones que sufren los componentes de la harina (Mezas y Popoca, 2009).

### **2.4.1 Aspectos químicos de la fermentación**

Las levaduras producen  $CO_2$  y etanol que dilatan, siempre y cuando no se disuelvan en la fase acuosa de la masa (Belitz y Grosch, 2003). La levadura tiene dos funciones: favorecer la maduración de la masa y producir  $CO_2$  para airearla (Mesas y Popoca, 2009).

El mecanismo de producción del  $CO_2$  consiste en la transformación del azúcar en anhídrido carbónico y alcohol. Esta producción depende de la presencia de levadura en la masa y de la cantidad de sustrato (azúcares fermentables) que contiene la harina. Pasteur demostró que la fermentación alcohólica tiene lugar en un ambiente anaeróbico, esto es, en ausencia de oxígeno, a través de este proceso las levaduras están en condiciones de producir energía de la glucosa en ausencia del oxígeno. Normalmente, las bacterias lácticas se encuentran en la masa a una temperatura de 35 °C y pH 5.8 y 6.2, lo que hace que el ambiente ácido favorezca el desarrollo del gluten haciéndolo al mismo tiempo más extensible (Sánchez, 2009).

## **2.5 Definición de pan**

El pan es un alimento básico que forma parte de la dieta tradicional en gran parte del mundo. Se suele preparar mediante el horneado de una masa, elaborada fundamentalmente con harina

de cereales, sal y agua. La mezcla, en la mayoría de las ocasiones, suele contener a las levaduras para que fermente la masa y sea más esponjosa y tierna. El cereal más utilizado en su elaboración es la harina de trigo (Gimeferrer, 2009). El término pan, designa el producto perecedero resultado de la cocción de una masa obtenida de la mezcla de harina de trigo, sal y agua potable, fermentada por microorganismos propios de la fermentación que surge. El pan es un alimento cotidiano que se elabora desde tiempos inmemorables gracias a la facilidad de su proceso (González, 2002).

### **2.5.1 Panificación**

Existen tres sistemas generales de elaboración de pan que vienen determinados principalmente, por el tipo de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) utilizado (Tejero, 2002), siendo los siguientes:

**Directo:** Es el menos frecuente y se caracteriza por utilizar exclusivamente levadura comercial. Requiere un periodo de reposo de la masa de unos 45 min antes de la división de la misma. No es útil en procesos mecanizados con división automática volumétrica.

**Mixto:** Es el sistema más frecuente en la elaboración de pan común. Utiliza simultáneamente masa madre (levadura natural) aquella que se genera en el proceso de fermentación al mezclar el agua con la harina o la levadura comercial que se adiciona para acelerar el proceso de fermentación. Requiere un reposo previo a la división de la masa de sólo 10-20 min. Es el más recomendable cuando la división de la masa se hace por medio de divisora volumétrica.

**Esponja o *poolish*:** Es el sistema universalmente empleado en la elaboración de pan francés y sobre todo en la de pan de molde. Consiste en elaborar una masa líquida (esponja) con el 30 — 40% del total de la harina, con la levadura (comercial) y tantos litros de agua como kilos de harina. Se deja reposar de 2-6 hr, quedando una masa muy blanda y a veces pegajosa. La segunda fase consiste en incorporar la esponja a los ingredientes que faltan, someterlos a una segunda mezcla donde la fermentación es relativamente corta.

## **2.6 Pruebas para evaluar calidad panadera**

### **2.6.1 Pruebas fisicoquímicas en pan**

La Norma Oficial Mexicana (NMX-F-159-S-1983) establece que los parámetros mínimos y máximos que se deben obtener en este tipo de pruebas son los siguientes, para humedad de 30 a 38 %, cenizas 1.8 a 2.5 %, proteínas 8 a 9 %, grasa en 0.8 a 4 %, fibra cruda 0.2 a 0.4 % y pH 4.5 a 5.8.

### **2.6.2 Prueba de volumen de pan**

Menciona en su investigación Castro, 2015 que la medición del volumen del pan se hace una hora después de la cocción. Se utiliza un aparato llamado medidor de volumen de pan, provisto de un recipiente que contiene el pan. La medición se realiza midiendo el volumen de las semillas de colza o canola desplazadas por el espacio ocupado por el pan. La densidad del pan se calcula como el cociente entre peso y volumen del pan.

### **2.6.3 Prueba de masa directa**

Esta prueba es realizada con las levaduras presentes de manera natural en alimentos como los cereales, también conocidas como masa madre, en especial levaduras como *Saccharomyces cerevisiae*, que tradicionalmente ha servido para hacer fermentar el pan, antes de que existiese la levadura comercial (Flecha, 2015).

### **2.6.4 Pruebas de calidad reológica en masa**

La reología es la ciencia encargada de estudiar la deformación de los cuerpos cuando son sometidas a un esfuerzo externo. En la industria de alimentos, evalúa la deformación y flujo de productos intermedios, materias primas y de todos los productos. En el caso de las masas, las propiedades reológicas, son un buen índice de la calidad de los productos panificables. Al determinar estas propiedades se simula las operaciones necesarias para elaboración de pan. Para evaluar el comportamiento en el amasado se utiliza entre otros el equipo Mixolab de Chopin, que determina la fuerza necesaria para mezclar una masa a una velocidad constante. Una de las características reológicas que demuestra buena calidad de la harina

destinada para panificación es el tiempo óptimo de amasado, basado en el porcentaje de humedad y proteína de la harina permite determinar el % de absorción de agua para obtener una masa homogénea en menor tiempo (Gil, 2009).

Existe una infinidad de autores que indican cuales son los parámetros para definir la “calidad panadera”, sin embargo, Montoya *et al.* (2012) sugieren que al referirse a calidad panadera podrían tomarse en consideración los siguientes parámetros (Cuadro1).

### **III. OBJETIVOS**

#### **Objetivo General**

Evaluar las características de calidad panadera de cuatro harinas de grano entero, de cuatro líneas de trigo provenientes del Estado de México, mediante prueba de amasado, prueba de fermentación en cilindro y prueba de panificación.

#### **Objetivos Específicos**

- 1.- Obtener harina integral a partir de los granos de las 4 líneas de trigo y analizar su contenido de humedad y proteína.
- 2.- Determinar mediante un ensayo subjetivo el tiempo óptimo de amasado requerido para la elaboración de las masas producidas a partir de harinas provenientes de las 4 líneas de trigo del Estado de México.
- 3.- Analizar la calidad de la masa mediante una prueba subjetiva de volumen de fermentación en cilindro.
- 4.- Evaluar las masas de las cuatro líneas de trigo, para elaborar pan de caja.
- 5.- Elaborar pan de caja con cada una de las harinas objeto de estudio.
- 6.- Determinar el volumen y peso específico a los panes elaborados y contrastar su calidad panadera, respecto a las harinas comerciales.

#### **IV. JUSTIFICACIÓN**

La mayor demanda de trigo en nuestro país la tiene la industria harinera, que a su vez provee de materia prima a los fabricantes de la industria del pan, en donde la calidad del producto es determinada por la cantidad y la calidad de la proteína del grano de trigo principalmente (Martínez *et al.*, 2008). Cabe resaltar que el Estado de México no es de los principales productores a nivel nacional, hasta el momento. Sin embargo, éste cereal puede ser incluido además del maíz, que es el grano de mayor consumo en el Estado de México. Lo anterior traerá consigo beneficios tales, como el ahorro en transporte, al no traerlo de otros estados de la República. Por otra parte, cabe mencionar que al estudiar las 4 líneas de trigo que ya fueron cultivadas en el Estado de México, se buscará dar a conocer su calidad panadera, si dichas líneas de trigo son factibles para la elaboración de pan de caja.

Aunado a lo anterior, las harinas de trigo de grano entero, traen consigo un mayor aporte de nutrientes tales como las vitaminas, ácido fólico, hierro, zinc y otros minerales esenciales, en consecuencia, debido a estas riquezas del grano, se han asociado con una mejor salud física. Derivado de lo anterior, en el presente trabajo se estudiaron cuatro líneas de trigo donadas por la empresa Resource Seeds International S. de. R.L de C.V, con el fin de lograr el registro como variedad de cada una y evaluar si son apropiadas para elaboración de pan de caja.

## **V. MATERIALES Y METODOS**

### **5.1. Material vegetal**

Se evaluaron las líneas de trigo (*Triticum aestivum* L.) PM-15 LABASTIDA, PM18 LABASTIDA, PM-6 BWW y PM-3 BWMXL proporcionadas por la empresa “Resource Seeds International S. de. R.L de C.V”, mismas que se evaluaron en el ciclo otoño- invierno 2016 en el Municipio de Chapultepec, Delegación San Mateo Oxtotitlán, Toluca de Lerdo, México. Se utilizaron 5 kg de grano de trigo para ser evaluados en características de calidad panadera, contenido de humedad, contenido de proteína, tiempo óptimo de amasado, prueba de volumen de fermentación y prueba de panificación. Estas, se realizaron en los laboratorios de Calidad de los Productos Agropecuarios y en el de Textura de Alimentos, pertenecientes a la Facultad de Ciencias Agrícolas, y el laboratorio de Cereales de la Facultad de Química en Alimentos, Campus el Cerrillo Piedras Blancas, Universidad Autónoma del Estado de México.

Para comparar los resultados de las pruebas realizadas se emplearon dos harinas comerciales como testigos: harina Manitoba integral y harina selecta integral, todas las pruebas se realizaron por triplicado.

### **5.2 Molienda de los granos para cada muestra**

Para definir el tiempo de molienda se emplearon 50 g de muestra y se molieron en un Molino Universal M20. Se registró el tiempo de molienda de cada línea. El tiempo máximo de molienda se definió dependiendo de cada harina de grano entero, al fin de conservar la proporción original del grano que debía pasar por la abertura del tamiz No. 50.

#### **5.2.1 Molienda**

Para realizar las pruebas de amasado, fermentación y prueba de panificación, primero se obtuvo la harina de grano entero (HGE) sometiendo los granos a una molienda que incluyó un tamizado. Así como, la determinación del porcentaje de proteína y de humedad con la finalidad de convertir los datos a 14.0 % base húmeda y se determinó la cantidad de agua

necesaria para el amasado y realizar las pruebas antes mencionadas, mediante la formación de la masa.

### **5.2.2 Tamizado**

1. Después de la molienda, pasar la muestra por el tamiz No.50 (0.3300 mm).
2. Misma que se depositó en bolsas tipo ziploc de 5 kg (38cm x 55cm) debidamente rotulada (fecha de obtención de la harina, cantidad y nombre de la Línea). Cada harina se almacenó en un ultra congelador hasta su análisis.
3. Repetir el paso 1 y 2 para cada Línea.

Una vez con la harina tamizada al tamaño que se decidió, se procedió a la realización de los diferentes análisis que componen este trabajo de investigación, como se indica a continuación:

- a. **Prueba de amasado** humedad, cantidad de agua absorbida, proteína y tiempo óptimo de amasado).
- b. **Prueba de fermentación en cilindro** (peso inicial y final, volumen de fermentación, temperatura inicial y final Y pH inicial y final)
- c. **Prueba de panificación:** peso de pan horneado, densidad y volumen de pan.

### **5.3 Prueba de amasado**

#### *Materiales*

Batidora Hamilton Beach®, agua destilada, espátula de caucho, cronómetro, recipientes con tapa 100 g, recipientes 50 ml, balanza analítica o digital.

#### *Método*

##### 5.3.1 Humedad

Se definió según el método 2001.11. AOAC

### 5.3.2 Cantidad de agua absorbida

Pasar a 14 % los resultados de humedad (5.3.1) y proteína (5.3.3) para determinar la cantidad de agua a agregar, partir de 35 g de harina para determinar la cantidad de agua según el paso anterior, colocar en el bol de la batidora la harina y al final el agua.

### 5.3.3 Proteína

Se realizó de acuerdo al método 2001.11 AOAC.

### 5.3.4 Tiempo óptimo de amasado

Batir a 250 rpm por 90 s y sacar la masa (sin dejar residuos en la batidora) con ayuda de la espátula de caucho, verificar mediante tacto si se tiene la consistencia adecuada (no debe haber partículas secas de harina y debe ser manipulable manualmente la masa).

De no ser así mezclar nuevamente la misma masa por 30 s más, verificar mediante tacto si se tenía la consistencia adecuada (no debe haber partículas secas de harina y debía ser manipulable la masa), repetir el paso 7 y 8 hasta tener la consistencia adecuada.

#### *Nota:*

- Registrar los tiempos que se empleen y al final, generar un tiempo óptimo de amasado final, la consistencia obtenida debe ser una masa homogénea.

## **5.4 Prueba de fermentación en cilindro**

### *Materiales*

Batidora Hamilton Beach®, 1 L agua destilada, espátula de caucho (es para sacar la masa en su totalidad), cronómetro, recipientes con tapa para 100 g, recipientes con capacidad para 50 mL, balanza, fermentador con control de humedad, probetas de 250 ML, potenciómetro, termómetro digital, 15 platos de plástico y levadura marca Nevado oro de 400g (debe ser nueva y emplear la misma en todas muestras evaluadas).

### *Método*

Esta prueba evaluó la capacidad que tiene la masa para retener el CO<sub>2</sub> formado por la acción de la levadura y se mide en cm<sup>3</sup>.

#### 5.4.1 Peso inicial

Pasar a 14 % los resultados de humedad y proteína para determinar la cantidad de agua a agregar, pesar 50g de harina y medir la cantidad de agua según el paso anterior, pesar 0.1 g de levadura y colocar en el bol de la batidora la harina, la levadura y el agua, batir a 250 rpm por el tiempo de amasado adecuado a cada línea, retirar del bol con la espátula de caucho toda la masa (sin dejar residuos) y pesar la masa (balanza) para registrar el peso inicial.

#### 5.4.2 pH inicial

Tomar la lectura del pH inicial (potenciómetro) y registrarlo.

#### 5.4.3 Temperatura inicial

Tomar la temperatura de la masa (termómetro digital).

*Nota:* El tiempo empleado en estas mediciones debió ser máximo de 10 minutos para todas las muestras.

#### 5.4.4 Volumen de fermentación

Colocar la masa la probeta de 250 mL (para colocarla, formar un rodillo lo más homogéneo posible y con el diámetro adecuado para que entre en la probeta), tomar el volumen inicial en las marcas de la probeta, colocar en el fermentador a temperatura constante de 35 °C y tomar la lectura del volumen a los 60 min (marcas en la probeta).

#### 5.4.5 Temperatura final

Tomar la lectura de la temperatura final (termómetro digital).

#### 5.4.6 pH final

Tomar la lectura del pH final (potenciómetro) de la masa.

#### 5.4.7 Peso final

Tomar la lectura peso final (balanza).

*Nota:* Las variables anteriores (pH final, temperatura final y peso final) son realizadas hasta que la masa deje de aumentar su volumen.

### **5.5 Prueba de panificación**

#### *Materiales*

Batidora Hamilton Beach®, 1 L agua destilada, espátula de caucho (es para sacar la masa en su totalidad), cronómetro, recipientes con tapa para 100 g de harina, recipientes con capacidad para 50 ml, balanza, laminadora con graduación de aberturas, fermentador con control de humedad, moldeador de pan, estufa de convección, bol, moldes para pan de caja con capacidad para 500 g de masa, 1 L solución azúcar-sal (5g g de sal y 20 g de azúcar por cada 300 mL de agua destilada) y parrilla con temperatura.

#### *Método*

Pasar a 14 %. Los resultados de humedad y proteína para determinar la cantidad de agua a agregar, definir la cantidad de agua necesaria para 35 g de harina, según el paso anterior.

Pesar y colocar en el bol de la batidora 500 g de harina, 10 g de leche en polvo, 20 g de azúcar y 5 g de sal, de levadura 5 g y los mL de agua necesaria según el paso 2, todo debe colocarse en este orden en el bol, batir a 250 rpm por el tiempo de amasado adecuado a cada línea, sacar completamente la masa con la espátula de caucho y colocar en el bol y meter a fermentar por espacio de 20 a 30 min a una temperatura de 45 °C y una humedad relativa de 90 %, después colocar la masa fermentada en la estufa de convección y hornear por 20 min a 190 °C.

### **5.5.1 Peso cocido**

Una vez horneado, sacar el pan y desmoldar (golpear un poco el molde para sacar el pan), de inmediato se pesa.

### **5.5.2 Volumen de pan**

Para obtener el volumen, meter al medidor de volumen de pan.

### **5.5.3 Densidad**

Una vez obtenido el volumen del pan, aplicar la siguiente fórmula para obtener la densidad.

## **5.8 Diseño Experimental**

Se realizó un diseño factorial con 3 repeticiones mediante un análisis de varianza. Las variables de estudio fueron 6 tratamientos: T1 (PM-15 Labastida), T2 (PM-18 Labastida) T3 (PM-6 BWW), T4 (PM-3 BWMXL), T5 (Selecta Integral) y T6 (Manitoba). Las variables respuesta fueron: de Prueba de amasado (Humedad (%) (Cantidad de agua absorbida (mL), Proteína (%), Tiempo óptimo de amasado (s)), Prueba de volumen de fermentación en cilindro (Peso inicial (g), Volumen de fermentación (cm<sup>3</sup>) Temperatura inicial (°C), pH final) y Prueba de panificación (Peso final (g), Volumen del pan (cm<sup>3</sup>). Al encontrar diferencias significativas entre los tratamientos se realizó una comparación de medias de DMS al 5%, los datos se analizaron mediante el procedimiento de modelos lineales generales GLM (SAS, 2002).

## **VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Se evaluaron las características de calidad panadera de cuatro harinas de grano entero, provenientes de cuatro líneas de trigo provenientes del Estado de México, mediante:

- a. **Prueba de amasado** humedad, cantidad de agua absorbida, proteína y tiempo óptimo de amasado).
- b. **Prueba de fermentación en cilindro** (peso inicial y final, volumen de fermentación, temperatura inicial y final Y pH inicial y final), y
- c. **Prueba de panificación:** peso cocido, densidad y volumen de pan.

A los resultados obtenidos se les aplicó un análisis de varianza ( $p<0.05$ ) y una prueba de comparación de medias (DMS) cuando existieron diferencias significativas.

Dicho análisis indicó que existieron diferencias estadísticamente significativas ( $p<0.05$ ) entre los Tratamientos (T1= PM-15 Labastida, T2= PM-18 Labastida, T3= PM-6 BWW, T4= PM-3 BWMXL, T5= Selecta Integral y T6= Manitoba) para las variables humedad (%), cantidad de agua absorbida (mL), tiempo óptimo de amasado (s), proteína (%), peso de pan horneado(g), Volumen de pan ( $\text{cm}^3$ ), peso inicial (g), volumen de fermentación ( $\text{cm}^3$ ), temperatura inicial ( $^{\circ}\text{C}$ ) y pH inicial. Para las variables densidad del pan, peso final (g), temperatura final ( $^{\circ}\text{C}$ ) y pH final, no existieron diferencias estadísticamente significativas ( $p<0.05$ ).

Los resultados de la comparación de medias de DMS ( $p<0.05$ ) se presentan en el Cuadro 1.

*Comparación de cuatro líneas de trigo con harinas comerciales en relación a su perfil de textura, tiempo de amasado y volumen de fermentación*

**Cuadro 1. Resultados de la Comparación de Medias de DMS para las variables en las pruebas de TOA, Prueba de panificación y Prueba de Fermentación para los 6 tratamientos.**

Prueba	Variable	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Prueba de Amasado	Humedad (%)	5.3± 0.01a	5.9± 0.01b	6.2± 0.01 d	6± 0 c	14.5± 0.01 e	14.5± 0.01 e
	Cantidad de agua absorbida (ml)	17.2 ± 0.1 a	18.5 ± 0.1c	18.2 ± 0.1 b	17.2 ± 0.10a	19.7 ± 0.10 d	18.6 ±0.01 c
	Proteína (%)	11.3± 0.01a	12.9± 0.01e	11.9± 0.01c	11.44± 0.01b	16.1± 0.1f	12.0± 63.99d
	Tiempo óptimo de amasado (s)	240.0± 1.00 d	210.0±1.00 c	270.3±0.5e	210.0±1.00 c	151.0± 1.00 b	121.0± 1.00 a
Prueba de Panificación	Peso de pan horneado(g)	303.3± 2.88 a	315.0± 5.00 b	306.6± 2.88 a	315.0± 5.00 b	306.6± 2.88 a	301.6± 2.88 a
	Densidad $cm^3/g$	0.3± 0.00	0.4± 0.05	0.66± 0.58	0.35± 0.00	0.38± 0.00	0.36± 0.01
	Volumen del pan $cm^3$	886.6± 11.54 cd	673.3± 64.29 a	916.6± 15.27 d	880.0± 17.32 cd	786.6± 11.54 b	830.0± 34.64 bc
Prueba de Fermentación	Peso inicial (g)	78.1± 0.20 a	79.6± 0.57 c	78.8± 0.37 b	77.9± 0.30 a	83.1± 0.11 e	81.3± 0.49 d
	Peso final (g)	77.6±0.20	79.3± 1.15	79.0± 0.3	83.6± 0.26	81.3±3.57	83.8± 6.61
	Volumen	88.0± 0 bc	87.3± 1.15 bc	86.0± 0 b	86.6±2.30 bc	90.0±3.46 c	81.3± 2.30 a
	Temperatura inicial °C	19.0± 0 b	19.0± 0 b	19.0± 0 b	21.0± 0 b	10.5± 0.11 a	19.3± 2.30 b
	Temperatura final °C	32.3± 0.57	32.0± 0	31.3± 0.57	32.0± 0	29.0± 0	32.0± 3.46
	pH inicial	6.2± 0.57	6.4± 0.25	6.2± 0.06	6.5± 0.18	6.3± 0.46	5.8±0.15
	pH final	5.6± 0.05 ab	5.8± 0.25 b	5.7± 0.06 ab	5.7± 0.09 b	5.5± 0.05 ab	5.5± 0 a

a, b y c= grupos estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ). Al no haber literal en el renglón, no hay diferencia estadísticamente significativa ( $p \leq 0.05$ ). TOA= Tiempo Óptimo de Amasado. T1= PM-15 Labastida T2=PM-18 Labastida T3= PM-6 BWW T4= PM-3 BWMXL T5= Selecta Integral T6= Manitoba.

## **6.1 Prueba de amasado**

### **6.1.1 Humedad**

El porcentaje de humedad para todos los tratamientos, como puede verse en el Cuadro 1 se encontró en un rango entre 5.3 y 14.5%. Para la prueba de humedad (%), la prueba de comparación de medias de DMS (Cuadro 1), indicó que se formaron 5 grupos estadísticamente diferentes. En el último grupo y con media más alta, estuvieron los tratamientos 6 y 5 (Manitoba y Selecta Integral, respectivamente) con un valor de 14.5%, para ambos.

Tanto Vázquez (2013) como la NOM-147-SSA1-1996 indican que el límite máximo de humedad para granos que se molerán para hacer harina está en un rango entre 14 y 15,0% ya que con un rango superior al indicado la consistencia de la masa no sería la apropiada.

Los tratamientos T5 (Selecta Integral) y T6 (Manitoba), con un valor de 14.5% de la presente investigación son los que se encuentran dentro de los valores propuestos por el autor. Como podemos ver de los tratamientos T1 a T4 (que son las líneas estudiadas) se encontraron en un porcentaje menor al indicado como óptimo por los autores, lo que indica que al momento de elaborar la masa se debe agregar mayor cantidad de agua.

### **6.1.2 Cantidad de agua absorbida**

Para la cantidad de agua absorbida por todos los tratamientos, como puede verse en el Cuadro 1 se encontró en un rango entre 17.2-19.7 mL. En la prueba de comparación de medias de DMS (Cuadro 1) se indicó que se formaron 5 grupos estadísticamente diferentes, es importante mencionar que esta variable se relaciona con el porcentaje de humedad 5.3-14.5% y proteína 11.3-16.1% de la harina, ya que de estas variables depende si se agrega mayor o menor cantidad de agua. En relación a este análisis, se puede decir que es importante porque hace posible el amasado de la harina, el agua la hidrata facilitando la formación del gluten, que es parte de la proteína y que a su vez es el componente mayoritario de la harina, con ello y con el trabajo mecánico del amasado que le confieren a la masa sus características plásticas como cohesión, elasticidad, plasticidad y la tenacidad (Hernández, 2009). Derivado de lo

dicho con anterioridad, se puede indicar que como la cantidad de agua absorbida depende de otros factores (humedad y proteína) no hay autores que indiquen si es bueno o malo adicionar mayor o menor cantidad de agua, lo único que se indica es que se debe adicionar tanta agua como sea necesario para alcanzar el 15.0% de humedad (NOM-147-SSA1-1996).

### **6.1.3 Proteína**

El porcentaje de proteína para todos los tratamientos, como puede verse en el Cuadro 1 se encontró en un rango que va de 11.3 a 16.1%. La prueba de comparación de medias de DMS (Cuadro 1), indicó que se formaron 6 grupos estadísticamente diferentes.

Villanueva, (2014) reportó que el contenido de proteína para panificación en una harina oscila entre el 9,0 y 14,0%. De igual manera, Chagman y Huamán, (2010) reportaron como buena composición química de sus panes un nivel de proteínas entre 9,0 y 13,6%. Por lo tanto, todos los valores de ésta investigación se encontraron en el rango mencionado, excepto el tratamiento 5 (Selecta Integral) que al tener un valor de 16.1% está por encima del resto. De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NMX-F-159-S-1983, el pan de caja debe de contener un rango de proteína de 8,0 a 9,0%. Sin embargo, este resultado se refiere a productos a partir de harinas refinadas. Las harinas de grano entero (HGE) junto con los testigos (también harinas integrales de la actual investigación) presentaron porcentajes de proteína superiores a los declarados por la Norma Oficial Mexicana. Lo cual, se sugiere como una fortaleza de los materiales estudiados, que por ser HGE presentan mayor contenido de fibra y antioxidantes, además de proporcionar más proteína en comparación con las harinas refinadas (Calixto, 2018; López, 2016).

### **6.1.4 Tiempo óptimo de amasado**

Para la prueba de tiempo óptimo de amasado (s), como puede verse en el Cuadro 1 se encontró en un rango entre 121 y 270.3 s para todos los tratamientos. La prueba de comparación de medias de DMS (Cuadro 1), indicó que se formaron 6 grupos estadísticamente diferentes.

Cabe resaltar que el Tiempo óptimo de amasado es importante para definir el tiempo final de elaboración de algún producto, en este caso lo que se realizó fue pan de caja de harina de trigo. Por otra parte, Vázquez-Lara *et al.* (2009), reportaron valores de Tiempo óptimo de amasado entre 243-456 s, así los tratamientos T1 (PM-15 Labastida) y T3 (PM-6 BWW), con un valor de 240.0 y 270.3 s, respectivamente, de la presente investigación son los que están dentro del rango de valores propuestos por los autores, en dicha investigación ellos describen que se obtiene una masa con buena consistencia en un tiempo corto. Estos autores, proponen que el Tiempo óptimo de amasado, depende de la cantidad y calidad de la proteína, por lo que sugiere en próximos estudios determinar el tipo de proteínas de que están compuestas las líneas, ya que afecta la funcionalidad y calidad de los productos de trigo. Sin embargo, hay que aclarar que la investigación de Vázquez-Lara *et al.* (2009), fue realizada a partir de harinas refinadas. A continuación, se muestra la gráfica 1 con los resultados de la prueba de tiempo óptimo de amasado, en donde se ve que los menores tiempos de amasado fueron obtenidos por el tratamiento 5 (Selecta Integral) y tratamiento 6 (Manitoba).

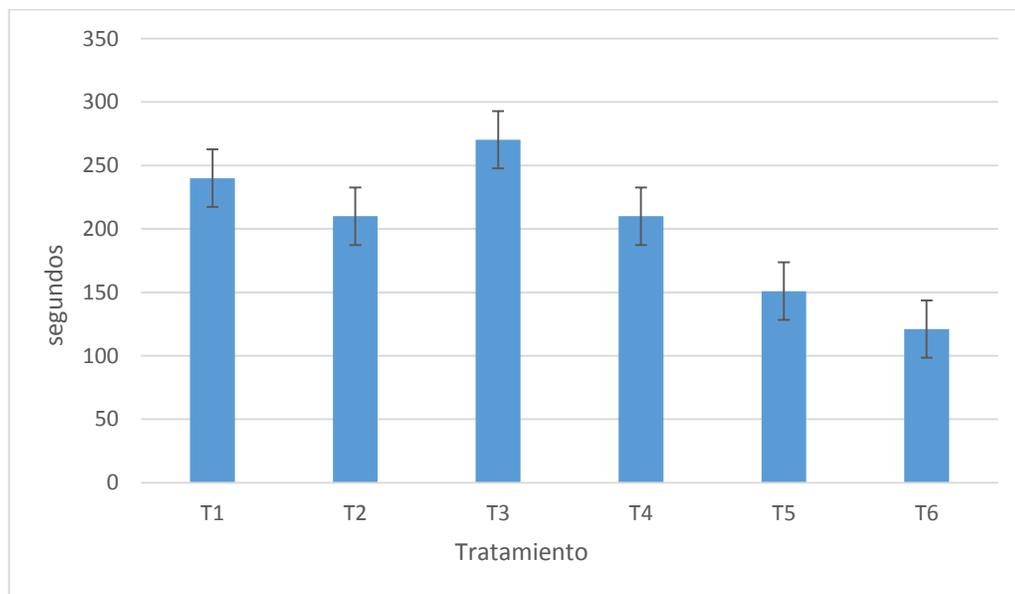


Figura 1. Resultados obtenidos en la variable tiempo óptimo de amasado.

T1= PM-15 Labastida T2=PM-18 Labastida T3= PM-6 BWW T4= PM-3 BWMXL T5= Selecta Integral T6= Manitoba.

## **6.2 Prueba de volumen de fermentación en cilindro**

### **6.2.1 Peso inicial de la masa**

Para peso inicial (g), la prueba de comparación de medias de DMS (Cuadro 1), indicó que se formaron 5 grupos estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ). Los pesos iniciales para todos los tratamientos de esta investigación se encontraron en un rango entre 77.9 y 83.1 g.

Mismos que se asemejan a los reportados por Calixto, (2018) quien con un rango de 82.6 a 87.0 g para ésta variable en la prueba de fermentación. Como es comprensible esta variable depende de la cantidad de harina con la que se desee iniciar la prueba, así mismo del porcentaje de proteína y cantidad de agua absorbida quienes dictan por resultado el peso final de la masa. Sin embargo, el presente parámetro tiene la finalidad de estimar si existió o no, un incremento de su peso en la medición final (peso final) por la retención del gas producido durante la fermentación.

### **6.2.2 Volumen de fermentación**

Para volumen de fermentación ( $\text{cm}^3$ ) a los 60 min, la prueba de comparación de medias de DMS (Cuadro 1), indicó que se formaron 4 grupos estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ). El tiempo de duración de esta prueba fueron 60 min debido a que es el tiempo máximo de producción de gas, después de lo cual podría reventarse la burbuja.

El volumen de fermentación para todos los tratamientos, como puede verse en el Cuadro 1, se encontró en un rango que va de 81.3 a 90  $\text{cm}^3$ , es importante mencionar que el volumen de fermentación sirve para saber cuánto crece la masa al convertir los carbohidratos en dióxido de carbono para hacer pan.

Los resultados obtenidos fueron superiores a los reportados por Calixto (2018), quien mostró en su investigación un rango de 43.6 a 75.6  $\text{cm}^3$  en el volumen de fermentación, con otros materiales sugeridos de gluten fuerte. Cabe resaltar que el volumen más alto fue el del tratamiento 5 (Selecta Integral). Sin embargo, todos los materiales mostraron volúmenes de

fermentación incluso mayores a los mencionados anteriormente. De ello, se deduce que todos los materiales estudiados son al menos iguales a harinas integrales ya comerciales. Se sugiere, que el gluten formado tiene la fuerza y la elasticidad para retener el gas, dando dichos volúmenes, al menos igual que las harinas integrales comerciales. En la gráfica 2 se muestra el volumen de fermentación entre cada tratamiento. Donde puede verse que el tratamiento 5 es el más alto y el menor el tratamiento 6.

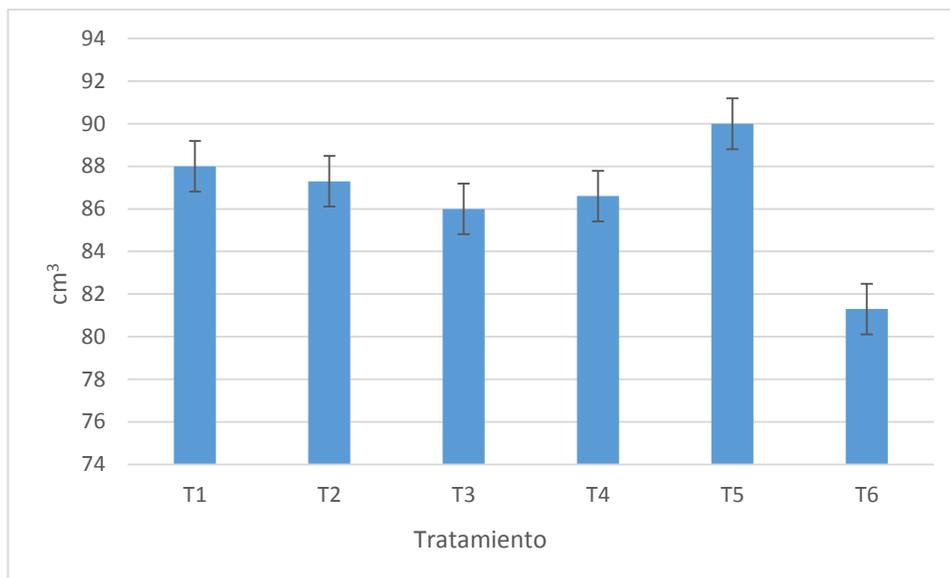


Figura 2. Evaluación de volumen de fermentación en cilindro.

T1= PM-15 Labastida T2=PM-18 Labastida T3= PM-6 BWW T4= PM-3 BWMXL T5= Selecta Integral T6= Manitoba.

### 6.2.3 Temperatura Inicial

La temperatura inicial para todos los tratamientos, como puede verse en el Cuadro 1 se encontró en un rango entre 19.0 y 21 °C, la prueba de comparación de medias de DMS (Cuadro 1), indicó que se formaron dos grupos estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ). Marqués *et al.* (2007) señalaron que la temperatura óptima de fermentación oscila en un rango de 28-32 °C, en los que se alcanza el máximo de la velocidad de reproducción de las levaduras. Es importante recordar que en este tipo de productos se utiliza la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, microorganismo que para su crecimiento necesita una temperatura óptima que va

de 25-30 °C (Fajardo y Sarmiento, 2007). Sin embargo, la temperatura ambiente del laboratorio donde se realizó dicho análisis, al momento del mismo se encontraba entre 5 y 10 °C, temperatura que influye al inicio del proceso y durante el amasado de los productos. Así, la levadura pudo iniciar su proceso fermentativo y posteriormente, alcanzar la temperatura óptima para su desarrollo.

#### **6.2.4 pH inicial**

Para pH final (pH), la prueba de comparación de medias de DMS (Cuadro 1), indicó que se formaron tres grupos estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ). El pH final para todos los tratamientos, como puede verse en el Cuadro 1 se encontró en un rango entre 5,5 y 5,8, y el inicial fue de 5,8 a 6,5, lo que indicó que los valores de pH fueron descendiendo (acidificando el medio) en cada uno de los tratamientos. Flecha, (2015) señaló que la masa es por naturaleza ácida y dicha acidez, aumenta ligeramente a lo largo de la fermentación, y que un exceso de acidez produce un aumento excesivo de fuerza. Por el contrario, si hay una falta de acidez se corre el riesgo que actúe la bacteria *Bacillus massensesterius*, que provoca una masa débil. Finalmente, el pH óptimo de la masa deberá ser entre 5,2 y 5,5 dicho rango permite el crecimiento óptimo de la levadura y que se origine su metabolismo fermentativo sobre la masa (Flecha, 2015).

Por otra parte, la NMX-F-159-S-1983 establece que el pH debe encontrarse en un rango de 4,5 y 5,8. Los tratamientos tres, cuatro y dos tuvieron un pH mayor a los descritos, sin embargo, durante el proceso de fermentación lograron alcanzar el rango considerado como óptimo para este tipo de productos. A continuación, en la gráfica 3 se muestran los resultados de pH final de los tratamientos propuestos en esta investigación.

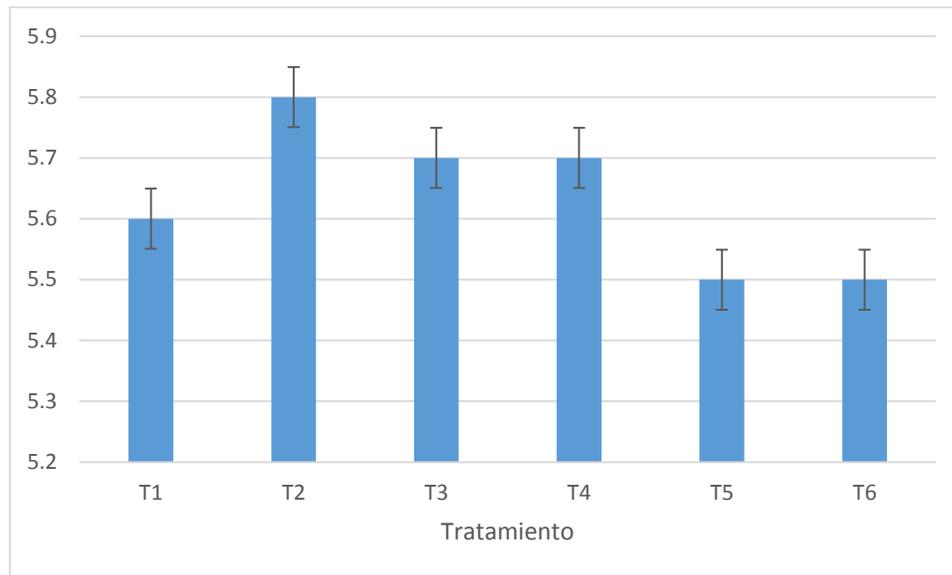


Figura 3. Análisis de pH inicial.

T1= PM-15 Labastida T2=PM-18 Labastida T3= PM-6 BWW T4= PM-3 BWMXL T5= Selecta Integral T6= Manitoba.

### 6.3 Prueba de Panificación

#### 6.3.1 Peso de pan horneado

Para peso cocido, la prueba de comparación de medias de DMS (Cuadro 1), indicó que se formaron 2 grupos estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ). El peso de pan horneado para todos los tratamientos, como puede verse en el Cuadro 1 se encontró en un rango entre 301.6 a 315.0

La obtención del peso final, va de la mano con su volumen uniforme, y no solo depende de la calidad de la harina empleada. Sino también viene condicionado por el adecuado control de toda la serie de transformaciones químicas y enzimáticas de la fermentación misma que tiene lugar desde que comienza el amasado, hasta los primeros momentos de cocción (Calixto, 2018).

### **6.3.2 Volumen del pan**

El volumen del pan para todos los tratamientos, como puede verse en el Cuadro 1 se encontró en un rango entre 673.3 y 916.6 cm<sup>3</sup>. En la prueba de comparación de medias de DMS (Cuadro 1) indicó que se formaron 4 grupos estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ). Dubois y Gaido (2006) reportaron en su investigación para la variable volumen de pan, un rango de 590 a 810 cm<sup>3</sup> siendo la variable peso inicial igual al de la presente investigación.

Ellos indicaron que el tratamiento que dio como resultado de volumen 810 cm<sup>3</sup> presentó las mejores características de calidad de todos los analizados, mejor volumen y simetría.

Por otra parte, Kohli y Martino (1997) determinaron un rango de 876 a 929 cm<sup>3</sup> para volumen de pan en trigo harinero partiendo de la variable peso inicial igual al de la presente investigación. Los resultados aquí mostrados describen que la mayoría de los tratamientos usados se encuentran dentro de ese rango y muy cercanos al que ellos consideraron como volumen óptimo, en la gráfica 4 se observan las diferencias que existieron entre cada uno de los tratamientos, indicando el tratamiento 3 como el de mayor volumen.

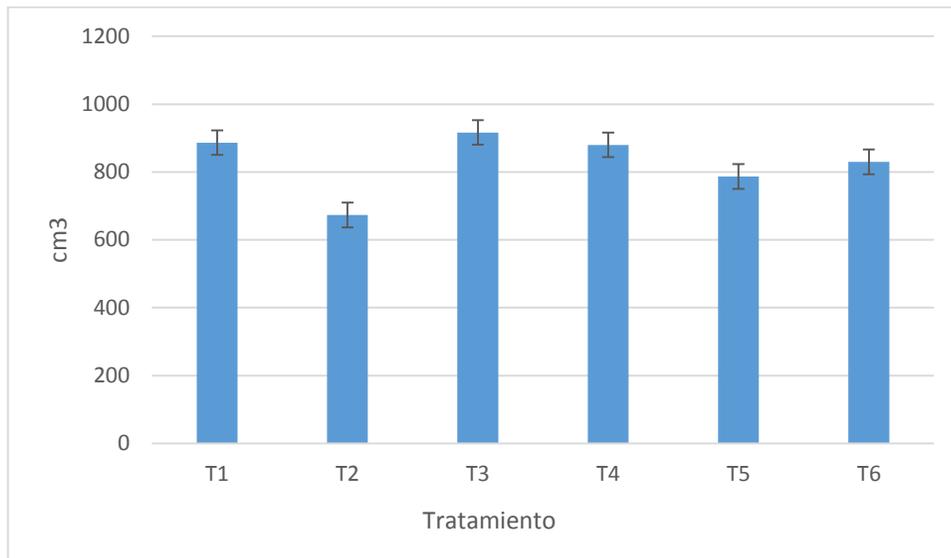


Figura 4. Evaluación de volumen de pan.

T1= PM-15 Labastida T2=PM-18 Labastida T3= PM-6 BWW T4= PM-3 BWMXL T5= Selecta Integral T6= Manitoba.

## **VII. CONCLUSIONES**

En relación a la prueba de amasado (humedad, cantidad de agua absorbida, proteína y tiempo óptimo de amasado), la prueba de fermentación (peso inicial y final, volumen de fermentación, temperatura inicial y final Y pH inicial y final) y la prueba de panificación: peso de pan horneado, densidad y volumen de pan de las HGE comparadas con las dos harinas comerciales se concluye que las harinas evaluadas no cumplen con los parámetros de calidad panadera descritos. Sin embargo, de acuerdo a los parámetros evaluados se sugiere que las harinas estudiadas podrían usarse en la elaboración de galletas. De igual forma se propone que en estudios futuros pueda desarrollarse una investigación similar a la presente pero en lugar de utilizar HGE se evalúen los mismos trigos transformados en harinas refinadas.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

- AOAC. 2012. Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis. 19th ed. AOAC: International, USA. Official Method 2001.11
- Belitz y Grosch. 2003. Química de los alimentos 2da Ed. Trad. López M. Zaragoza-España: Editorial Acribia S.A, 124-131.
- Castro, Ruben. V. C. 2015. Propiedades físicas y sensoriales de un pan fresco, con la adición de las enzimas lactasa, xilanas y lipasa. Revista E1A, 87-100.
- Calixto, Muñoz. J. J. 2018. Evaluación de Calidad Panadera de harinas de grano entero de Trigo (*Triticum aestivum L*) mediante marcadores bioquímicos, pruebas fisicoquímicas y Teológicas (Tesis Doctoral). Universidad Autónoma del Estado de México, Estado de México.
- Dubois, M. E. y Gaido. Z.A 2006. Bread-making quality of new genotypes of bread wheat. *Agriscientia* XXIII (2): 105-108
- Fajardo, E. y Sarmiento, S. 2007. Evaluación de melaza de caña como sustrato para la producción de *Saccharomyces Serevisiae* (Tesis doctoral) Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, 23-25.
- Flecha, M. 2015. Procesos y Técnicas de Panificación. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 48-50.
- Franco, V. 2015. Cómo diferenciar los tipos de harinas. [En línea] Consultado: Mayo 24, 2017. <https://chefenflor.wordpress.com/2015/04/09/conociendo-las-harinas-y-levaduras/>
- Gómez, R. M. 1997. Evolución del Sector Panadero: Técnicas Actuales de Panificación. Revista de Ciencia y Tecnología Alimentaria 1, 149-152.
- González, M. J. 2002. Industrias de sus cereales y derivados. Industrias de sus cereales y derivados. AMV ediciones, 191-192.
- Gimferrer, N. 2009. Del grano a la harina | EROSKI CONSUMER. [En línea] Consultado: Mayo 19, 2017. <http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/ciencia-y-tecnologia/2009/03/30/184290.php>
- Gil, Á. 2009. Libro Blanco del Pan. Editorial Médica Panamericana S.A., Ed.). Madrid. [En línea] Consultado: Septiembre 23, 2017. Retrieved from

<https://books.google.com.ec/books?id=HcjQ7OBGvy8C&pg=PA30&dq=harina&hl=es&sa=X&ved=OahUKEwjOvK3Y9vzTAhXF2SYKHTdEB3wQ6AEIOjAG#v=onepage&q=harina&f=false>

- Garza. 2011. El Trigo - Ilustrados [En línea] Consultado: Mayo 19, 2017 <http://www.ilustrados.com/tema/1269/Trigo.html>
- Gutiérrez, C. 2016. InfoAgro. [En línea] Consultado: Octubre 10, 2017. <http://infoagro.com/mexico/importancia-del-cultivo-de-cereales-en-mexico-maiz-trigo-y-sorgo/>
- Hernández, Á.G. 2009. Libro Blanco del Pan. Madrid: Editorial medica Panamericana, 125-129 pp.
- Juárez, Bárcenas y Hernández. 2014. El grano de trigo: características generales y algunas problemáticas y soluciones a su almacenamiento. Temas Selectos de Ingeniería de los Alimentos, 79-93.
- Kohli, M. M. y Martino, D. 1998. Exportando Altos Rendimientos de Trigo. La Estanzuela, Uruguay, octubre 20 al 23, 1998. Uruguay; CYMMYT-INIA.
- López, Agustina. 2016. Beneficios -de-la-harina-integral-que-debes-conocer. Revista Ovix, 8p.
- Mezas J. y Popoca. 2009. El pan y su proceso de elaboración en México. Facultad de Ingeniería Ciencia y tecnología alimentaria. Revista de Investigación Universitaria, 8p.
- Marqués, B., Albiñana, L., y Pérez, L. 2007. La Masa Madre: El Secreto Del Pan. Revista Alimentaria, 46-62.
- Martínez, J. Pérez y López. 2008. Guía para producir trigo en el sur de Sonora. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, INIA. Folleto para productores. Sonora México, 32-34 pp.
- Montoya, L., Giraldo, G., y Aguirre, J. 2012. Determinación del índice de Blancura en Harina de trigo comercial. Vitae, 415-416.
- NMX-F-159-S-1983. Secretaria de Salud. Norma Oficial Mexicana Bienes y Servicios. Especificaciones sanitarias para alimentos. Pan Blanco De Caja. Disposiciones y especificaciones sanitarias. México, D.F. Diario Oficial de la Federación.

- NOM-147-SSA1-1996. Secretaría de Salud. Norma Oficial Mexicana Bienes y Servicios. Cereales y sus productos. Harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de cereales, de semillas comestibles, harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Disposiciones y especificaciones sanitarias. México, D.F. Diario Oficial de la Federación.
- NOM-247-SSA1-2008. Secretaría de Salud. Norma Oficial Mexicana Bienes 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. Disposiciones y especificaciones sanitarias. México, DF. Diario Oficial de la Federación.
- Ramírez, Suárez, J. C., Islas-Rubio, R., Montoya-Ballesteros, L. C., Granados-Nevárez, M. C., Vázquez-Lara, F., Pacheco-Aguilar, R., y Lugo-Sánchez, M. E. 2012. Effect of lyophilized jumbo squid (*Dosidicus gigas*) fin and mantle muscle on dough properties. *CyTA Journal of Food*, 11 (3), 46-51.
- Sánchez, G, 2009. Ciencia y tecnología de la panificación. Ed. Acribia, Zaragoza. Vol. 20, 5-8.
- Tejero, F. 2002. Panadería Española. Ed. Montagud, Barcelona, 67-80.
- Vázquez Castillo, G y Matos Chamorro, A. 2009. Evaluación de algunas características fisicoquímicas de harina de trigo peruano en función a su calidad panadera. *Revista de Investigación Universitaria*, 18-24.
- Vázquez-Lara, F., Pacheco-Aguilar, R., y Lugo-Sánchez, M. E; 2012. Effect of lyophilized jumbo squid (*Dosidicus gigas*) fin and mantle muscle on dough properties and bread baking performance of commercial wheat flour. *CyTA Journal of Food*, 10 (1), 57-62.
- Vázquez, Oscar Alfonso, Ruben, D. M., y Cecili, D. R. 2015. Propiedades físicas y sensoriales de un pan fresco, con la adición de las enzimas lacasa, xilanas y lipasa. *Revista EIA*, 87-100.
- Vázquez, M. M. 2013. Evaluación agroindustrial de las tres Variedades pre comerciales de trigo. *Ciencia y Tecnología*. 13: 117-132.
- Vázquez-Lara, F., Camacho-Casas, M. A., Granados-Nevárez, M. C., Silva- Espinoza, B.

and Islas-Rubio, A. R. 2009. Propiedades Teológicas y composición proteica: parámetros de calidad en harinas de líneas experimentales de trigo. *BIOTecnia* 11 (2): 9-36.

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