

**CAPÍTULO I**  
**INTRODUCCIÓN**

## 1.1 Antecedentes

En Bolivia, tanto la harina de trigo como los productos elaborados con ella, son altamente consumidos en el país y constituyen una parte importante de la alimentación boliviana, siendo aproximadamente el consumo anual de 47 kilos por persona, en productos a base de harina, como; los fideos y el pan (Flores, 2016).

Durante los últimos 20 años se ha registrado que; los valores de consumo de harina de trigo son únicamente entre 10% y 30% de origen nacional, aún con los incrementos en la superficie destinada a la siembra de trigo, existen diferentes factores como: la baja competitividad de precios, decisiones políticas y hasta factores climáticos, que han generado que las importaciones (legales e ilegales) continúen creciendo para abastecer la demanda interna. Los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) de Bolivia, muestran a Argentina como el principal exportador de sémola, harina de trigo y harina de morcajo o tranquillón a Bolivia. En 2015, y datos preliminares de 2016, muestran que Argentina fue responsable del 99% de importación en kilos de sémola, harinas, y valor de importación (Flores, 2016).

En los últimos 12 años se ha marcado una nueva tendencia en cuanto a consumo en panificados, ya que la población ha optado con mayor frecuencia por panes más saludables, funcionales, envasados y de elaboración industrial. Sin embargo, a pesar de la frecuencia de su consumo, el expendio de los panes tanto artesanal como industrial van en conjunto, ya que las elecciones entre estos panificados son a consecuencia de la versatilidad del producto y a la elección del cliente (Juárez, 2020). Sin embargo, a pesar de que, el pan parece un alimento muy simple y básico, la realidad es que su cultura hace que los tipos de pan existentes sean muy numerosos, y su esencia y estudio se constituyan como todo un arte. En ellos juegan un importante papel; los cereales utilizados para su elaboración, la presencia o ausencia de ingredientes, su aspecto externo y las tradiciones de cada país. (Murcia, 2017)

Actualmente existe un proyecto introducido por el Centro de Estudios Regionales de Tarija (CERDET), que facilita el procesamiento para la obtención de la harina de

algarroba, proyecto en el que trabaja con dos comunidades: Bella Esperanza en Villa Montes y Tres Moros en Yacuiba. El objetivo de éste proyecto es capacitar a los pobladores a elaborar productos panificados, repostería, otros, con harina de algarroba, para generar un sustento económico para la comunidad Weenhayek (Rivera, 2019).

En la ciudad de Tarija existen panificadoras que comercializan variedad de panes, entre estos está el pan molde (blanco e integral). Las marcas más conocidas que elaboran el pan molde son: panadería Viena, palacio de las masas y panadería Gloria.

## **1.2 Justificación**

- ❖ El presente trabajo de investigación, pretende elaborar pan de molde enriquecido con harina de avena y algarroba, con la finalidad que exista otra alternativa en cuanto a consumo de panes tipo molde para la población de Tarija.
- ❖ El pan es un alimento de consumo habitual con gran demanda en el mercado departamental, por tanto, se pretende mejorar la composición nutricional del pan tipo molde sustituyendo de forma parcial harina de trigo por harina de avena y algarroba, con el fin de coadyuvar a prevenir el sobrepeso en las personas que lo consuman, ya que este tipo de pan produce un efecto saciante debido a los hidratos de carbono complejos que contiene la harina de avena.
- ❖ Debido a que las materias primas (harina de trigo, algarroba y avena) para la elaboración de este tipo de pan se encuentran en el mercado local del departamento de Tarija, se pretende incentivar su consumo y aprovechar las propiedades nutricionales de la harina de avena y algarroba, ya que su contenido en proteína e hidratos de carbono complejos coadyuvan a prevenir enfermedades cardiovasculares, diabetes, y trastornos digestivos.

- ❖ La harina de algarroba es un subproducto poco comercializado en el departamento de Tarija, debido a la limitada información que maneja la población tarijeña sobre la harina de algarroba. De tal manera, se pretende incluir al mercado local el uso de esta harina en productos panificados.

### **1.3 Objetivos**

Los objetivos propuestos para el siguiente trabajo de investigación, son:

#### **1.3.1 Objetivo general**

Proponer una metodología experimental de proceso de panificación que permita elaborar pan de molde enriquecido con harina de avena y algarroba, con la finalidad de obtener un producto de calidad nutricional para la provincia Cercado.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Determinar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de las harinas de trigo, avena y algarroba, con la finalidad de establecer su composición.
- Realizar evaluación sensorial a las pruebas preliminares de pan común, para determinar la muestra con mayor aceptación, a seguir desarrollando experimentalmente.
- Realizar formulación de mezclas: harina de trigo, avena y algarroba, durante las pruebas iniciales con la finalidad de determinar la muestra ideal, mediante una evaluación sensorial.
- Aplicar el diseño experimental en la etapa de dosificación, para establecer las variables de control.
- Realizar evaluación sensorial para comparar la muestra experimental e ideal, con el fin de obtener la muestra con mayor aceptación por los jueces.
- Aplicar el diseño experimental en la etapa de horneado, para establecer las variables control.

- Realizar un control de parámetros fisicoquímicos y durabilidad al producto final, durante el almacenamiento.
- Determinar las características fisicoquímicas, microbiológicas y organolépticas en el producto final, con el objetivo de establecer su calidad nutricional.
- Realizar el balance de materia y energía, con la finalidad de establecer las corrientes de entrada y salida del proceso.

#### **1.4 Objeto de estudio**

Para el presente trabajo de investigación, el objeto de estudio será:

- Aplicar el proceso de panificación para elaborar pan tipo molde enriquecido con harina de avena y algarroba, para el departamento de Tarija.

#### **1.5 Campo de acción**

Para el presente trabajo de investigación, los campos de acción serán los siguientes:

##### **1.5.1 Espacial**

El campo espacial donde se realiza el presente trabajo de investigación es en el departamento de Tarija.

##### **1.5.2 Temporal**

El campo temporal a desarrollarse el presente trabajo de investigación será en la gestión 2020-2021.

##### **1.5.3 Institucional**

Las instituciones donde se desarrolló el trabajo de investigación son: el Laboratorio Taller de Alimentos y Laboratorio de la Carrera de Ingeniería de Alimentos, ambos pertenecientes a la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

## **1.6 Situación problema**

En el departamento de Tarija existe la disposición de variedad de harinas en el mercado local de gran valor nutricional pero que son escasamente aprovechadas debido al desconocimiento de sus propiedades nutricionales, como los son; harina de avena (alto valor en proteína y carbohidratos complejos) y harina de algarroba (alto valor en fibra y azúcares de índice glucémico bajo).

En Tarija existe una gama muy amplia de productos panificados hechos a base de harina de trigo refinada (pan común, marraqueta, francés, de leche, de molde etc.), que son elaborados tanto de manera artesanal y semi industrial. Sin embargo, no existe una panificadora en el departamento de Tarija que elabore pan de molde incorporando harina de avena y algarroba. Por tanto, se pretende elaborar un producto panificado enriquecido con las harinas ya mencionadas aplicando el proceso de panificación, para obtener pan de molde de calidad nutricional que permita a la población de Tarija acceder a una dieta variada y nutritiva en cuanto a productos panificados.

## **1.7 Formulación del problema**

¿Cuál será la metodología experimental de proceso de panificación a proponer, que permita obtener pan de molde enriquecido con harina de avena y algarroba, de calidad nutricional para la provincia Cercado?

## **1.8 Hipótesis**

La aplicación de la metodología experimental de proceso de panificación, permitirá obtener pan de molde enriquecido con harina de avena y algarroba de calidad nutricional, para la población de la provincia Cercado.

**CAPÍTULO II**  
**MARCO TEÓRICO**

## **2.1 Origen del pan**

El origen del pan se remonta 4.000 años antes del surgimiento de la vida agrícola en el periodo Neolítico, el tipo de panes elaborados eran planos a base de agua y harina, su elaboración y consumo solo se daba en ocasiones especiales festivas, debido a que se elaboraban con cereales silvestres. (Arranz y col, 2018)

Según (Mesas & Alegre, 2002), existen bajorrelieves egipcios 300 años antes de Cristo sobre la fabricación del pan leudado y la cerveza, por tanto, se indica que fue en esta civilización donde se utilizaron por primera vez los métodos bioquímicos para la elaboración y obtención de estos alimentos fermentados. Según (Fernández, 2020), al ser los egipcios los que descubrieron sobre los métodos de la fermentación, esta civilización se convirtió en la que logro una importante evolución en la panificación, y en la elaboración de otros productos fermentados a raíz de su descubrimiento.

## **2.2 Definición del pan**

El pan es aquel producto obtenido de hornear una mezcla previamente fermentada hecha a base de: harina, agua, sal y levadura, considerados los ingredientes básicos para la elaboración del pan, ya que le otorgan las características organolépticas. En la elaboración de este producto, también se tienen los insumos secundarios, como; el azúcar, leche, huevos, etc., que le confieren al pan las características de calidad, y los insumos complementarios, como; mejoradores de masa y otros, que aseguran un buen rendimiento durante el proceso de elaboración de estos productos (Villagaray, 2012).

Según (Pérez & Gutiérrez, 2006), la definición de pan según el Codex Alimentario es la siguiente: con la denominación genérica de pan, se entiende el producto obtenido por la cocción en hornos a temperatura conveniente de una masa fermentada o no, hecha con harina y agua potable, con el agregado o no de levadura, con la adición o sin la adición de sal y con la adición o no de otras sustancias permitidas para esta clase de productos alimenticios



### 2.3 Clasificación del pan

La elaboración de variedades de pan, depende tanto de la naturaleza como de la calidad de las harinas empleadas en su formulación, siendo estos muy importantes durante la elaboración y la obtención del producto final, existiendo así dos clases de panes; los panes puros o simples que son elaborados con un solo tipo de harina, y los panes mixtos que son elaborados con dos o más mezclas de harinas diferentes. (Braier, 1939)

Según (Álvarez & Tusa, 2009) indica que: “las harinas más habituales son: trigo, centeno, cebada, maíz, arroz, patatas y soja; es frecuente, no obstante, que se use harina de legumbres y frutos secos” (Pág.19). En el cuadro 2.1, se muestra la clasificación de los panes, y algunos de los ejemplos más conocidos.

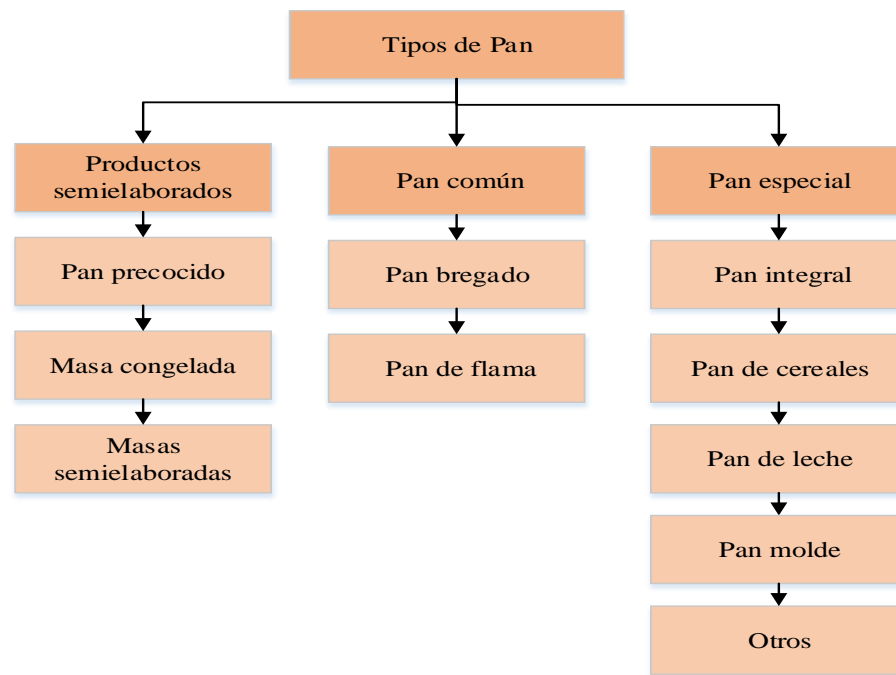
**Cuadro 2.1.** Clasificación del pan

	<b>Panes</b>	<b>Concepto</b>	<b>Ejemplos</b>
<b>Clasificación del pan</b>	Pan puro	Pan hecho a base de un solo tipo de harina	Pan de maíz Pan de centeno Pan de trigo Pan de cebada Pan de soja otros
	Pan mixto	Pan hecho a partir de mezcla de harinas	Pan de arroz Pan de quínoa Pan de avena Pan de cereales Otros

**Fuente:** Braier, 1939

### 2.4 Tipos de pan

Según (Gimeno, 2012) indica que “la reglamentación técnico-sanitaria española según su elaboración establece tres categorías de productos: los productos semielaborados, pan común y pan especial” (Pág. 36), como se muestra en la figura 2.1.



**Fuente:** Gimeno, 2012

**Figura 2.1.**Tipos de pan según reglamentación técnico-sanitaria española

Los tipos de pan según las categorías establecidas por la reglamentación técnico-sanitaria española son:

#### 2.4.1 Productos semielaborados

La aplicación de tecnologías de refrigeración, congelación y el uso de técnicas han permitido interrumpir algunas etapas intermedias en el proceso de elaboración del pan, dando así los productos semielaborados (pan precocido, masa congelada, masas semielaboradas). Cabe recalcar que una vez finalizado el proceso de elaboración (finalizando por completo su cocción), se pueden clasificar en algún pan común o especial. (Gimeno, 2012)

- **Pan precocido**

“De cocción interrumpida antes de llegar a su finalización, siendo sometida posteriormente a un proceso de congelación o a cualquier otro proceso de conservación autorizado” (Gimeno, 2012. Pág. 36).

- **Masa congelada**

“Masa que fue o no fermentada y habiendo o no sido formada la pieza, ha sido congelada posteriormente” (Gimeno, 2012. Pág. 36).

- **Masas semielaboradas**

“Son masas que, fermentadas o no, formadas las piezas o no, han sido sometidas posteriormente a un proceso de conservación autorizado, distinto a la congelación, de tal manera que se inhiba, el proceso de fermentación” (Gimeno, 2012. Pág. 36).

#### **2.4.2 Pan común**

Según (Mesas & Alegre, 2002) indican que: “es aquel que se define como el de consumo habitual durante el día, elaborado con: harina de trigo, sal, levadura y agua, al que se le pueden añadir o no ciertos coadyuvantes tecnológicos y aditivos autorizados” (Pág. 308). Dentro del pan común podemos indicar:

- **Pan bregado**

Candeal significa blanco, rasgo que explica la preferencia por el *triticum aestivum* o trigo panadero. El pan candeal o bregado es de corteza fina y dorada, crujiente, de miga blanca, densa y prieta; alveolado mínimo, con intenso sabor a trigo, y de textura de seda, mantecosa, semejante al más refinado de los bizcochos. (Capel, 2021)

- **Pan de flama**

El pan de flama tiene mayor contenido de agua que el de miga dura y no requiere de cilindros. Su miga es más suelta y presenta alveolos irregulares. A partir de la masa para elaborar este tipo de pan también se puede elaborar algunas variedades de panes tradicionales como el baguette, chapata o payés (Konsumobide, 2019).

### **2.4.3 Pan especial**

El pan especial es aquel que, por su composición, por incorporar algún aditivo o coadyuvante especial, por el tipo de harina, por otros ingredientes especiales (leche, huevos, grasas, cacao, etc.), por no llevar sal, por no haber sido fermentado, o por cualquier otra circunstancia autorizada, no corresponde a la definición básica de pan común. En la categoría de panes especiales se encuentran; el pan integral, el pan de molde, el pan de cereales, pan de huevo, pan de Viena, pan de leche, entre otros. (Mesas & Alegre, 2002. Pág. 308). Dentro del pan especial podemos indicar:

- **Pan integral**

Según (Mesas & Alegre, 2002) indican que: “es aquel en cuya elaboración se utiliza harina integral, es decir, la obtenida por trituración del grano completo, sin separar ninguna parte del mismo” (Pág. 308).

- **Pan de cereales**

Según (Mesas & Alegre, 2002) indican que: “es el elaborado con harina de trigo más otra harina en proporción no inferior al 51%. Recibe el nombre de este último cereal. Ejemplo: pan de centeno, pan de maíz, etc” (Pág. 308).

- **Pan de leche**

El pan de leche es considerado un tipo de pan especial, ya que lleva mayor cantidad de ingredientes para su elaboración, este tipo de pan puede llevar diferentes proporciones de leche, que aumentan el valor energético en comparación al pan normal. (Ferro, 2020)

- **Pan molde**

Según (Mesas & Alegre, 2002), indican que: “pan de molde o americano, es el pan de corteza blanda en cuya cocción se emplean moldes” (Pág. 308). “Una de las características importantes en el pan de molde, es su buena conservación para el

consumo durante varios días, así como su adecuación a determinados usos específicos” (Gil, 2015. Pág. 43).

Así mismo, el pan molde puede ser elaborado y comercializado de dos formas; industrial o artesanal:

#### ◆ **Pan molde industrial**

Elaborado por industrias en grandes cantidades, este pan requiere de un tratamiento diferente no solamente con la incorporación de aditivos especiales, sino también con cambios en el proceso de elaboración, con la finalidad que el contenido de proteínas de la harina, la cantidad de azúcar, los emulgentes y las grasas reduzcan el envejecimiento del pan y los conservantes y reguladores del pH frenen el crecimiento de mohos para alargar su conservación. (Wordpress, 2014)

#### ◆ **Pan molde artesanal**

Elaborado de manera artesanal de manera que no lleva ningún tipo de aditivo, por tanto, para mejorar su conservación se suele dar más importancia a todo el proceso que conlleva su elaboración, la calidad de la harina, los insumos y la fermentación de la masa. (Wordpress, 2014)

### **2.5 Propiedades nutricionales del pan molde**

El pan de molde es rico en hidratos de carbono complejos (almidón), proteínas, selenio, sodio, hierro, tiamina y niacina. Su composición nutricional va a depender del grado de refinado de la harina utilizada para su preparación y del posible enriquecimiento o fortificaciones de la masa durante la elaboración. El pan integral será más rico en proteínas, fibras, minerales y vitaminas del grupo B, ya que la harina utilizada para su preparación esta menos refinada, además el pan integral tendrá mayor poder de saciedad (tabla 2.1). La diferencia con el pan común, aparte de ser su textura, es que en el caso del pan de molde el contenido en grasa, proteínas y fibra es algo mayor que en

el tradicional, aunque hay que tener en cuenta que ese contenido es muy variable según el tipo de pan que se consuma. (Cereales & Derivados, 2020)

**Tabla 2.1**

*Valor nutricional de panes molde*

<b>Panes molde</b>	<b>Carbohidratos (g)</b>	<b>Proteínas (g)</b>	<b>Grasas (g)</b>	<b>Fibra (g)</b>	<b>Sodio (g)</b>
Pan molde blanco	53,25	5,52	3,74	4,52	194,5
Pan molde integral	44,00	9,00	3,00	6,00	570,0

**Fuente:** Gil, 2020

## **2.6 Caracterización de harina de trigo, avena y algarroba**

Las harinas son el producto resultado de la molienda, ya sea de trigo u otros cereales, como; el maíz, centeno, avena, etc, de algunas leguminosas, como; habas, guisantes, castañas, que generalmente son de uso limitado. En panificación, las harinas empleadas para este proceso dependen mucho de su pureza, su genuinidad y de su buena conservación, ya que de estos factores son de los que depende tanto su inocuidad como su valor comercial. (Villavecchia, 1918)

### **2.6.1 Harina de trigo**

La harina de trigo es proveniente del cereal de trigo obtenida de la molturación de sus granos, este proceso incluye la trituration del mismo y su tamizado, el grano se criba, se descascarilla, se escoge y se limpia, excluyendo los granos extraños, y en ocasiones se lavan los granos antes de ser molidos (Requena, 2013. Pág. 2).

La harina de trigo es una de las harinas más usadas a nivel mundial, y la más importante dentro de lo que es la elaboración de productos panificados y repostería, ya que su composición permite que las masas elaboradas a base de esta den productos de buena calidad (De la Vega, 2009).

Según (Carreira, 2020) manifiesta que: “esta harina se clasifica de acuerdo a numeración por “ceros”, en la que los ceros determinan el grado de pureza de la harina

y fuerza de la harina (factor muy importante en elaboración de productos), de ésta manera se tiene”:

- **Las harinas 0:** son harinas de gran fuerza las más bastas, pueden contener posibles restos de grano. Son menos refinadas, y se utilizan para elaboraciones más espesas como pastas alimenticias.
- **Las harinas 00 y 000:** harina de media fuerza, se utilizan siempre en la elaboración de panes, ya que su alto contenido de proteínas posibilita la formación de gluten para la elaboración de panes, por su alto contenido de proteínas, especialmente el gluten que posibilita dar forma a las masas y se consigue un buen leudado sin que las piezas pierdan su forma.
- **La harina 0000:** son harinas flojas, es más refinada y más blanca, al tener escasa formación de gluten no es un buen contenedor de gas y los panes no mantiene la forma. Se utiliza en pastelería, repostería, hojaldres, etc. y masas que tengan que ser ligeras.

#### 2.6.1.1 Composición química de la harina de trigo

La composición químico-nutricional de la harina de trigo, se muestra en la tabla 2.2.

**Tabla 2.2**

##### *Composición químico-nutricional de la harina de trigo*

Harina de trigo	Cantidad	Unidad
Proteínas	10,0	g
Hidratos de carbono	76,1	g
Grasas	1,9	g
Cenizas	0,5	g
Fibra dietética	0,4	g
Agua	11,5	g

**Fuente:** Bejarano et al., 2002

- ❖ **Hidratos de carbono:** Siendo el más importante en los cereales el almidón (conformado por Amilosa y Amilopectina), que constituye un 64% del grano completo de trigo y en el endospermo un 70%, es insoluble en agua fría sin embargo

cuando se trata de agua caliente es responsable de la gelificación, resultado cuando se somete a temperaturas altas, como en la elaboración de pan durante el horneado (Pazmiño, 2013).

❖ **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. Las proteínas no pertenecientes al gluten representan entre un 15–20 % del total de las proteínas del trigo, principalmente se encuentran en las capas externas del grano de trigo y en bajas concentraciones en el endospermo. No obstante, estas proteínas también pertenecen un grupo secundario de proteínas poliméricas de almacenamiento, llamadas triticinas, que pertenecen a la clase globulinas de las proteínas de almacenamiento de la semilla. Las proteínas del gluten representan entre (80 – 85) % del total de las proteínas del trigo, representan la mayor parte de las proteínas de almacenamiento. (De la Vega, 2009)

#### **2.6.1.2 Propiedades nutricionales de la harina de trigo**

El valor nutritivo del trigo y de los productos derivados de sus harinas siempre han sido una fuente importante de alimento para la humanidad, ya que aportan energía, proteína, vitaminas y minerales, muy necesarios para el crecimiento sano de la población. (Ramos, 2013)

La harina proveniente del trigo por haber sido tamizada y desprovista del salvado y el germen, se vuelve mucho más fácil de procesar en el sistema digestivo, sin embargo, las harinas blancas tienen menos fibra, proteína y micronutrientes como vitaminas y minerales. (Velasco, 2021)

#### **2.6.2 Harina de avena**

En productos panificados el uso de avena aporta valor en lo que refiere a la conservación de estos productos, ya que debido a su composición posee la capacidad de retener la humedad. En las formulaciones panaderas la sustitución de harina de trigo



por harina de avena en un porcentaje de 10%, mejora las características fermentativas en la masa, favorece el color de la corteza, e influye en la miga de los panes fermentados químicamente, mientras que en los panes elaborados con levadura biológica, la adición de copos de avena en un 5% va a proporcionar panes de mayor volumen, migas blandas y suaves en presencia de gluten añadido, ya que en su ausencia la adición de copos en la formulación va a dar como resultado panes con migas duras y de reducido volumen (Cordero, 2019). Así mismo, (Barrantes, 2019) indica que; la avena es una harina muy versátil que puede introducirse en diferentes formulaciones como repostería, galletería, panificación, etc, y algunas aplicaciones panaderas de los productos de avena son las siguientes:

- **Avena laminada:** Se añade a productos panaderos de textura masticable que necesitan conservar la identidad del copo.
- **Avena instantánea o avena para bebés:** Proporciona una capacidad de retención de humedad alta, menor textura de copo y más suavidad.
- **Avena cortada:** Proporciona textura de semilla al pan.
- **Harina de avena:** Puede reemplazar hasta el 30% de la harina de trigo, proporcionando retención de humedad al pan.

### 2.6.2.1 Composición química de la harina de avena

La composición química de la harina de avena, se muestra en la tabla 2.3.

**Tabla 2.3**

*Composición química de la harina de avena*

Harina de avena	Unidad	Cantidad
Carbohidratos	g	57,7
Proteínas	g	15,0
Fibra	g	10,0
Grasas	g	6,4
Humedad	g	10,9

**Fuente:** Diet, 2018

- ❖ **Proteínas:** La avena contiene avenina, una prolamina (proteína de almacenamiento) que es similar a las incluidas bajo el término genérico de "gluten", siendo su papel

como sustancia del grupo de los alcaloides, desplegar un efecto sedante sobre el sistema nervioso. La avena tiene seis de los ocho aminoácidos esenciales, si se comparara con el trigo, que contiene sólo uno, o la cebada y centeno que no tienen ni uno, se puede notar la importancia de incluir este cereal en la alimentación diaria. (Sanchez, 2018)

❖ **Fibra:** Otro componente mayoritario en la composición de la harina de avena es el contenido de fibra soluble y fibra insoluble (Clark, 2006. Pág.60):

- **Fibra insoluble:** No se disuelve en agua. Las fuentes habituales son el salvado de trigo, las verduras y los granos integrales.
- **Fibra soluble:** este tipo de fibra forma un gel en el agua. Está presente en la harina de avena, en la cebada y en las alubias (así como la pectina y la goma guar, dos fibras que se suelen añadir a los alimentos y que aparecen en las listas de los ingredientes).

Según (Rojo, 2020), la fibra soluble considerada principal en la avena es el  $\beta$ -glucano, su concentración es variable entre (2,3 - 8,5) g en 100g, y se presenta principalmente en la pared celular del endospermo (75%) y en menor proporción en la capa de aleurona.

❖ **Lípidos:** La avena contiene grasas insaturadas y ácido linoleico. Estas grasas, a diferencia de las de origen animal, son saludables y consideradas necesarias en la dieta además al ser un vegetal el aporte graso es el 80% a base de ácidos grasos insaturados (Lara, 2007).

❖ **Hidratos de carbono:** Su mayor virtud es que este cereal posee una gran cantidad de hidratos de carbono complejos, que se absorben lentamente en el organismo, siendo los hidratos de carbono los que convierten a este cereal en una fuente rica en energía (Taco, 2014).

❖ **Vitaminas y minerales:** “Entre vitaminas y minerales este cereal contiene Vitaminas, E, B1, B2 y minerales como el calcio, hierro, zinc, potasio, fósforo y magnesio están presentes en grandes cantidades” (Taco, 2014. Pág. 44).

### **2.6.2.2 Propiedades nutricionales de la avena**

Los carbohidratos que aporta este cereal, proporcionan energía durante mucho tiempo debido a que es rico en almidón. De este modo se evita la sensación de cansancio y sueño que se produce por la disminución de los niveles de glucosa. (Maceira, 2011)

La fibra que contiene ayuda a normalizar el tránsito intestinal, además de que las fibras solubles transporten los ácidos biliares (necesarios para elaborar colesterol) fuera del organismo lo cual determina una reducción en el nivel de colesterol, mientras que, los  $\beta$ -glucanos absorben el colesterol y los ácidos biliares del intestino, evitando que los compuestos nocivos pasen al organismo, y ayudan a eliminarlos de forma natural. Otra de sus propiedades es que consumir tres gramos diarios ayuda a regular los niveles de colesterol, además que, contiene sustancias beneficiosas como la lecitina, o fitoesteroles. (Gómez et al., 2017).

Estimula la glándula tiroides que participa en el metabolismo de las grasas, también estimula la actividad del páncreas, y contribuye a estabilizar el azúcar en la sangre. La combinación de fibra soluble e insoluble permite que la avena contribuya a la reducción del colesterol LDL. (San Miguel, 2018)

Su consumo diario reduce de forma drástica las probabilidades de sufrir determinadas enfermedades cardiovasculares, en su contenido en grasa el 80 % son grasas insaturadas lo que la hace saludable (San Miguel, 2018). Además, su contenido en vitamina B1, calcio y alcaloides (indol, trigonelina o avenina) refuerzan el sistema nervioso y favorecen la capacidad para relajarse, concentrarse y prevenir lo que es el agotamiento mental. (Manzanas, 2019)

### **2.6.3 Harina de algarroba**

La harina de algarroba puede ser incorporada dentro de una variedad de productos alimenticios incluyendo pan, bizcochos y tortas, pero que sin embargo la ausencia de almidón es una limitación para los niveles de harina de algarroba en las formulaciones del pan. En el pan se ha determinado que la harina de algarroba aumenta la elasticidad de la masa, pero le resta resistencia, con lo cual, el pan leudado es más suave, pero con menor volumen. El pan que contiene 5% de harina de *Prosopis pallida* o algarroba blanca se ha calificado como aceptable, tanto en textura como en sabor. En galletas, la sustitución de harina de trigo por harina de algarroba tiene efecto positivo, pues reemplaza parte del azúcar en la formulación, y confiere sabor y aroma muy agradables. Algunas personas han reportado un ligero gusto amargo después de consumir estos productos, pero otras, sin embargo, lo encuentran agradable. (Propopiuk, 2014)

El fruto o vaina del árbol de algarrobo se usan básicamente para la elaboración de panes especiales, pan integral y productos artesanales, como; “café” o chocolate de algarroba por su color, sabor y aroma dulzón. También es utilizado en procesos de fermentación para la elaboración de Aloja o Chicha (bebida alcohólica), concentrado por cocción para la elaboración de Arrope, o para elaborar un tipo de miel (Boucher, 1998. Pág. 3).

La producción de harina de algarroba en Bolivia, se da específicamente en el departamento de Tarija, su mercado por el momento es regional en la provincia Gran Chaco debido a que en este territorio la planta de algarrobo se encuentra de forma silvestre, sin embargo, su mercado gana espacio cada vez más ya que existe un proyecto impulsado por el centro de estudios regionales de Tarija (Cerdet) que provee y promueve el uso de esta harina para repostería, panificados y otros (Rivera, 2019).

#### **2.6.3.1 Composición química de la harina de algarroba**

Existen estudios que evalúan la composición químico-nutricional de los frutos de las especies de *Prosopis*, provenientes de diferentes regiones geográficas y que los análisis proximales realizados de las vainas enteras, muestran resultados similares para varias

de ellas (Schrotlin & Secchi, 2018). La composición químico nutricional de harina de algarroba se muestra en la tabla 2.4.

**Tabla 2.4**

*Composición químico-nutricional de harina de algarroba*

Harina de algarroba	
Hidratos de carbono	48,80
Proteínas	04,60
Fibra dietética total	40,00
Grasa total	0,80
Grasa saturada	0,00
Grasa monoinsaturada	0,20
Grasa poliinsaturada	0,22
Grasas trans	0,00
Tiamina	0,05
Rivoflamina	0,46
Niacina	01,90
Ácido fólico (ug)	29,00
Potasio	828,00
Calcio	348,00
Hierro	02,90
Zinc	00,90
Fosforo	80,00

**Fuente:** Schrotlin & Secchi, 2018

- ❖ **Hidratos de carbono:** Las distintas especies de algarroba (leguminosas) poseen un alto porcentaje de carbohidratos que le confiere sabor propio, poseen alta densidad energética y una considerable proporción de fibras, con predominio de fracción insoluble que junto con los carbohidratos permiten una lenta absorción de los azúcares (Schrotlin y Secchi, 2018, Pág. 114). En cuanto a azúcares contiene sacarosa, glucosa, maltosa y fructosa. Sin embargo, a pesar de ser rica en azúcares, por su contenido en fibra estos azúcares se absorben de manera más lenta, siendo su contenido en azúcar mucho más bajo que el cacao. (Vijande, 2020)
- ❖ **Proteína:** El aporte proteico es relativamente alto; se encuentra además acompañado por un elevado porcentaje de lisina, lo cual lo hace un buen

complemento con las proteínas de cereales que en general poseen una deficiencia en dicho aminoácido esencial. Por otro lado, la harina de algarroba en su composición no contiene ni gliadina ni gluteína. (Schrotlin & Secchi, 2018, Pág. 114)

- ❖ **Fibra:** La harina de algarroba contiene fibra soluble e insoluble, su aporte de fibra alimentaria (hasta un 30%), genera en el organismo un pasaje lento de la glucosa a la sangre, provocando que el aumento de la glucemia sea lento durante su absorción. (Vijande, 2020)
  
- ❖ **Grasa:** Según (Vijande, 2020), indica que: “la harina de algarroba es baja en grasas y estas son de calidad, como ácido linoleico y ácido oleico” (Pág. 1)

Según (Miranda et al., 2017) menciona que “en relación a los metabolitos secundarios sintetizados por el género *Prosopis* alpataco (especie de algarrobo) presentan lignanos y taninos que en algunos casos les otorga un sabor ligeramente amargo o agrio, poseen alcaloides, flavonoides y esteroides con propiedades antiinflamatorias y capacidad de eliminación de radicales libres” (Pág. 130).

### **2.6.3.2 Propiedades nutricionales de la algarroba**

Por su riqueza en mucilagos y taninos, tradicionalmente la algarroba ha sido una gran aliada en el tratamiento de las inflamaciones de las mucosas, tanto en las vías respiratorias como en las digestivas. Su consumo habitual puede aportar grandes beneficios sobre nuestra flora intestinal al reducir ciertas bacterias nocivas. Contiene más hierro y calcio que muchos productos cárnicos, además de un amplio surtido de minerales, y al no poseer gluten y tener solo 3 % de grasas, es apta para celíacos y estómagos delicados (Kohán, 2009. Pág. 49).

El bajo contenido en grasa favorece el logro y mantenimiento de un peso saludable. Al ser rica en fibra soluble estimula el crecimiento selectivo de la microbiota, mejora el tránsito intestinal y reduce los niveles de colesterol, Sus fibras ayudan a mejorar la flora intestinal fermentativa, puede utilizarse como antidiarreico, pero también como un

laxante, ayuda a tener peristaltismo correcto, favorece la curación de infecciones y problemas gastrointestinales. También tiene efecto astringente por su contenido en taninos. La harina de algarroba contiene polifenoles que ayudan a reducir el daño oxidativo y a mantener las células sanas. (Vijande, 2020)

## **2.7 Caracterización de insumos alimentarios utilizados en la elaboración del producto**

A continuación, se describen los insumos alimentarios necesarios para la elaboración del producto.

### **2.7.1 Levadura**

Se definen como agentes fermentadores a todas las sustancias que contribuyen al aumento de volumen de la masa; el principal es el anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>), que en la producción del pan se obtiene con la fermentación biológica. El anhídrido carbónico se combina con la masa glutínica que se encuentra presente en la harina y, mediante dilatación térmica este aumenta de volumen durante el trabajo (maduración de la masa) y durante la cocción. (Bisio, 2016)

Según (Mesas & Alegre, 2002), indican: “en panificación suele utilizarse tres tipos de levaduras para llevar a cabo el proceso de fermentación en las masas” (Pág. 304):

- **Levadura de panadería o levadura comercial:** corresponden las levaduras de género *Saccharomyces cerevisiae*, muy utilizadas en este proceso ya que son microorganismo en los que dependiendo de las condiciones que se le dé, realizan una fermentación rápida.
- **Levadura natural o levadura de masa:** comúnmente conocida como masa madre; elaborada con anticipación a base de harina y agua, la fermentación de esta masa se lleva cabo con el microorganismo que se encuentran en el ambiente, suele usarse como base del preparado.

- **Levaduras químicas:** son aditivos gasificantes que básicamente consisten en la mezcla de un ácido y un compuesto alcalino que con el amasado y el calor de la cocción reaccionan generando CO<sub>2</sub>.

### 2.7.2 Agua

Es el segundo componente mayoritario de la masa que hace posible el amasado de la harina, la presencia de agua en la masa también es necesaria para el desarrollo de las levaduras que han de llevar a cabo la fermentación del pan. (Mesas & Alegre, 2002)

Según (Villalón, 2012), se identifican tres funciones vitales del agua vitales en el proceso de panificación:

- **Formación de la masa:** sin la presencia de agua, o un medio líquido que la contenga, el gluten no puede formarse.
- **Fermentación:** el agua hace posible que la masa sea elástica y extensible a la hora de fermentar, además de hacer factible el crecimiento de las levaduras y todo el proceso.
- **Frescura y comestibilidad:** el agua le da al pan su miga característica, panes poco hidratados serán demasiado densos, además, la mezcla del agua con la harina convierte a las proteínas de ésta en aptas para el ser humano una vez cocidas.

### 2.7.3 Azúcar

El azúcar es un insumo que se utiliza en la elaboración del pan con el objetivo de activar las levaduras y de servir como sustrato para la reacción de fermentación que van a realizar estos microorganismos. Su aplicación está ligada específicamente como sustrato y como coadyuvante en las propiedades organolépticas del pan, ya que, influye directamente sobre el color y el aroma de las piezas, debido a su participación en las reacciones de Maillard (entre azúcares y aminoácidos) y de caramelización. Retrasa la gelatinización del almidón, y por tanto permite una mayor expansión en el horneado. A su vez la presencia de azúcares reduce la actividad de agua y en consecuencia el



desarrollo de microorganismos, y así incrementa la vida útil de los productos. En los productos fermentados la presencia de azúcar relaja las masas, por lo que suele ser frecuente modificar el tipo de harina o la fórmula utilizada cuando se incorpora este ingrediente. La presencia de cantidades importantes de azúcar también puede minimizar los procesos fermentativos por el aumento de la presión osmótica en las masas. (Ribotta & Tadini, 2009)

#### **2.7.4 Sal**

“La adición de este insumo mejora el sabor, ya que la sal resalta los sabores de los ingredientes, fortalece la retención de gas y facilita el manejo de la masa, porque estabiliza y contrae el gluten” (Gil, 2015. Pág. 181).

La sal ayuda a preservar el color y el sabor de las harinas empleadas en las formulaciones, dado que la sal ralentiza la tasa de consumo de azúcar por las levaduras, haciendo que el "azúcar residual" este disponible en el momento del horneado para la coloración de la corteza. En ausencia de sal, la levadura consume rápidamente el azúcar, y la corteza del pan horneado será pálido y apagado (Hamelman, 2012).

#### **2.7.5 Grasas**

Según (Mesas & Alegre, 2002) indican que; “sus objetivos son: o bien aumentar el valor nutritivo del pan o bien proporcionarle un determinado sabor, su empleo da siempre panes especiales” (Pág. 4). En la formulación de ciertos panes se introduce una mínima cantidad de grasa (entre 1 y 6%) con el fin de obtener masas más extensibles, más estables en la fermentación y con mayor subida de volumen en el horneado.

Los productos obtenidos presentan mayor volumen, textura más suave, alveolado más fino y mayor vida útil. En estos casos la proporción de grasa en el producto final es mínima, y por tanto su eliminación no presenta ninguna ventaja nutricional considerable, mientras que su eliminación modificaría las características del producto final de manera significativa. (Ribotta & Tadini, 2009)

## **2.8 Operaciones en el proceso de elaboración de productos panificados**

Las operaciones más importantes durante el proceso de elaboración de productos panificados son:

### **2.8.1 Amasado**

En el proceso de panificación el amasado es esencial, ya que depende de ello: la fermentación y el horneado, debido a que están intrínsecamente ligados al amasado, este influye de manera directa sobre la textura y el resultado final del pan. El objetivo del amasado, es desarrollar la malla glutínica, provenientes de las proteínas del trigo (o de otros cereales), en particular de que la gluteína (o glutenina) y la gliadina, se enlacen entre sí por medio de la adición de agua, creando esa malla capaz de atrapar los gases producidos en la fermentación (Scoolinary, 2020).

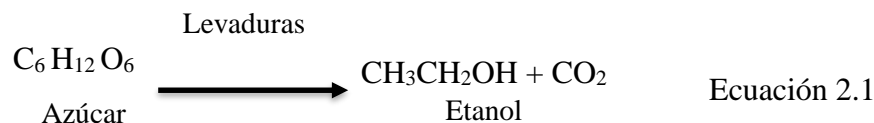
### **2.8.2 Fermentación panaria**

Durante la elaboración de productos panificados, en la etapa de reposo de la masa se produce lo que es la fermentación, abarcando varios procesos que incluyen; glucólisis, fermentación alcohólica y respiración de la fauna microbiana, convirtiendo el almidón de la harina en una unidad más simple, como la glucosa. Estos procesos son llevados a cabo principalmente por levaduras de la especie *Saccharomyces cerevisiae* y por bacterias del género *Lactobacillum*, mientras que el ambiente tenga oxígeno, las levaduras realizan un ciclo de respiración “normal” (energéticamente más efectivo), sin embargo, en condiciones anaeróbicas (cuando el oxígeno se agota), se produce la fermentación alcohólica, siendo el etanol y el ácido láctico los responsables de dar aroma al pan, y el CO<sub>2</sub> responsable de que en el pan se produzca el alveolado en la miga del pan. (Biotura, 2019)

Durante la elaboración de productos panificados, se presenta en su mayoría dos tipos de fermentaciones, las cuales son:

### 2.8.2.1 Fermentación alcohólica en el pan

Proceso natural por el cual las moléculas complejas se degradan y transforman en transforma el almidón presente en la harina (un azúcar complejo) en glucosa (azúcar simple). Durante este proceso, la levadura se alimenta de parte del azúcar naturalmente presente en la harina y el azúcar añadido, generando dióxido de carbono y etanol, provocando el levado del pan en el horno, a la vez que genera la estructura alveolar. Por otro lado, produce un gran número de moléculas, que son las que generan el sabor del pan. (Lesaffre, 2020). En la figura 2.2, se muestra la ecuación 2.1 simplificada que representa la fermentación alcohólica en el pan.

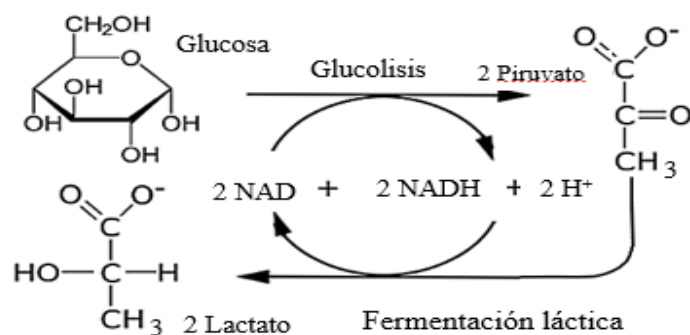


**Fuente:** Negro, 2020

**Figura 2.2.** Fermentación alcohólica en el pan

### 2.8.2.2 Fermentación láctica

Este tipo de fermentación se debe a los lactobacilos que llegan a la masa a través de la harina o también la levadura que los puede contener. Estos microorganismos actúan lentamente a temperaturas normales (25) °C, e incluso a temperaturas bajas, sin embargo, a 35 °C es cuando ejercen actividad plena. En las fermentaciones en las que se use altas temperaturas en la cámara de fermentación se corre el riesgo de producir un exceso de ácido láctico, lo que influirá negativamente en la calidad del pan elaborado. (Flecha, 2015). En la figura 2.3, se muestra la ecuación 2.2 que representa la fermentación láctica en el pan.



Ecuación 2.2

Fuente: Parada, 2021

Figura 2.3. Fermentación láctica

### 2.8.2.3 Factores que influyen en la fermentación del pan

Según (Flecha, 2015), los factores que influyen en la fermentación panaria, pueden ser factores referidos a las materias primas, factores propios de la masa o factores externos:

#### 2.8.2.3.1 Factores referidos a las materias primas:

Según (Flecha, 2015), la influencia de las materias primas en la fermentación panaria pueden deberse a:

- ◆ **Harina:** La cantidad de maltosa que contiene una harina afecta directamente sobre la capacidad fermentativa por lo que supone un alimento directamente asimilable por la levadura, por lo que la velocidad de fermentación aumenta proporcionalmente al índice de maltosa.
- ◆ **Levadura:** Tiene una acción directa sobre la actividad de la fermentación, cuanto mayor cantidad de levadura ésta se consumirá de manera más rápida el alimento, sin embargo, la velocidad será mayor pero no la cantidad de gas ya que producirá la misma que con menos levadura. Por lo tanto, la cantidad de gas no es proporcional a la cantidad de levadura añadida.
- ◆ **Sal:** Si ésta se añade en exceso transfigurará el sabor en el pan y la fermentación será lenta. Si esta está en defecto, la fermentación se acelerará.

- ◆ **Grasas y azúcares:** Dependiendo de la dosis de grasa o azúcar la velocidad de fermentación puede aumentar o disminuir.
- ◆ **Conservantes:** La dosificación de conservantes, reguladores del pH y los azúcares afectan negativamente a la fermentación. Por tanto, es necesario aumentar la dosis de levadura cuando estos se utilizan.

#### 2.8.2.3.2 Factores propios de la masa

Según (Flecha, 2015), los factores propios de la masa son:

- **Hidratación:** Las masas blandas (hidratadas) fermentan mucho más rápido que una masa dura, debido a que la acción de la levadura es favorable cuando hay mayor actividad de agua.
- **Temperatura:** La temperatura de la masa, temperatura de la cámara de fermentación y el porcentaje de levadura añadida está directamente relacionado con la velocidad de producción de gas, a medida que aumenta la temperatura y la dosis de levadura, el tiempo que tarda la masa en alcanzar el volumen óptimo de fermentación disminuye.
- **Acidez y pH:** La masa es por naturaleza ácida y la acidez aumenta ligeramente a lo largo de la fermentación, por lo que un exceso de acidez produce un aumento excesivo de fuerza. Por el contrario, si hay falta de acidez en la masa se corre el riesgo que actúe el *Bacillus Massensterius*. El pH óptimo de la masa a su entrada al horno deberá ser 5,2-5,5. Si el pH del pan, se encuentra con valores entre 5,7 y 5,9 o superiores, facilita la proliferación microbiana, no solamente la producida por mohos sino también por ahilamiento. La reducción del pH por fermentación prolongada o por la adición de algunos reguladores del pH favorece un tiempo mayor de conservación. Por otro lado, los conservantes tienen su máxima actividad en un medio ácido. En fermentaciones cortas hay que potenciar la acidez con la adición de ácido láctico, vinagre, ácido sórbico o cítrico. (Tejero, 2020)

### 2.8.2.3.3 Factores externos en la fermentación del pan:

Según (Flecha, 2015), los factores externos que influyen en la fermentación de la masa son:

- **Temperatura ambiente:** Tanto la temperatura ambiente como la de la cámara de fermentación, actúan sobre la temperatura de la masa y por consiguiente sobre el desarrollo de la fermentación. Entre 20 y 40° C cada grado que se aumente aumenta un 10% el poder fermentativo, a 55° C muere la levadura, entre 2° C y 4°C está prácticamente aletargada y entre 10°C y 12°C fermenta muy despacio.
- **Humedad:** Un exceso de humedad produce una masa pegajosa y una falta de humedad provoca la deshidratación de la capa externa en la masa lo que hace poco extensible para que se desarrolle la fermentación con normalidad.

### 2.8.3 Horneado y cocción

Es la fase que cierra el proceso de elaboración del pan y se considera una de las etapas claves, ya que de la cocción depende obtener un pan con cualidades organolépticas que definirán su calidad final. En esta etapa a partir de los 130 °C, los azúcares provenientes de la actividad enzimática y concretamente las dextrinas y la maltosa, empiezan a caramelizarse (llamado proceso de dextrinación) y a dar color a la corteza. A medida que la temperatura en la superficie del pan aumenta lo hace también la caramelización, como resultado se forman los aromas y el sabor particular de la corteza. (Flecha, 2015)

Según (Bilheux, 2000), indica que: “durante la etapa de horneado y cocción intervienen fenómenos distintos” y son:

- Crecimiento de la masa por fuerza del gas carbónico formado y dilatado por el calor.
- Liberación, coagulación y solidificación del almidón durante cocción de la masa.
- Caramelización de los azúcares que dan color a la corteza.
- Grosor de la masa (cuanto más grueso es un pan, más tiempo de cocción y menos elevada debe ser la temperatura del horno)

- Higrometría del aire exterior (con tiempo húmedo la temperatura del horno es más baja y el tiempo de cocción es ligeramente más largo)
- Formulación utilizada (no todas las harinas reaccionan al calor de la misma forma)

## **2.9 Factores importantes durante el proceso de elaboración de productos panificados**

Para elaborar diferentes tipos de productos panificados se deben tomar en cuenta los siguientes factores:

### **2.9.1 El gluten**

Un conjunto proteico conocido comúnmente con el nombre de gluten, que se forma durante la elaboración del pan, favorece la unión de todos los insumos formando el mallado elástico que permite el crecimiento de la masa. Está conformado principalmente por glutenina y gliadina. Aunque el gluten es poco nutritivo, es la responsable de aportar esponjosidad, extensibilidad y elasticidad a los panes elaborados. (Biotura, 2019)

### **2.9.2 Hidratación**

La hidratación en la elaboración de una masa es la cantidad de agua necesaria para elaborarla, esta se expresa en porcentaje y se calcula en base a la cantidad de harina, por tanto, la tasa de hidratación en la masa será la que indica el número de litros de agua sobre 100 Kg de harina. (Flecha, 2015)

En una masa muy hidratada el gluten se desarrolla más lento ya que el elevado porcentaje de agua dificulta el desarrollo del mismo. El porcentaje de absorción de agua puede variar en función de: la fuerza de la harina, contenido de humedad, tasa de extracción, su granulación; cuanto más fina es la harina, más agua hay que añadir. (Flecha, 2015)

### **2.9.3 Extensibilidad**

Es la capacidad de la masa para poder estirarla y moldearla sin que ésta presente desgarros. Es necesario una cierta extensibilidad en las masas para que soporten las operaciones propias del proceso de elaboración, además de ceder la fermentación y posterior desarrollo del pan durante los primeros minutos de cocción. (Flecha, 2015)

### **2.9.4 Elasticidad**

Es la actitud que presenta la masa para retomar a su forma inicial después de un proceso de formación. 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)

### **2.9.5 Tenacidad**

fuerza necesaria para deformar una masa, esta está directamente relacionada al contenido proteico de la harina, la acción o no de aditivos, y fases del proceso que en mayor o menor medida implican directamente sobre ella, por lo que, la relación entre tenacidad y extensibilidad de la masa, serán un factor determinante en la obtención de un buen pan. (Flecha, 2015)

### **2.9.6 Fuerza**

Uno de los parámetros para la panificación de la masa es el denominado “W” (valor que mide la fuerza de la harina), representa un índice global del comportamiento de la harina. Con la fuerza de las harinas se puede determinar si las masas formadas a partir de las harinas soportaran el conjunto de características físicas que contribuyen a obtener un pan de óptima calidad. (Panem-Facere, 2018)

### **2.9.7 Humedad**

En el contenido de humedad del pan influyen la cantidad de agua aportada en el amasado, el tiempo de cocción, así como la temperatura del horno. El pan de molde ha



de contener una humedad máxima del 38%. Si sobrepasa este porcentaje el medio es más favorable para la aparición de mohos. (Tejero, 2020)

### **2.10 Efecto de la formulación sobre la conservación de los productos de panificación**

El deterioro de los productos de panadería incluye los cambios de distinta índole que conducen a una menor aceptabilidad en el momento de su consumo, y cuya naturaleza es: física (pérdida de humedad, envejecimiento), química (rancidez) y/o microbiológica (crecimiento de levaduras, mohos, bacterias). El deterioro físico-químico, microbiológico y sensorial depende de múltiples factores interrelacionados (pH, actividad de agua ( $a_w$ ), tipo de producto, formulación, proceso, condiciones de almacenamiento, dosis de conservantes, tecnología, tipo y material de envasado) que inciden de forma variable en la conservación del producto. (Ribotta & Tadini, 2009)

La vida de conservación microbiológica de los productos de panadería de humedad alta se relaciona con el pH y con la actividad acuosa ( $a_w$ ) y, en consecuencia, la reformulación del producto para reducir tanto el pH como la  $a_w$  se puede emplear para aumentar la vida útil. Pudiéndose lograr la reducción del pH mediante el uso de acidulantes, como ácidos orgánicos (ácidos cítrico, láctico y acético) o cultivos de bacterias ácido lácticas como: masas agrias. (Ribotta & Tadini, 2009)

**CAPÍTULO III**  
**METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**

### 3.1 Desarrollo de la parte experimental

La parte experimental del presente trabajo de investigación “Elaboración de pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba”, se realizó en el Laboratorio Taller de Alimentos (L.T.A) y Laboratorio de Ingeniería de Alimentos (L.I.A), ambos dependientes de la Carrera de Ingeniería de Alimentos, perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

### 3.2 Equipos de proceso

Los equipos de proceso utilizados para el desarrollo de la parte experimental de este trabajo de investigación, se detallan a continuación:

#### 3.2.1 Horno semi-industrial a gas natural

El horno semi-industrial fue utilizado para el horneado de la masa obtenida por formulación, a una temperatura de (165) °C. En la figura 3.1, se muestra este equipo con sus especificaciones técnicas:

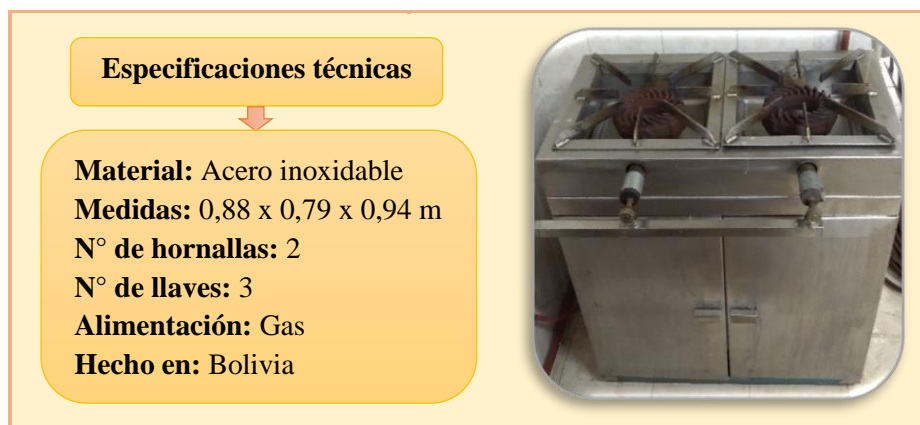


**Fuente:** L.T.A, 2021

**Figura 3.1.** Horno semi-industrial a gas natural

#### 3.2.2 Cocina industrial

La cocina industrial, se utilizó en la etapa de dosificación y mezclado con el fin de atemperar el agua, a una temperatura de 28°C. En la figura 3.2, se muestra el equipo con sus especificaciones técnicas.



Fuente: L.T.A, 2021

*Figura 3.2.* Cocina industrial

### 3.2.3 Incubadora

La incubadora, se utilizó con el fin de llevar a cabo la fermentación de la masa para el pan, programándola a una temperatura de 34 °C. En la figura 3.3, se muestra el equipo con sus especificaciones técnicas.



Fuente: L.I.A, 2021

*Figura 3.3.* Incubadora

### 3.2.4 Balanza digital

La balanza digital, se utilizó para realizar el pesado de las materias primas y de los insumos alimentarios en la etapa de dosificación y pesado. En la figura 3.4, se muestra la balanza digital con sus especificaciones técnicas.



**Fuente:** L.T.A, 2021

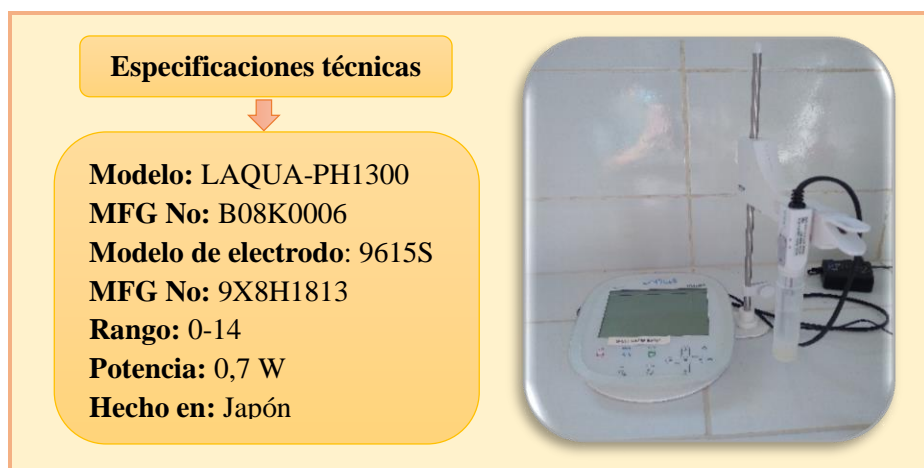
**Figura 3.4.** Balanza digital

### 3.3 Instrumentos y material de laboratorio

Los instrumentos y material de laboratorio que se utilizaron en el presente trabajo de investigación, se detallan a continuación:

#### 3.3.1 pH-metro digital

El pH-metro digital, se utilizó con el objetivo de medir el pH de la masa y del producto final. En la figura 3.5, se muestra el pH-metro con sus especificaciones técnicas.

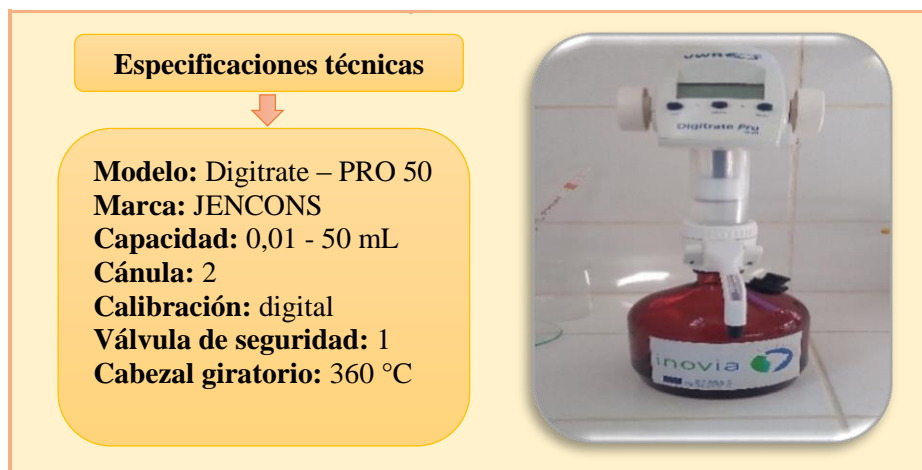


**Fuente:** L.I.A, 2021

**Figura 3.5.** pH-metro digital

### 3.3.2 Bureta digital o titulador

La bureta digital, se utilizó para medir la acidez total de la masa y del producto final. En la figura 3.6, se muestra la bureta digital con sus especificaciones técnicas.

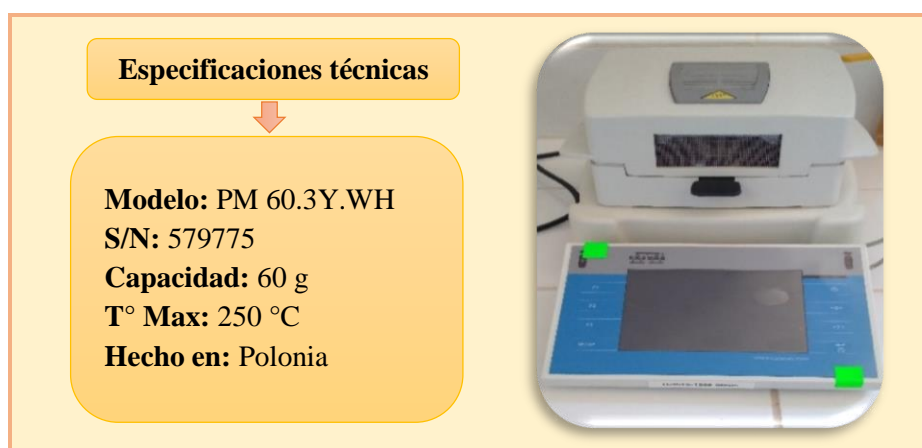


**Fuente:** L.I.A, 2021

**Figura 3.6.** Bureta digital o titulador

### 3.3.3 Termobalanza

La termo balanza, se utilizó para determinar la humedad de las masas formuladas y del producto final. En la figura 3.7, se muestra la termo balanza con sus especificaciones técnicas.

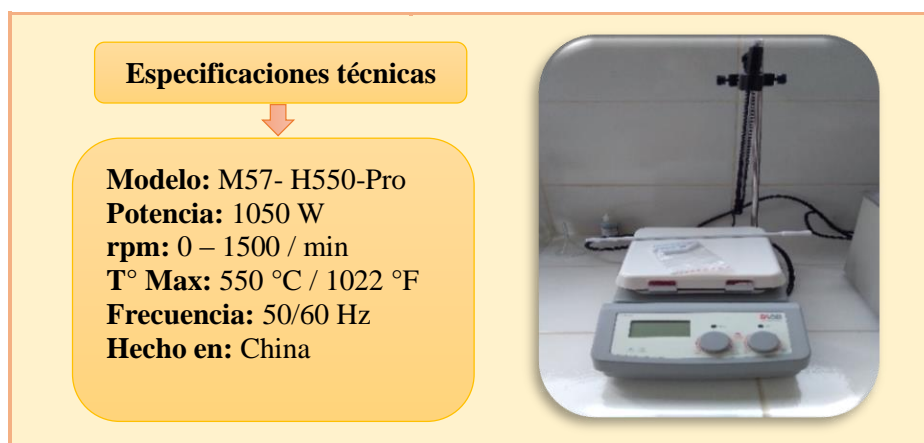


**Fuente:** L.I.A, 2021

**Figura 3.7.** Termobalanza

### 3.3.4 Agitador magnético

El agitador magnético, se utilizó para homogeneizar las muestras al determinar pH y acidez. En la figura 3.8, se muestra el agitador magnético con sus especificaciones técnicas.



**Fuente:** L.I.A, 2021

**Figura 3.8.** Agitador magnético

### 3.3.5 Material de laboratorio

El material de laboratorio que se utilizó en el presente trabajo de investigación, se detalla en la tabla 3.1.

**Tabla 3.1**

#### *Material de laboratorio*

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Calidad</b>
Termómetro de alcohol	1	(-10-100) °C	Vidrio
Termómetro de mercurio	1	(40-360) °C	Vidrio
Varilla de vidrio	1	Mediano	Vidrio
Vaso precipitado	4	250 ml	Vidrio
Vaso precipitado	2	60 ml	Vidrio
Vidrio reloj	2	Mediano	Vidrio
Pipeta	1	10 ml	Vidrio

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.4 Utensilios de cocina

Los utensilios de cocina que se utilizaron para la elaboración de pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba, se detallan en la tabla 3.2.

**Tabla 3.2*****Utensilios de cocina para la elaboración de pan tipo enriquecido con harina de avena y algarroba***

Utensilios	Cantidad	Tamaño	Tipo de material
Fuentes	2	Mediano	Plástico
Cuchara	2	Mediano	Acero inoxidable
Cuchillo para pan	1	Grande	Acero inoxidable
Uslero	1	Mediano	Madera
Jarras graduadas	2	Pequeño	Plástico
Repasadores	3	Mediano	Algodón
Platillos	4	Pequeño	Desechable
Vasos	1	Pequeño	Plástico
Olla	1	Mediano	Acero inoxidable
Bolsas	2	Mediano	Plástico
Moldes	6	Mediano	Acero inoxidable
Rejilla	2	Mediano	Acero inoxidable
Guantes para horno	2	-----	Silicona

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.5 Materias primas

Para la elaboración de pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba, se utilizaron como materias primas: harina de trigo, harina de avena y harina de algarroba (tabla 3.3).

**Tabla 3.3*****Materias primas***

Materias primas	Marca	Industria	Procedencia
Harina de trigo	Famosa	Boliviana	Santa Cruz
Harina de avena	Montecristo	Boliviana	Tarija
Harina de algarroba	-	Boliviana	Villamontes

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.6 Insumos y aditivos alimentarios

Los insumos y aditivo alimentarios que se utilizaron en la elaboración de pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba, se detallan en la tabla 3.4.



**Tabla 3.4**

*Insumos y aditivos utilizados en la elaboración de pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba*

Insumos y aditivos	Marca	Industria	Estado
Mejorador de masa	Kris	Boliviana	Sólido
Levadura	Fleischmann	Boliviana	Sólido
Azúcar	Aguaf	Boliviana	Sólido
Sal	La joya	Boliviana	Sólido
Manteca vegetal	Karina	Boliviana	Sólido
Agua	-	-	Líquido
Propionato de calcio (E232)	-	-	Sólido

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.7 Reactivos químicos de laboratorio

Los reactivos químicos utilizados para la determinación de acidez en la elaboración de pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba, se detallan en la tabla 3.5.

**Tabla 3.5**

*Reactivos químicos utilizados en la determinación de acidez*

Reactivos	Concentración	Procedencia	Marca
Hidróxido de sodio (NaOH)	0,1 N	Argentina	Biopack
Fenolftaleína	0,1 %	Argentina	Biopack
Alcohol etílico	70,0 %	Bolivia	Solquifar

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.8 Metodología para la obtención de resultados

Los métodos utilizados para cumplir con los objetivos planteados en el presente trabajo de investigación, se detallan a continuación:

#### 3.8.1 Caracterización de las harinas de trigo, avena y algarroba

Para la caracterización de las harinas de trigo, avena y algarroba, se tomaron en cuenta las siguientes características:

##### 3.8.1.1 Análisis fisicoquímico de la harina de trigo y avena

Para los análisis fisicoquímicos de la harina de trigo y avena, se tomaron en cuenta para cada una de las harinas los parámetros y métodos detallados en la tabla 3.6, realizados

en el Centro de Análisis y Desarrollo (CEANID); dependiente de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

**Tabla 3.6**

*Análisis fisicoquímico de la harina de trigo y avena*

Parámetros	Método	Unidad
Ceniza	NB 39034:10	%
Fibra	Gravimétrico	%
Gluten húmedo	NB 106:00	%
Grasa	NB 313019:06	%
Hidratos de carbono	Calculo	%
Humedad	NB 313010:05	%
Proteína total (Nx5,83)	NB/ISO 8968-1:08	%
Valor energético	Calculo	Kcal/100 g

**Fuente:** CEANID, 2021

### 3.8.1.2 Análisis fisicoquímico de la harina de algarroba

Para el análisis fisicoquímico de la harina de algarroba, se tomó en cuenta los parámetros y métodos detallados en la tabla 3.7, realizado en el Centro de Análisis y Desarrollo (CEANID); dependiente de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

**Tabla 3.7**

*Análisis fisicoquímico de la harina de algarroba*

Parámetros	Método	Unidad
Ceniza	NB 39034:10	%
Fibra	Gravimétrico	%
Gluten húmedo	NB 106:00	%
Grasa	NB 313019:06	%
Hidratos de carbono	Calculo	%
Humedad	NB 313010:05	%
Proteína total (Nx6,25)	NB/ISO 8968-1:08	%
Valor energético	Calculo	Kcal/100 g

**Fuente:** CEANID, 2021

### 3.8.1.3 Análisis microbiológico de la harina de trigo, avena y algarroba

Para el análisis microbiológico de la harina de trigo, avena y algarroba, se tomó en cuenta para cada una de las harinas los parámetros y métodos detallados en la tabla 3.8,

realizados en el Centro de Análisis y Desarrollo (CEANID); dependiente de la facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

**Tabla 3.8**

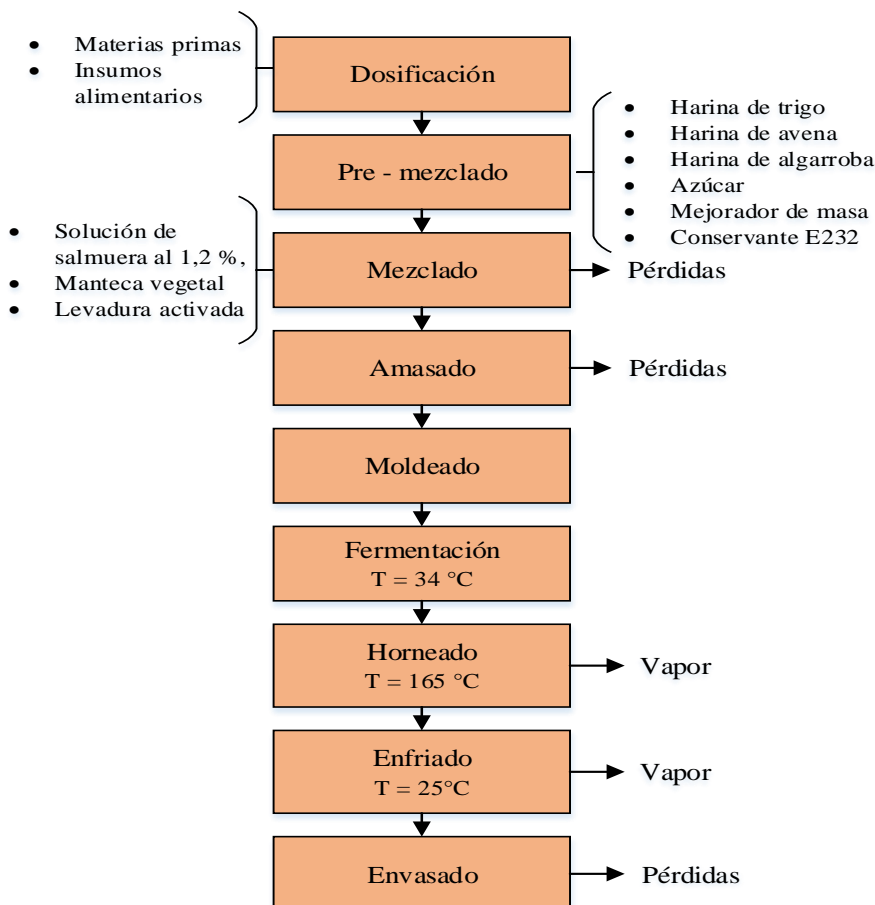
**Análisis microbiológico de la harina de trigo, avena y algarroba**

Parámetros	Método	Unidad
Bacterias aerobias mesófilos	NB 32003:05	UFC/g
Mohos y levaduras	NB 32006:03	UFC/g

Fuente: CEANID, 2021

**3.9 Diagrama de flujo del proceso de elaboración de pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba**

En la figura 3.9, se muestra el diagrama de flujo del proceso de elaboración del pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 3.9** Diagrama de proceso de elaboración de pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba.

### **3.9.1 Descripción del diagrama del proceso de elaboración de pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba**

A continuación, se describen las operaciones necesarias para llevar a cabo el proceso de elaboración de pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba.

#### **3.9.1.1 Dosificación**

Las materias primas e insumos alimentarios que se utilizaron en el presente trabajo de investigación fueron adquiridas del mercado local de la provincia Cercado.

Las materias primas e insumos alimentarios fueron pesados y colocados en recipientes y fuentes de plástico.

#### **3.9.1.2 Pre-mezclado**

En el pre-mezclado, se colocó en una fuente de plástico; las harinas (trigo 53,76 %, avena 2,20 % y algarroba 2,20 %), el azúcar, el mejorador de masa y el conservante E232 (propionato de calcio), para en seguida ser mezclados y facilitar su homogeneización con los demás insumos durante el mezclado y posterior amasado.

#### **3.9.1.3 Mezclado**

Para realizar el mezclado, en la pre-mezcla de las harinas e insumos se añadió levadura activada, manteca vegetal y solución de salmuera preparada al 1,2 % de concentración de soluto (3,70 g de sal y 304,22 g de agua) atemperada a 28 °C para facilitar la integración de toda la mezcla.

- **Activación de la levadura:** En un recipiente de plástico se colocó 20 g de levadura, 18 g de azúcar y 120 g de agua atemperada a 38°C, se mezcló y se dejó reposar por 10 minutos dándose como resultado la activación de la levadura.

El mezclado se llevó a cabo durante seis minutos, obteniendo que; los insumos y materias primas se hayan homogeneizado de manera correcta formando la masa.

#### **3.9.1.4 Amasado**

Habiéndose formado la masa se procedió al amasado, esta etapa se llevó a cabo de forma manual realizando movimientos envolventes, estirando, plegando y presionando la masa, sobre una mesa de acero inoxidable. El amasado se realizó de 8-10 minutos, hasta que la masa quede; suave, lisa y manejable, para esto se dejó reposar la masa por 4 segundos durante el amasado para luego reiniciar con los movimientos ya descritos.

#### **3.9.1.5 Moldeado**

En esta etapa, se procedió a dar forma de bastón a la masa para luego introducirla en un molde de 25 x 11 x 8 (cm<sup>3</sup>) sin tapa, y colocando un paño de tela sobre la superficie del molde para evitar rajaduras sobre la superficie de la masa.

#### **3.9.1.6 Fermentado**

Para iniciar con la fermentación de la masa, se llevaron los moldes al equipo incubadora por 40 minutos a una temperatura de 34 °C. Durante esta etapa la masa dobla su volumen debido al CO<sup>2</sup> generado por las levaduras durante la fermentación, por tanto, la masa al expandirse toma la forma del molde.

#### **3.9.1.7 Horneado**

Concluída la etapa de fermentación de la masa del pan, los moldes son llevados al horno que previamente fue precalentado a una temperatura de 165 °C, una vez colocados los moldes en el horno se hornean las masas del pan por un tiempo de 55 minutos.

#### **3.9.1.8 Enfriado**

Concluída la etapa de horneado, se procedió a desmoldar el pan sobre una rejilla de acero inoxidable para que esta se enfríe a temperatura ambiente aproximadamente por 30 minutos.

### 3.9.1.9 Envasado

Transcurrido el tiempo de enfriamiento del pan tipo molde, se envasa el mismo en bolsas de polietileno.

## 3.10 Caracterización del producto terminado

Para la caracterización del producto terminado, se realizó el control; fisicoquímico y microbiológico del pan tipo molde enriquecido con harina de avena y algarroba, detallados a continuación:

### 3.10.1 Análisis fisicoquímico del pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba

Para el análisis fisicoquímico del pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba, se tomó en cuenta los parámetros y métodos detallados en la tabla 3.9.

**Tabla 3.9**

*Análisis fisicoquímico de pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba*

Parámetros	Método	Unidad
Ceniza	NB 39034:10	%
Fibra	Gravimétrico	%
Grasa	NB 313019:06	%
Hidratos de carbono	Calculo	%
Humedad	NB 313010:05	%
Proteína total (Nx6,25)	NB/ISO 8968-1:08	%
Valor energético	Calculo	Kcal/100 g

**Fuente:** CEANID, 2021

### 3.10.2 Análisis microbiológico del pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba

Para el análisis microbiológico del pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba, se tomó en cuenta los parámetros y métodos detallados en la tabla 3.10.

**Tabla 3.10**

*Análisis microbiológico de pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba*

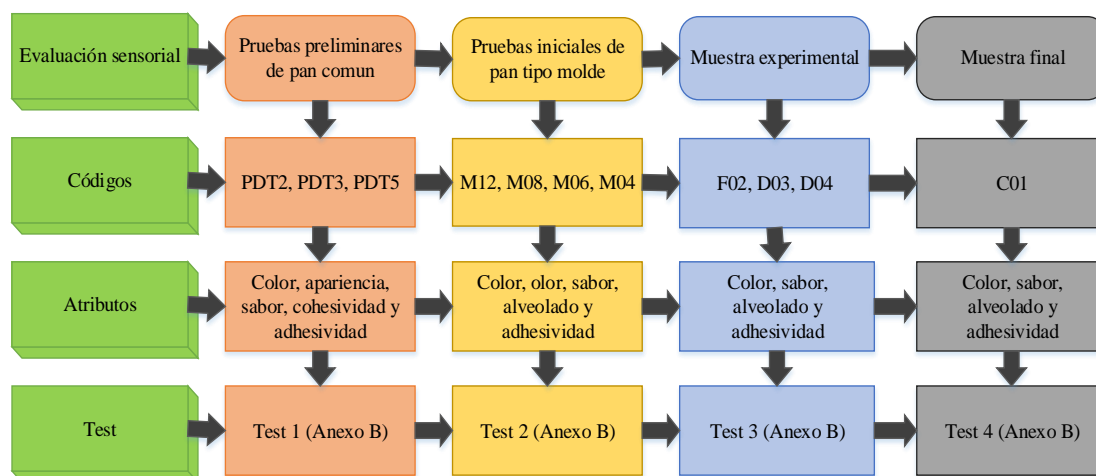
Parámetros	Método	Unidad
Bacterias aerobias mesófilos	NB 32003:05	UFC/g
Mohos y levaduras	NB 32006:03	UFC/g
Staphylococcus aureus	NB 32004:02	UFC/g

**Fuente:** CEANID, 2021

### 3.11 Análisis sensorial de los alimentos

La valoración sensorial es una función que las personas realizan desde la infancia, y que de manera consciente o inconsciente les lleva a aceptar o rechazar los alimentos de acuerdo a las sensaciones que experimentan al observarlos o ingerirlos. Sin embargo, las sensaciones que provocan el rechazo o aceptación pueden variar con el tiempo y el momento en el que estos son percibidos, ya que dependen tanto de la persona como del entorno, siendo esta la dificultad de que; con determinaciones de valor subjetivo, se pueda llegar a tener datos objetivos y fiables para evaluar la aceptación o rechazo de un producto alimentario (Sancho, Bota, de Castro, 1999).

En la figura 3.10, se detallan las evaluaciones sensoriales realizadas en el presente trabajo de investigación.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.10.** Evaluaciones sensoriales de pan tipo molde enriquecido con harina de avena y algarroba

### 3.12 Diseño experimental

El diseño de un experimento es la secuencia completa de pasos que se deben tomar de antemano, para planear y asegurar la obtención de toda la información relevante y adecuada al problema de investigación, la cual será analizada estadísticamente para

obtener conclusiones válidas y objetivas con respecto a los objetivos planteados. (Uday, 2017)

### 3.12.1 Diseño factorial $2^3$

El diseño factorial  $2^3$  es un diseño de 3 factores, cada uno con 2 niveles y consta de 8 combinaciones. Geométricamente el diseño es un cubo, cuyas esquinas son las 8 combinaciones. Este diseño permite estimar los 3 efectos principales (A, B, y C), las tres interacciones de dos factores (AB, AC, BC) y la interacción de los tres factores (ABC). (Gonzales, 2015)

El diseño factorial utilizado en el presente trabajo de investigación se detalla en la (Ecuación 3.1):

$$2^k \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

Donde:

2 = Número de niveles

k = Número de factores

Según (Gutiérrez & De la Vara, 2018), un modelo de regresión permite expresar los resultados de una variable respuesta en función de las variables independientes de forma matemática. En la ecuación 3.2, se describe el modelo de regresión a ser aplicado:

$$y = \beta_0 + \beta_A X_A + \beta_B X_B + \beta_C X_C - \beta_{AB} X_A X_B - \beta_{AC} X_A X_C - \beta_{BC} X_B X_C + \beta_{ABC} X_A X_B X_C \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

**Donde:**

$\beta$  = coeficientes de regresión

$X_A, X_B, X_C$  = Valor codificado del factor de diseño



### 3.12.1.1 Diseño factorial $2^3$ en la etapa de dosificación para la elaboración de pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba

El diseño experimental en la etapa de dosificación para la elaboración de pan molde, se aplicó de acuerdo a la ecuación 3.3:

$$2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8 \text{ corridas/prueba} \quad (\text{Ecuación 3.3})$$

Para tal efecto, las variables propuestas y sus niveles de variación son los siguientes:

A = Harina de avena (%) (A) = 2 niveles  
 B = Harina de algarroba (%) (B) = 2 niveles  
 C = Agua (%) (C) = 2 niveles

En la tabla 3.11, se muestra la matriz del diseño factorial aplicado en la etapa de dosificación para la elaboración de pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba, conformado por tres variables: harina de avena (A), harina de algarroba (B), agua (C).

**Tabla 3.11**

*Matriz de diseño factorial aplicado en la etapa de dosificación para elaboración de pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba*

Combinación de tratamientos	Variables			Interacciones				Variable respuesta	
	A	B	C	AB	AC	BC	ABC	$Y_{i1}$	$Y_{i2}$
(1)	-	-	-	+	+	+	-	$Y_1$	$Y_1$
A	+	-	-	-	-	+	+	$Y_2$	$Y_2$
B	-	+	-	-	+	-	+	$Y_3$	$Y_3$
Ab	+	+	-	+	-	-	-	$Y_4$	$Y_4$
C	-	-	+	+	-	-	+	$Y_5$	$Y_5$
Ac	+	-	+	-	+	-	-	$Y_6$	$Y_6$
Bc	-	+	+	-	-	+	-	$Y_7$	$Y_7$
Abc	+	+	+	+	+	+	+	$Y_8$	$Y_8$

Fuente: Elaboración propia

Dónde:

$Y_i$  = pH del pan molde

$Y_i$  = porcentaje de acidez (ácido láctico) del pan molde

$Y_i$  = contenido de humedad en el pan molde

En la tabla 3.12, se muestran los niveles de variación de los factores (nivel alto y nivel bajo), a ser aplicado en la etapa de dosificación conformado por tres variables: harina de avena (A), harina de algarroba (B), agua (C).

**Tabla 3.12**

*Niveles de variación de los factores en la etapa de dosificación*

Variables	Unidad	Nivel alto	Nivel bajo
Porcentaje de harina de avena (A)	%	4	2
Porcentaje de harina de algarroba (B)	%	4	2
Porcentaje de agua (C)	%	30	28

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.12.2 Diseño factorial 2<sup>2</sup>

El diseño consta de dos factores: el factor A y el factor B, ambos factores tienen dos niveles: el nivel (-) y el nivel (+). En la notación 2<sup>2</sup>, el exponente indica el número de factores mientras que la base indica los niveles de cada factor. (Sánchez, 2014)

El diseño factorial utilizado en el presente trabajo de investigación se detalla en la ecuación 3.4:

$$2^2 \quad (\text{Ecuación 3.4})$$

Donde:

2 = Número de niveles

2 = Número de factores

Según (Gutiérrez & De la Vara, 2018), el modelo de regresión simple también permite expresar el resultado de un diseño experimental de forma matemática. En la ecuación 3.5, se describe el modelo de regresión a ser aplicado:

$$y = \beta_0 + \beta_A X_A - \beta_B X_B + \beta_{AB} X_A X_B \quad (\text{Ecuación 3.5})$$

Donde:

$\beta$  = coeficientes de regresión

$X_A$  y  $X_B$  = Valor codificado del factor de diseño

### 3.12.2.1 Diseño factorial $2^2$ en la etapa de horneado para la elaboración de pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba

El diseño experimental en la etapa de horneado en la elaboración de pan molde, se aplicó de acuerdo a la ecuación 3.6:

$$2^2 = 2 \times 2 = 4 \text{ corridas/prueba} \quad (\text{Ecuación 3.6})$$

Para tal efecto, las variables propuestas y sus niveles de variación son los siguientes:

A = Tiempo de horneado (A) = 2 niveles  
 B = Temperatura de horneado (B) = 2 niveles

En la tabla 3.13, se muestra la matriz del diseño experimental a ser aplicado en la etapa de horneado del pan molde, conformado por dos variables: tiempo de horneado (A) y temperatura de horneado (B).

**Tabla 3.13**

*Matriz de variables para etapa de horneado del pan molde*

Combinación de tratamientos	Variables		Interacciones	Total	
	A	B	AB	Y <sub>i1</sub>	Y <sub>i2</sub>
(1)	-	-	+	Y <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub>
A	+	-	-	Y <sub>2</sub>	Y <sub>2</sub>
B	-	+	-	Y <sub>3</sub>	Y <sub>3</sub>
Ab	+	+	+	Y <sub>4</sub>	Y <sub>4</sub>

**Fuente:** Elaboración propia

Dónde:

Y<sub>i</sub> = Contenido de humedad del pan molde

En la tabla 3.14, se muestran los niveles de variación de los factores (nivel superior y nivel inferior), a ser aplicado en la etapa de horneado, conformado por dos variables: tiempo de horneado (A) y temperatura de horneado (B).

**Tabla 3.14**

*Matriz de niveles de variación para la etapa de horneado*

Variables	Unidad	Nivel alto	Nivel bajo
Tiempo de horneado (A)	minutos	55	49
Temperatura de horneado (B)	°C	165	155

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.13 Operacionalización de variables para la elaboración de pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba

Para el presente trabajo de investigación, se realizó la operacionalización de las variables dependiente e independiente (cuadro 3.1), en base a el proceso llevado a cabo para obtener el producto final.

**Cuadro 3.1.** Operacionalización de variables para la elaboración de pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba

Hipótesis	Variable	Descripción de variable	Subvariables	Indicadores	
La aplicación de la metodología experimental de proceso de panificación, permitirá obtener pan tipo molde enriquecido con harina de avena y algarroba de calidad nutricional, para la población de la ciudad de Tarija.	I N D E P E N D I E N T E	Proceso de panificación	Las operaciones que se utilizan para el proceso de panificación son secuenciales y sencillas, pero se deben tener en cuenta las características específicas que se involucran en la obtención de un producto panificado (Ávila et al., 2017).	Dosificación	(%)
				Horneado	°C
	D E P E N D I E N T E	El pan molde o pan americano, es el pan de corteza blanda en la que se emplean moldes para su cocción y horneado, posee buena conservación y puede ser adecuado de diferentes maneras para su consumo (Mesas y Alegre, 2002).	Humedad		(%)
			Hidratos de carbono	(%)	
			Proteínas	(%)	
			Grasas	(%)	
			Fibra	(%)	
			Valor energético	(kcal/100g)	
			Mohos y levaduras	(UFC/g)	
			Staphylococcus aureus	(UFC/g)	
Bacterias aerobias mesófilas	(UFC/g)				

**Fuente:** Elaboración propia

**CAPITULO IV**

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## 4.1 Caracterización de las harinas de trigo, avena y algarroba

En la caracterización de las harinas de trigo, avena y algarroba, se tomaron en cuenta los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las harinas, los cuales se detallan a continuación:

### 4.1.1 Análisis fisicoquímico de la harina de trigo

En la tabla 4.1, se detallan los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la harina de trigo de datos extraídos (Anexo A).

**Tabla 4.1**

*Análisis fisicoquímico de harina de trigo*

Parámetros	Unidad	Resultado
Ceniza	%	0,80
Fibra	%	0,00
Gluten húmedo	%	31,97
Grasa	%	02,39
Hidratos de carbono	%	73,33
Humedad	%	10,62
Proteína total (Nx5,83)	%	12,86
Valor energético	Kcal/100 g	366,27

**Fuente:** CEANID, 2021

En la tabla 4.1, se puede observar los resultados del análisis fisicoquímico de la harina de trigo, que presenta: ceniza 0,80%, fibra 0,00%, gluten húmedo 31,97%, grasa 02,39%, hidratos de carbono 73,33%, humedad 10,62%, proteína total (Nx5,83) 12,86%, y valor energético 366,27 Kcal/100 g.

### 4.1.2 Análisis microbiológico de la harina de trigo

En la tabla 4.2, se detallan los resultados obtenidos del análisis microbiológico de la harina de trigo de datos extraídos (Anexo A).

**Tabla 4.2***Análisis microbiológico de harina de trigo*

Microorganismos	Unidad	Resultado
Bacterias aerobias mesófilos	UFC/g	$9,0 \times 10^3$
Mohos y levaduras	UFC/g	$2,0 \times 10^2$

**Fuente:** CEANID, 2021

En la tabla 4.2, se puede observar los resultados del análisis microbiológico de la harina de trigo que presenta: bacterias aerobias mesófilos  $9,0 \times 10^3$  UFC/g, mohos y levaduras  $2,0 \times 10^2$  UFC/g.

**4.1.3 Análisis fisicoquímico de la harina de avena**

En la tabla 4.3, se detallan los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la harina de avena de datos extraídos (Anexo A).

**Tabla 4.3***Análisis fisicoquímico de harina de avena*

Parámetros	Unidad	Resultado
Ceniza	%	01,34
Fibra	%	0,00
Gluten húmedo	%	0,00
Grasa	%	02,77
Hidratos de carbono	%	78,28
Humedad	%	09,33
Proteína total (Nx5,83)	%	08,28
Valor energético	Kcal/100 g	371,17

**Fuente:** CEANID, 2021

En la tabla 4.3, se puede observar los resultados del análisis fisicoquímico de la harina de avena que presenta: ceniza 01,34%, fibra 0,00%, gluten húmedo 0,00%, grasa 02,77%, hidratos de carbono 78,28%, humedad 09,33%, proteína total (Nx5,83) 08,28%, y valor energético 371,17 Kcal/100 g.

**4.1.4 Análisis microbiológico de la harina de avena**

En la tabla 4.4, se detallan los resultados obtenidos del análisis microbiológico de la harina de avena de datos extraídos (Anexo A).

**Tabla 4.4***Análisis microbiológico de harina de avena*

Microorganismos	Unidad	Resultado
Bacterias aerobias mesófilos	UFC/g	$2,1 \times 10^4$
Mohos y levaduras	UFC/g	$1,3 \times 10^2$

**Fuente:** CEANID, 2021

En la tabla 4.4, se puede observar los resultados del análisis microbiológico de la harina de avena que presenta: bacterias aerobias mesófilos  $2,1 \times 10^4$  UFC/g, mohos y levaduras  $1,3 \times 10^2$  UFC/g.

**4.1.5 Análisis fisicoquímico de la harina de algarroba**

En la tabla 4.5, se detallan los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la harina de algarroba de datos extraídos (Anexo A).

**Tabla 4.5***Análisis fisicoquímico de harina de algarroba*

Parámetros	Unidad	Resultado
Ceniza	%	3,71
Fibra	%	0,12
Gluten húmedo	%	0,00
Grasa	%	01,61
Hidratos de carbono	%	78,28
Humedad	%	06,19
Proteína total (Nx6,25)	%	10,13
Valor energético	Kcal/100 g	367,97

**Fuente:** CEANID, 2021

En la tabla 4.5, se puede observar los resultados del análisis fisicoquímico de la harina de algarroba que presenta: ceniza 3,71%, fibra 0,12%, gluten húmedo 0,00%, grasa 01,61%, hidratos de carbono 78,28%, humedad 06,19%, proteína total (Nx6,25) 10,13% y valor energético 367,97 Kcal/100 g.

**4.1.6 Análisis microbiológico de la harina de algarroba**

En la tabla 4.6, se detallan los resultados obtenidos del análisis microbiológico de la harina de algarroba de datos extraídos (Anexo A).



**Tabla 4.6***Análisis microbiológico de harina de algarroba*

Microorganismos	Unidad	Resultado
Bacterias aerobias mesófilos	UFC/g	$1,0 \times 10^3$
Mohos y levaduras	UFC/g	$2,2 \times 10^2$

**Fuente:** CEANID, 2021

En la tabla 4.6, se observa los resultados del análisis microbiológico de la harina de algarroba que presenta: bacterias aerobias mesófilos  $1,0 \times 10^3$  UFC/g, mohos y levaduras  $2,2 \times 10^2$  UFC/g.

## 4.2 Caracterización de las variables de proceso de elaboración de pan molde

Para la caracterización de las variables de proceso en la elaboración de pan tipo molde, se tomaron en cuenta pruebas preliminares de elaboración de pan común con el fin de obtener la metodología para elaborar el pan tipo molde.

### 4.2.1 Pruebas preliminares para la elaboración de pan común

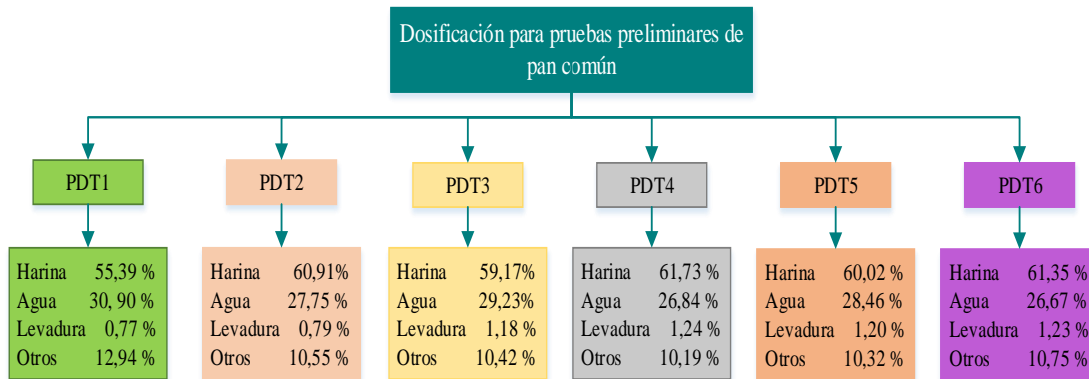
Para el presente trabajo de investigación, se tomaron en cuenta la elaboración de pan común (Morales, 2020); con la finalidad de obtener la metodología experimental. Para lo cual, se partieron de seis pruebas preliminares utilizando como base harina de trigo, levadura y agua; variando los porcentajes de cada uno de ellos en función a la tabla 4.7.

**Tabla 4.7***Variación de dosificación para la elaboración de pan común*

Materia prima/insumos	Rango	Unidad
Harina de trigo	55, 39 – 61, 73	%
Levadura	0,77 – 1, 24	%
Agua	26, 67 – 30, 90	%
Otros	10, 19 – 12, 94	%

**Fuente:** Morales, 2020

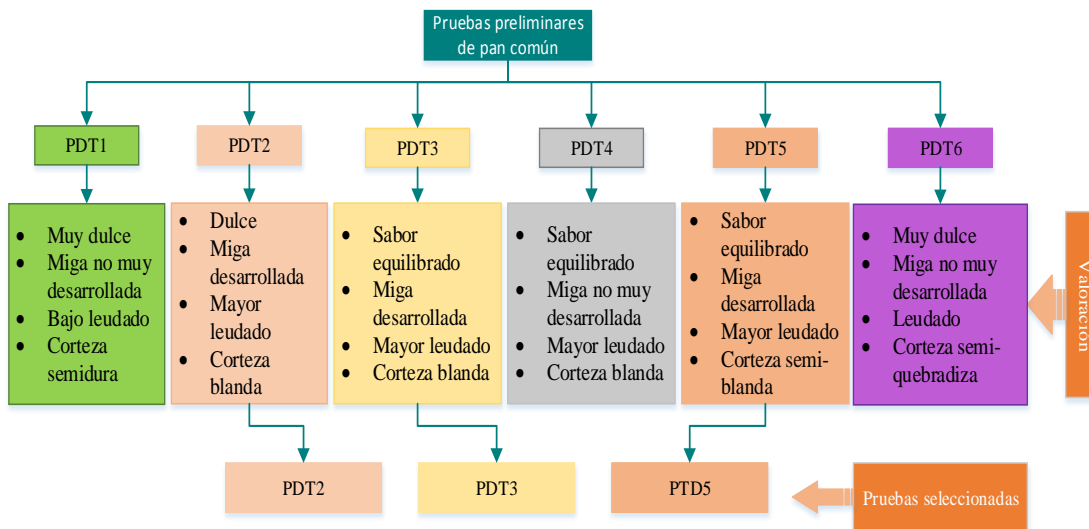
En la figura 4.1, se muestran las seis muestras de pan tipo común elaborados de acuerdo a los rangos de dosificación de la tabla 4.7.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.1** Dosificación para pruebas preliminares de pan común

Por motivo de pandemia Covid-19 las seis muestras de pan común elaboradas fueron evaluadas de manera subjetiva por el personal del Laboratorio Taller de Alimentos, la valoración se muestra en la figura 4.2.



**Fuente:** Elaboración propia

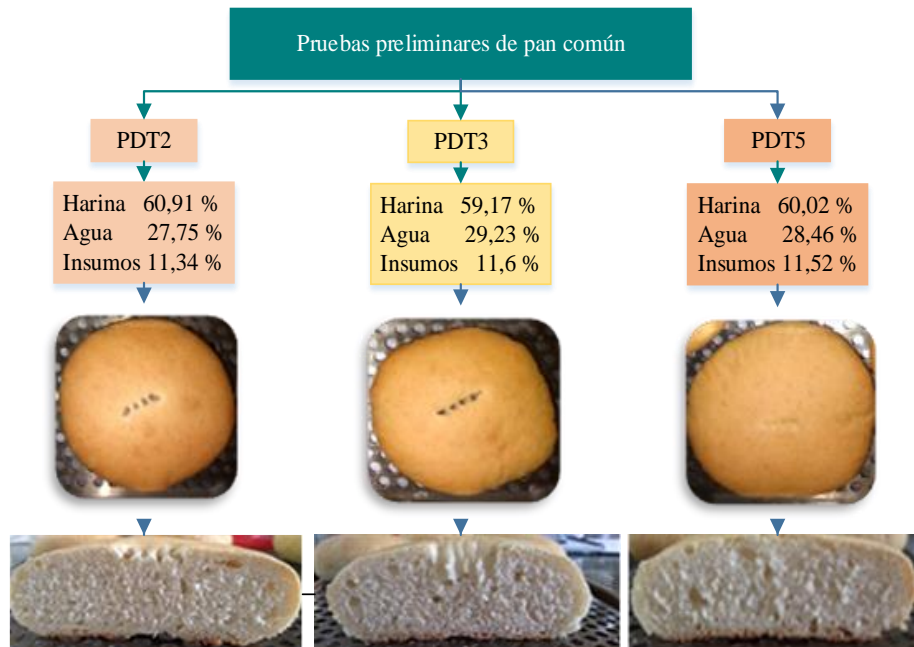
**Figura 4.2** Pruebas preliminares de pan común

Según la figura 4.2, en base a la valoración realizada por el personal del Laboratorio Taller de Alimentos, se pudo observar que las muestras de pan común (PDT2, PDT3 y PDT5) que fueron las de mayor preferencia por presentar sabor equilibrado, corteza blanda, textura esponjosa y buen leudado (levantamiento de la masa); en comparación con las muestras PDT1, PDT4 y PDT6, que presentaron sabor dulce, cortezas semi-

duras, cortezas semi-quebradizas y migas no muy desarrolladas (levantamiento de la masa).

#### 4.2.1.1 Selección final de muestra preliminar de pan común

En base a las tres muestras valoradas subjetivamente (figura 4.2), se procedió a elaborar nuevamente las tres muestras (PDT2, PDT3 y PDT5) tomando en cuenta la dosificación de la figura 4.1, con el fin de obtener una muestra preliminar final de pan común. En base a las muestras de la figura 4.3 se procedió a realizar una evaluación sensorial con escala hedónica de cinco puntos en la que se valoraron los atributos; color, apariencia, sabor, adhesividad y cohesividad.

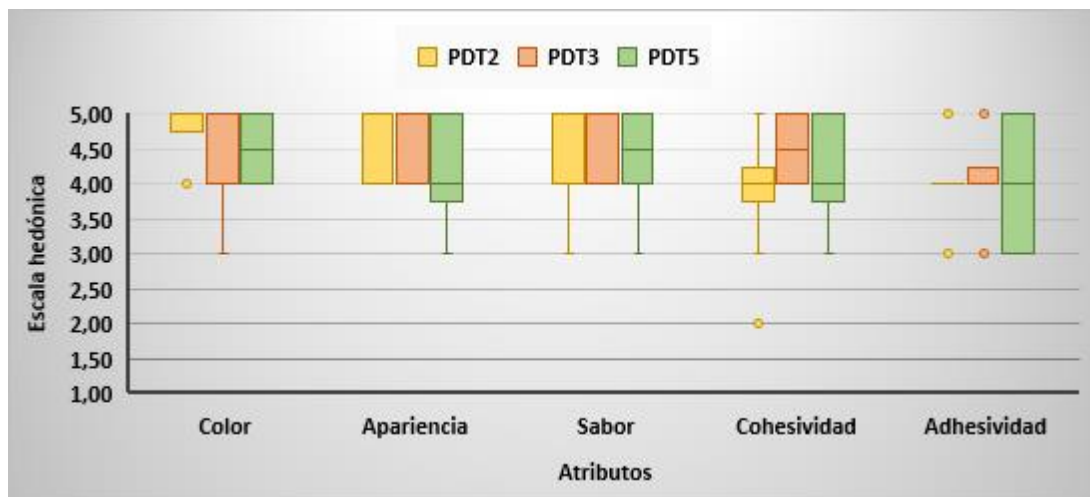


**Fuente:** Morales, 2020

**Figura 4.3.** Pruebas preliminares finales de pan común

##### 4.2.1.1.1 Estadístico de caja y bigote para pruebas preliminares finales de pan común

En la figura 4.4, se muestra el estadístico de caja y bigote de datos extraídos del Anexo C, para los atributos: color (tabla C.2), apariencia (tabla C.3), sabor (tabla C.4), cohesividad (tabla C.5) y adhesividad (tabla C.6).



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.4.** Caja y Bigote para pruebas preliminares final de pan común

Según la figura 4.4, se puede observar que los resultados de las medianas en función de los atributos de las muestras evaluadas son; color 5,0 (PDT2); sabor 4,5 (PDT5); apariencia 4,0 (PDT3); adhesividad 4,0 (PDT2) y cohesividad 4,0 (PDT3). Así mismo, realizado el análisis estadístico de varianza no existe diferencia significativa entre los atributos de las muestras evaluadas para un nivel de confianza  $\alpha=0,05$ .

Realizado las pruebas preliminares de pan común, según la preferencia de los jueces por la muestra PDT3, en base a su dosificación y parámetros de proceso (tabla 4.8) se tomó en cuenta la muestra (PDT3) como preliminar final.

**Tabla 4.8**

***Dosificación y parámetros de proceso de muestra preliminar final***

Materia prima/insumos	Dosificación (%)	Parámetros de proceso	
Harina	59,17	Tiempo de mezclado	4 minutos
Agua	29,23	Tiempo de amasado	20 minutos
Levadura	1,18	Temperatura de fermentación	30°C
Otros	10,42	Tiempo de fermentación	40 minutos
		Tiempo de horneado	12 minutos
		Temperatura de horneado	200°C

**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.2.2 Incorporación de harina de avena y algarroba en la muestra preliminar

A nivel experimental, se procedió a realizar la incorporación de harina de algarroba y harina de avena en la formulación de pan tipo común en base a la muestra elegida por los jueces (PDT3) de la figura 4.3; con la finalidad de establecer el porcentaje máximo y mínimo que podría ser incorporada en dicha formulación. Para tal efecto, se tomó en cuenta la variación en la dosificación del pan tipo común, según la tabla 4.9.

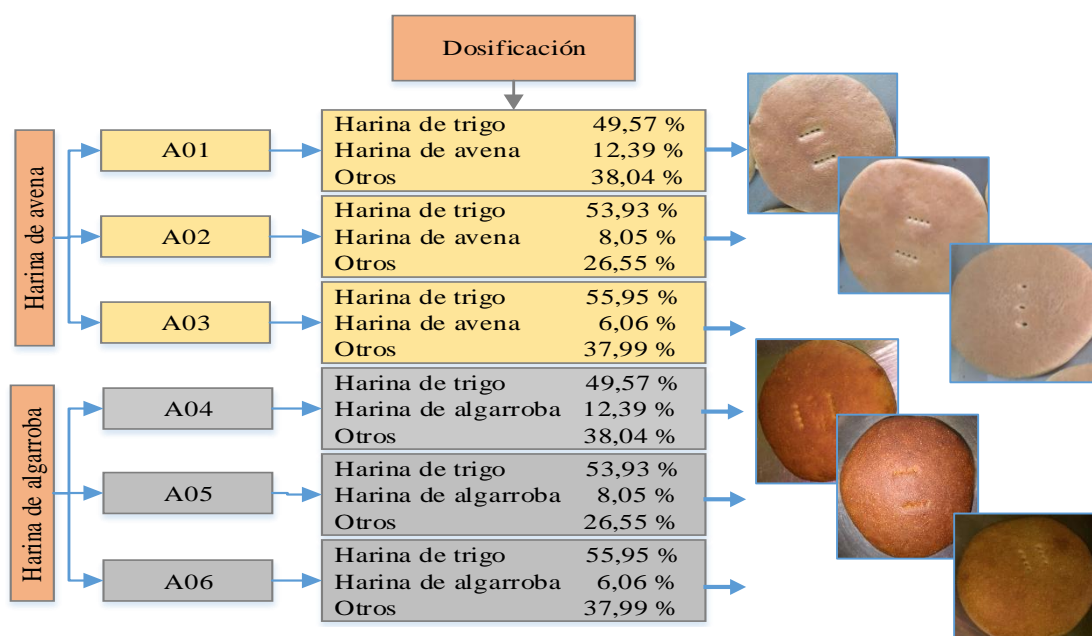
**Tabla 4.9**

*Variación en la dosificación de harina de avena y algarroba en pan común*

Harinas	Rango	Unidad
Trigo	55,95 – 49,57	%
Avena	6,06 – 12,39	%
Algarroba	6,06 – 12,39	%

**Fuente:** Elaboración propia

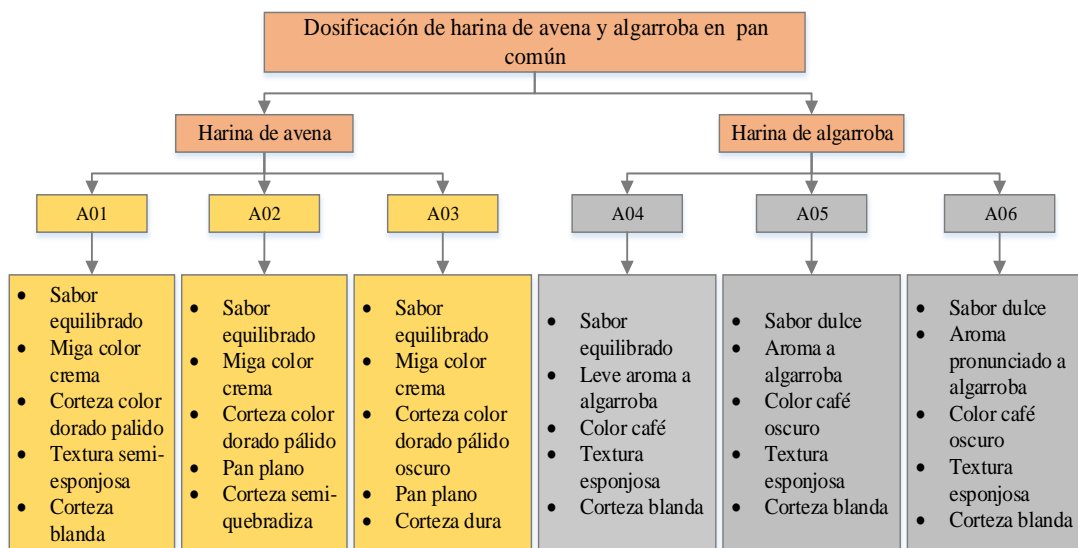
En base a los datos de la tabla 4.9, se elaboraron seis muestras de pan tipo común (figura 4.5), variando los porcentajes de harina de avena y algarroba en la dosificación.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.5.** Porcentajes en la variación de las harinas de avena y algarroba en pan común

En base a la figura 4.5, las seis muestras de pan común elaboradas con harina de avena y algarroba fueron evaluadas de manera subjetiva por el personal del Laboratorio Taller de Alimentos; ya que por efecto de pandemia Covid-19 no se pudieron realizar la evaluación sensorial de las muestras detalladas en la figura 4.6.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.6.** Dosificación de harina avena y algarroba en pan común

Según la figura 4.6 de la valoración realizada por el personal del Laboratorio Taller de Alimentos, se pudo observar que la muestra con harina de avena A01 (6,06%) fue la de mayor preferencia por no presentar corteza dura y agrietada; en comparación con las muestras A02 (8,05%) y A03 (12,39%), que presentaron cortezas duras, agrietadas, y miga no muy desarrolladas (levantamiento de la masa). Así mismo, se pudo observar que la muestra con harina de algarroba A04 (6,06%) fue la de mayor preferencia por no presentar aroma y sabor residual muy pronunciado a algarroba; en comparación con las muestras A05 (8,05%) y A06 (12,39%), que presentaron sabor, aroma residual muy acentuado a algarroba y color excesivamente oscuro por la presencia de porcentaje alto de harina de algarroba.

### 4.2.3 Pruebas iniciales para la elaboración de pan molde

Para realizar las pruebas iniciales de pan molde, se tomaron en cuenta en base a la muestra A01 (6,06% harina de avena) y muestra A04 (6,06 % harina de algarroba) figura 4.5, se procedió a elaborar una mezcla de harinas (avena y algarroba) variando los porcentajes en la dosificación, con la finalidad de enriquecer la masa de panificación; sustituyendo de forma parcial el porcentaje de la harina de trigo en función de la tabla 4,10.

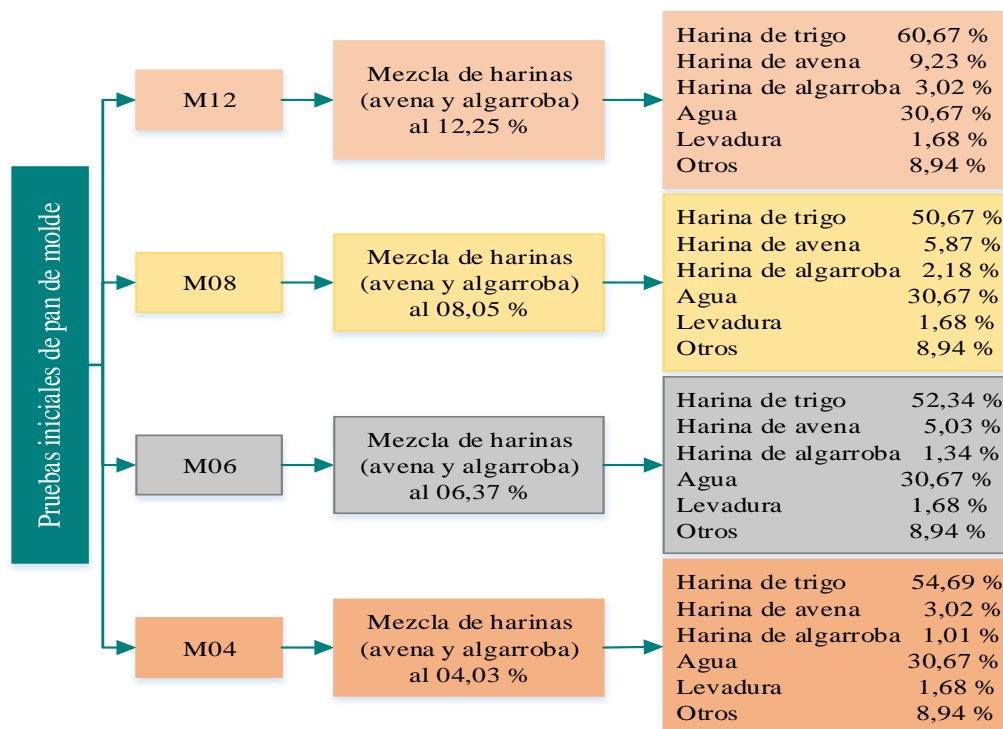
**Tabla 4.10**

*Variación en la dosificación de harinas de avena y algarroba en pan de molde*

Harinas	Rango	Unidad
Trigo	54,69 – 60,67	%
Avena	3, 02 – 9,23	%
Algarroba	1, 01 – 3,02	%

**Fuente:** Elaboración propia

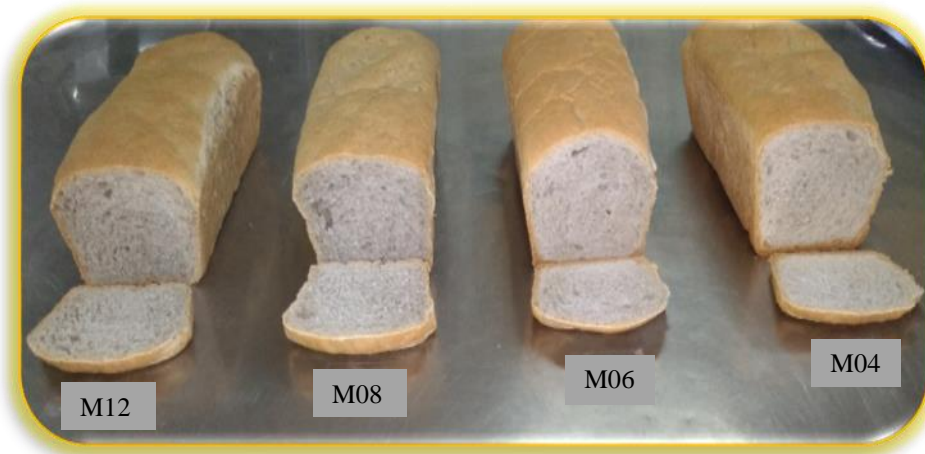
En la figura 4.7, se muestran las cuatro muestras iniciales de pan molde elaboradas en función a los porcentajes de dosificación según la tabla 4.10.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.7.** Pruebas iniciales de pan molde

En base a las muestras de la figura 4.7 se procedió a realizar una evaluación sensorial con escala hedónica de siete puntos en la que se valoraron los atributos; color, olor, sabor, alveolado y adhesividad. En la figura 4.8, se muestra las pruebas iniciales de pan molde evaluadas sensorialmente.

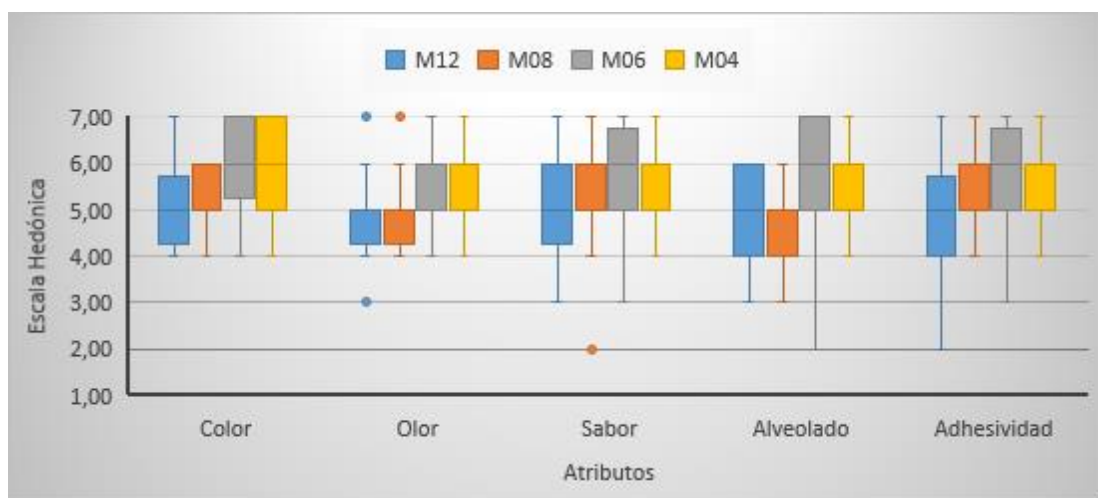


**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.8.** Pruebas iniciales de pan molde evaluadas sensorialmente

#### 4.2.3.1 Estadístico de caja y bigote para las pruebas iniciales de pan molde

En la figura 4.8, se muestran los estadísticos de caja y bigote de datos extraídos del Anexo C, para el atributo: color (tabla C.13), olor (tabla C.17), sabor (tabla C.21), alveolado (tabla C.23) y adhesividad (tabla C.27).



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura: 4.9.** Caja y Bigote para las pruebas iniciales de pan de molde



Según la figura 4.9, se puede observar que los resultados de las medianas en función de los atributos de las muestras evaluadas son: color 6,0 (M06), olor 6,0 (M04 y M06), sabor 6,0 (M04), alveolado 6,0 (M04) y adhesividad 6,0 (M04). Así mismo, realizado el análisis estadístico de varianza se pudo evidenciar que existe diferencia significativa entre los atributos de las muestras evaluadas para un nivel de confianza  $\alpha = 0,05$ .

#### 4.2.3.1.1 Estadístico de Tukey para atributo color de pruebas iniciales de pan molde

En la tabla 4.11, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo color de datos extraídos de Anexo C (tabla C.16).

**Tabla 4.11**

*Estadístico de Tukey para atributo color de pruebas iniciales de pan molde*

Tratamiento	Diferencia	DMS	Significancia
M04-M06	5,94 - 5,94	0,00 < 0,75	No hay significancia
M04-M08	5,94 - 5,17	0,77 > 0,75	Si hay significancia
M04-M12	5,94 - 5,11	0,83 > 0,75	Si hay significancia
M06-M08	5,94 - 5,17	0,77 > 0,75	Si hay significancia
M06-M12	5,94 - 5,11	0,83 > 0,75	Si hay significancia
M08-M12	5,17 - 5,11	0,06 < 0,75	No hay significancia

**Fuente:** Elaboración propia

Según la tabla 4.11, se puede observar que existe diferencia significativa entre los tratamientos (M04-M08), (M04-M12), (M06-M08) y (M06-M12). Sin embargo, para los tratamientos (M04-M06) y (M08-M12); no existe diferencia significativa para un nivel de confianza  $\alpha = 0,05$ .

#### 4.2.3.1.2 Estadístico de Tukey para atributo olor de pruebas iniciales de pan molde

En la tabla 4.12, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo olor de datos extraídos de Anexo C (tabla C.20).

**Tabla 4.12*****Estadístico de Tukey para atributo olor de pruebas iniciales de pan molde***

Tratamiento	Diferencia	DMS	Significancia
M04-M06	5,72 - 5,61	0,11 < 0,59	No hay significancia
M04-M08	5,72 - 5,00	0,72 > 0,58	Si hay significancia
M04-M12	5,72 - 4,83	0,89 > 0,59	Si hay significancia
M06-M08	5,61 - 5,00	0,61 > 0,59	Si hay significancia
M06-M12	5,61 - 4,83	0,78 > 0,59	Si hay significancia
M08-M12	5,00 - 4,83	0,17 < 0,59	No hay significancia

**Fuente:** Elaboración propia

Según la tabla 4.12, se puede observar que existe diferencia significativa entre los tratamientos (M04-M08), (M04-M12), (M06-M08) y (M06-M12). Sin embargo, para los tratamientos (M04-M06) y (M08-M12); no existe diferencia significativa para un nivel de confianza  $\alpha = 0,05$ .

#### **4.2.3.1.3 Estadístico de Tukey para atributo sabor de pruebas iniciales de pan molde**

En la tabla 4.13, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo sabor de datos extraídos de Anexo C (tabla C.24).

**Tabla 4.13*****Estadístico de Tukey para atributo sabor de pruebas iniciales de pan molde***

Tratamiento	Diferencia	DMS	Significancia
M04-M06	5,72 - 5,72	0,00 < 0,06	No hay significancia
M04-M08	5,72 - 5,17	0,55 > 0,06	Si hay significancia
M04-M12	5,72 - 5,11	0,61 > 0,06	Si hay significancia
M06-M08	5,72 - 5,17	0,55 > 0,06	Si hay significancia
M06-M12	5,72 - 5,11	0,61 > 0,06	Si hay significancia
M08-M12	5,17 - 5,11	0,06 $\leq$ 0,06	No hay significancia

**Fuente:** Elaboración propia

Según la tabla 4.13, se puede observar que existe diferencia significativa entre los tratamientos (M04-M08), (M04-M12), (M06-M08) y (M06-M12). Sin embargo, para los tratamientos (M04-M06) y (M08-M12); no existe diferencia significativa para un nivel de confianza  $\alpha = 0,05$ .

#### 4.2.3.1.4 Estadístico de Tukey para atributo alveolado de pruebas iniciales de pan molde

En la tabla 4.14, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo alveolado de datos extraídos de Anexo C (tabla C.28).

**Tabla 4.14**

*Estadístico de Tukey para atributo alveolado de pruebas iniciales de pan molde*

Tratamiento	Diferencia	DMS	Significancia
M06-M04	5,78 - 5,72	0,06 < 0,66	No hay significancia
M06-M12	5,78 - 4,89	0,89 > 0,66	Si hay significancia
M06-M08	5,78 - 4,56	1,22 > 0,66	Si hay significancia
M04-M12	5,72 - 4,89	0,83 > 0,66	Si hay significancia
M04-M08	5,72 - 4,56	1,16 > 0,66	Si hay significancia
M12-M08	4,89 - 4,56	0,33 < 0,66	No hay significancia

**Fuente:** Elaboración propia

Según la tabla 4.14, se puede observar que existe diferencia significativa entre los tratamientos (M06-M12), (M06-M08), (M04-M12) y (M04-M08). Sin embargo, para los tratamientos (M06-M04) y (M12-M08); no existe diferencia significativa para un nivel de confianza  $\alpha = 0,05$ .

#### 4.2.3.1.5 Estadístico de Tukey para atributo adhesividad de las pruebas iniciales de pan de molde

En la tabla 4.15, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo adhesividad de datos extraídos de Anexo C (tabla C.32).

**Tabla 4.15**

*Estadístico de Tukey para atributo adhesividad de pruebas iniciales de pan molde*

Tratamiento	Diferencia	DMS	Significancia
M04-M06	5,83 - 5,67	0,16 < 0,57	No hay significancia
M04-M08	5,83 - 5,11	0,72 > 0,57	Si hay significancia
M04-M12	5,83 - 4,83	1,00 > 0,57	Si hay significancia
M06-M08	5,67 - 5,11	0,56 < 0,57	No hay significancia
M06-M12	5,67 - 4,83	0,84 > 0,57	Si hay significancia
M08-M12	5,11 - 4,83	0,28 < 0,57	No hay significancia

**Fuente:** Elaboración propia

Según la 4.15, se puede observar que existe diferencia significativa entre los tratamientos (M04-M08), (M04-M12) y (M06-M12). Sin embargo, para los tratamientos (M04-M06), (M08-M12), y (M06-M08); no existe diferencia significativa para un nivel de confianza  $\alpha = 0,05$ .

De acuerdo a la evaluación sensorial realizada para los atributos sensoriales de las pruebas iniciales de pan molde según el análisis estadístico de varianza para un nivel de confianza  $\alpha = 0,05$ , se pudo observar que los jueces eligieron la prueba M06 (06,37% mezcla de harinas) y M04 (04,03% mezcla de harinas) por no presentar adhesividad densa (masticabilidad), color, olor y sabor no tan acentuado a algarroba.

Así mismo, se pudo observar que durante el proceso de elaboración de la prueba M06 presentó una masa de panificación más pesada y endurecimiento más rápido a diferencia de la prueba M04 que presentó masa más liviana y endurecimiento más lento. Sin embargo, se tomó la prueba M06 por presentar mayor porcentaje de harinas (avena y algarroba), con el fin de obtener un pan molde enriquecido.

#### **4.2.3.2 Control de pH, acidez y humedad en las pruebas iniciales de pan molde**

Para determinar pH, acidez y contenido de humedad en las pruebas iniciales de pan molde se tomaron en cuenta las cuatro muestras M04, M06, M08 y M12, realizando el control en la masa de panificación, masa fermentada y en pan molde, con la finalidad de complementar los parámetros de la evaluación sensorial.

##### **4.2.3.2.1 Control de contenido de humedad en muestras de pan molde**

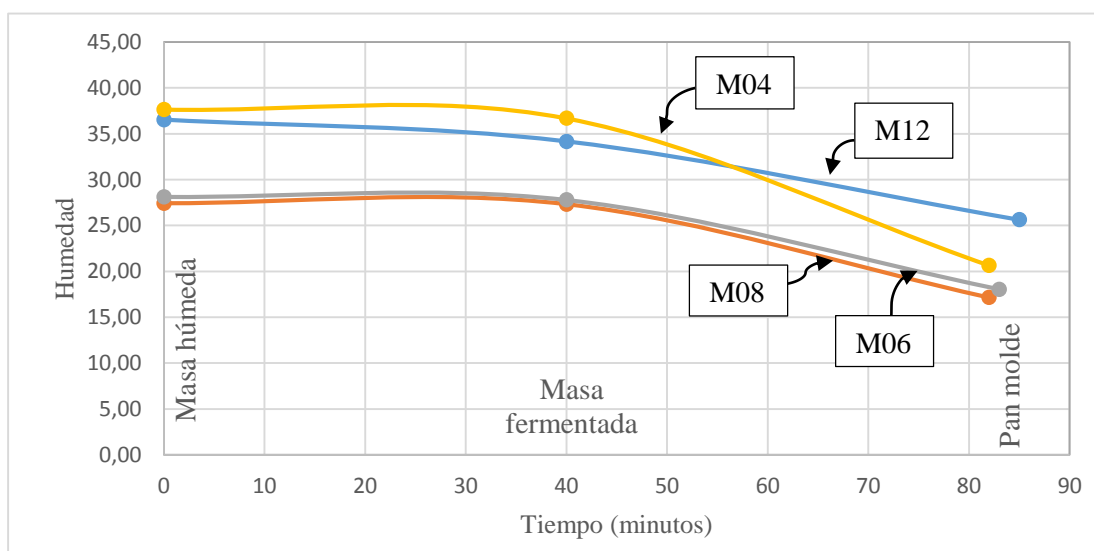
En la tabla 4.16, se muestran los resultados obtenidos de contenido de humedad de las muestras elaboradas de pan molde utilizando el método de la termobalanza detallada en el Anexo E.

**Tabla 4.16****Variación de contenido de humedad en muestras de pan molde**

Control	Muestras							
	M04		M06		M08		M12	
	Tiempo (minuto)	Humedad (%)	Tiempo (minuto)	Humedad (%)	Tiempo (minuto)	Humedad (%)	Tiempo (minuto)	Humedad (%)
Masa húmeda	0	37,65	0	28,12	0	27,42	0	36,53
Masa fermentada	40	36,69	40	27,79	40	27,32	40	34,12
Pan molde	82	20,65	83	18,05	82	17,16	85	25,63

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.10, se muestran los resultados del contenido de humedad en base seca de las muestras realizadas en base a la tabla 4.16.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.10.** Control de contenido de humedad en muestras de pan molde

Según la figura 4.8, se puede observar que la masa húmeda de las muestras M06 (28,12%) y M08 (27,42 %) presentan mayor contenido de humedad; en comparación a M04 (37,65 %) y M12 (36,53 %) por la presencia de harina de avena y algarroba. Transcurrido el tiempo de fermentación de las masas (40 minutos), presenta un valor de 36,69 % (M04), 27,79 % (M06), 27,32 % (M08) y 34,12 % (M12). Finalizando el

proceso de elaboración de pan molde entre (42 - 45) minutos presentan un valor final de 20,65 % (M04), 18,05 % (M06), 17,16 % (M08) y 25,63 % (M12).

#### 4.2.4.2 Control de pH en muestras de pan molde

En la tabla 4.17, se muestran los resultados obtenidos de la variación de pH de las muestras elaboradas de pan molde, utilizando la técnica detallada en el Anexo D, para tal efecto, se realizó el procedimiento en duplicas y como resultado se obtuvo el promedio de los datos.

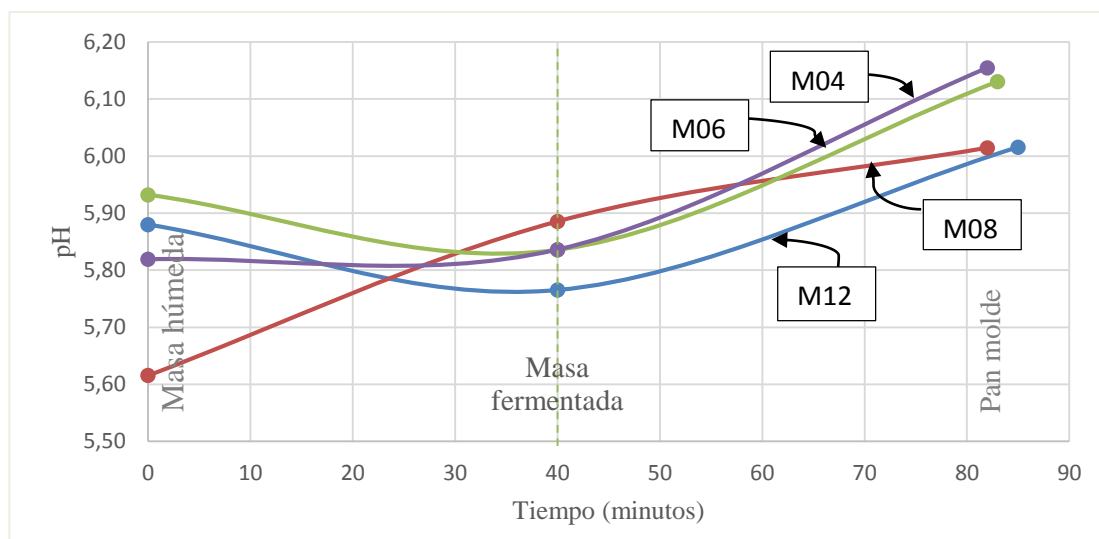
**Tabla 4.17**

#### *Variación de pH en muestras de pan molde*

Control	Muestras							
	M04		M06		M08		M12	
	Tiempo (minutos)	pH	Tiempo (minutos)	pH	Tiempo (minutos)	pH	Tiempo (minutos)	pH
Masa húmeda	0	5,82	0	5,93	0	5,62	0	5,88
Masa fermentada	40	5,84	40	5,84	40	5,89	40	5,77
Pan molde	82	6,15	83	6,13	82	6,01	85	6,02

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.11, se muestran los resultados de pH de las muestras realizadas en base a la tabla 4.17.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.11.** Control de pH en muestras de pan molde

Según la figura 4.11, se puede observar que el pH en la masa húmeda de las muestras M06 (5,93) y M12 (5,88) presentan un incremento en su valor; en comparación con las muestras M04 (5,82) y M08 (5,62). Transcurrido el tiempo de fermentación de las masas (40 minutos) el valor de pH para las muestras M12 (5,77), M06 (5,84), M08 (5,89) y M04 (5,84) desciende. Finalizando el proceso de elaboración de pan molde entre (42 - 25) minutos presentan incremento en el pH con valor final de 6,15 (M04), 6,13 (M06), 6,01 (M08) y 6,02 (M12).

#### 4.2.4.3 Control de acidez (ácido láctico) en muestras de pan molde

En la tabla 4.18, se muestran los resultados obtenidos de la variación de acidez (ácido láctico) de las muestras elaboradas de pan molde, utilizando la técnica detallada en el Anexo D, para tal efecto, se realizó el procedimiento en duplicas y como resultado se obtuvo el promedio de los datos.

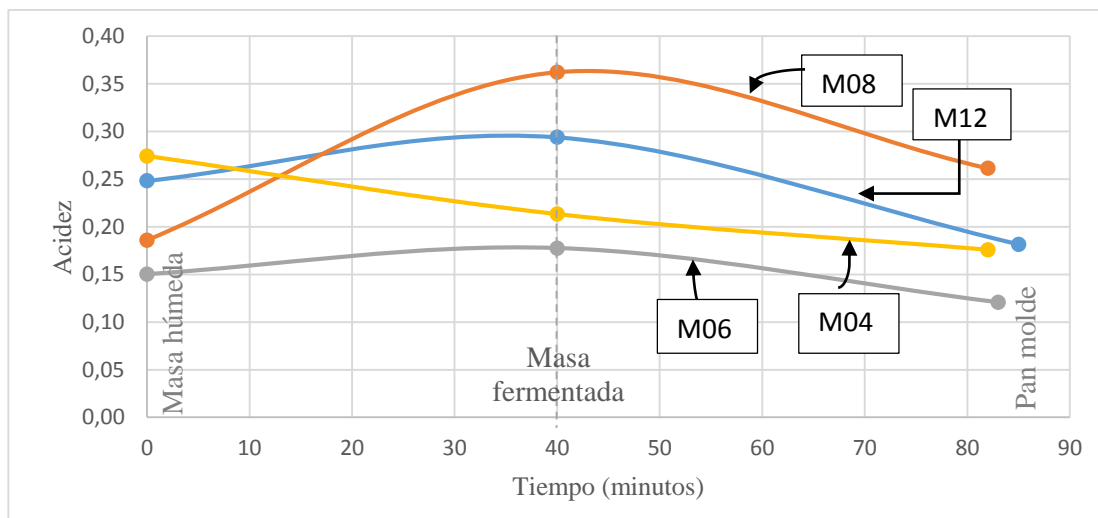
**Tabla 4.18**

#### *Variación de acidez (ácido láctico) en muestras de pan molde*

Control	Muestras							
	M04		M06		M08		M12	
	Tiempo (minutos)	Acidez (%)	Tiempo (minutos)	Acidez (%)	Tiempo (minutos)	Acidez (%)	Tiempo (minutos)	Acidez (%)
Masa húmeda	0	0,27	0	0,15	0	0,19	0	0,25
Masa fermentada	40	0,21	40	0,18	40	0,36	40	0,29
Pan molde	82	0,18	83	0,12	82	0,26	85	0,18

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.12, se muestran los resultados de acidez (ácido láctico) de las muestras realizadas en base a la tabla 4.18.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.12.** Control de acidez (ácido láctico) en muestras de pan molde

Según la figura 4.12, se puede observar que la acidez (ácido láctico) en la masa húmeda de las muestras M04 (0,27 %) y M12 (0,25 %) presentan un incremento en su valor; en comparación con las muestras M06 (0,15 %) y M08 (0,19 %). Transcurrido el tiempo de fermentación de las masas (40 minutos) presenta un incremento en su valor la muestra M08 (0,36 %); en comparación con M06 (0,18 %), M12 (0,29 %). Sin embargo, la muestra M04 (0,21 %) el valor de acidez desciende. Finalizando el proceso de elaboración de pan molde entre (42 - 45) minutos presentan un descenso en la acidez con valor final de 0,18 % (M04), 0,12 % (M06), 0,26 % (M08) y 0,18 % (M12).

Realizado el control de pH, acidez (ácido láctico) y contenido de humedad en las muestras de pan molde, según el valor de cada parámetro de control se tomó la muestra M06 como ideal con contenido de humedad (18,05 %), pH (6,13), acidez (0,12 %) y parámetros de proceso; tiempo de mezclado (6 minutos), amasado (12 minutos), moldeado (4 minutos), fermentación de la masa (40 minutos) a temperatura de (34 °C) y tiempo de horneado (52 minutos) a temperatura de (160 °C).



### 4.3 Diseño factorial 2<sup>3</sup> en la etapa de dosificación para la elaboración de pan molde

En base a la muestra ideal (M06) se procedió a realizar de manera experimental el diseño factorial 2<sup>3</sup> (tabla 3.12) en la etapa de dosificación para elaborar pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba, del cual se tomó como variables respuestas; contenido de humedad, pH, y acidez (ácido láctico).

#### 4.3.1 Variable respuesta de contenido de humedad en la etapa de dosificación del pan molde

Para aplicar el diseño experimental se tomaron en cuenta como variables independientes; los porcentajes de harina de avena (A), algarroba (B) y agua (C) y como variable respuesta el contenido de humedad, para lo cual, se utilizó el método de la termobalanza y la metodología se expresa en el Anexo D.

En base al diseño experimental aplicado en la etapa de dosificación se realizó el análisis estadístico de la variable respuesta contenido de humedad (tabla 4.19) en el programa estadístico Statgraphics (Centurión XVI.I) para Windows y los resultados obtenidos se detallan en el Anexo E.

**Tabla 4.19**

*Análisis de varianza en función de la variable respuesta contenido de humedad*

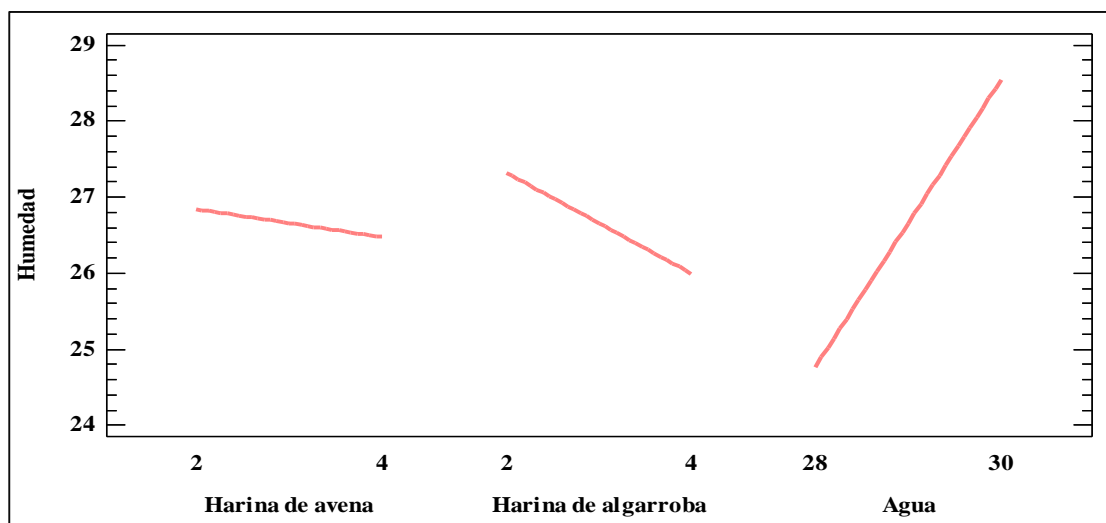
Fuente de varianza (FV)	Suma de Cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrados Medios (CM)	Fcal	Ftab
Factor A	0,54	1	0,54	0,12	5,32
Factor B	7,06	1	7,06	1,52	5,32
Factor C	57,17	1	57,17	<b>12,30</b>	<b>5,32*</b>
Interacción AB	0,38	1	0,38	0,08	5,32
Interacción AC	2,85	1	2,85	0,61	5,32
Interacción BC	13,03	1	13,03	2,80	5,32
Interacción ABC	51,08	1	51,08	<b>10,99</b>	<b>5,32*</b>
Error total	37,18	8	4,65	-	-
Total	169,30	15	-	-	-

**Fuente:** Elaboración propia

(\*) Significativo

Según el análisis de varianza (tabla 4.19), se puede observar que los factores A (harina de avena), factor B (harina de algarroba) e interacciones AB (harina de avena-harina de algarroba), AC (harina de avena-agua) y BC (harina de algarroba-agua), no existe diferencia significativa ya que  $F_{cal} < F_{tab}$ , por tanto, se acepta la hipótesis planteada. Sin embargo, para el factor C (agua) y la interacción de los factores ABC (porcentaje de harina de avena-porcentaje de harina de algarroba-porcentaje de agua), existe diferencia significativa ya que  $F_{cal} > F_{tab}$ , por tanto, se rechaza la hipótesis planteada y se puede afirmar que factor C e interacción de factores ABC, son significativos en la etapa de dosificación, por tanto, se rechaza la hipótesis planteada para un nivel de confianza  $\alpha = 0,05$ .

En la figura 4.13, se muestra los efectos principales para los factores; A (harina de avena), B (harina de algarroba) y C (agua) con relación a la variable respuesta contenido de humedad (%).



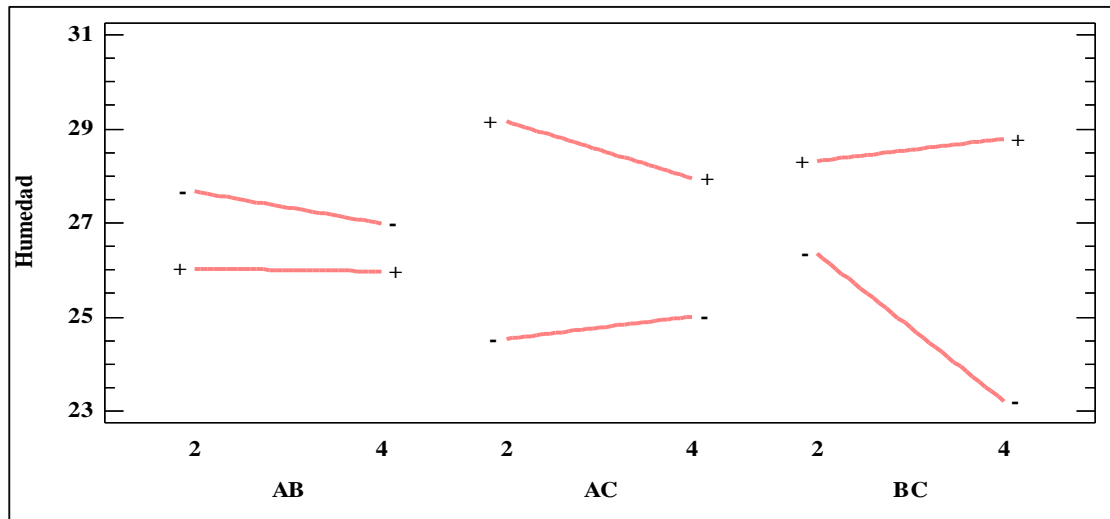
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.13.** Efectos principales para contenido de humedad

Según la figura 4.13, se puede observar que el factor C (agua) influye significativamente sobre la variable respuesta contenido de humedad (%) para un rango de (28 - 30) %, por tanto, a nivel alto de factor C existe mayor contenido de humedad en comparación con los factores A (harina de avena) y B (harina de algarroba) ya que

la variación entre los rangos de sus niveles (2 - 4) %, no influye significativamente sobre el contenido de humedad.

En la figura 4.14, se muestra interacción para los factores; AB (harina de avena-harina de algarroba), AC (harina de avena-agua) y BC (harina de algarroba-agua), en función de la variable respuesta contenido de humedad.



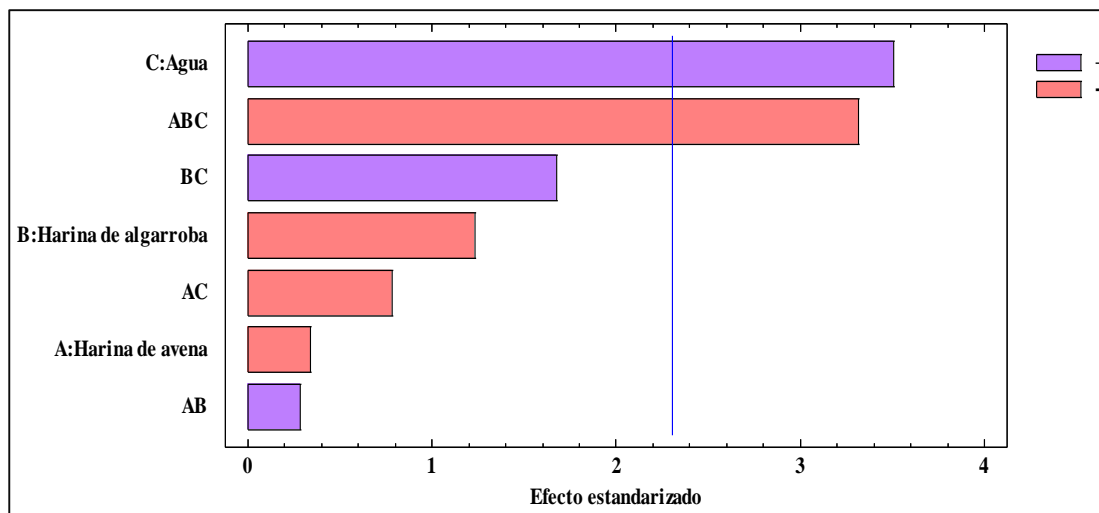
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.14.** Interacción de factores para contenido de humedad

Según la figura 4.14, se puede observar que el contenido de humedad para la interacción BC se ve afectado cuando el porcentaje de agua se encuentra a nivel alto y bajo entre (2 - 4) %, haciendo que la variación del contenido de humedad sea mucho más cuando el factor C (agua) se encuentra en su nivel bajo. Así mismo, para la interacción AB el contenido de humedad se ve levemente afectado cuando el factor B (harina de algarroba) se encuentra en su nivel bajo y no así en nivel alto, mientras que, para la interacción AC el contenido de humedad se ve influenciado cuando el factor C (agua) se encuentra en su nivel alto y bajo (2 - 4) %.

En la figura 4.15, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en el diseño factorial. Para tal efecto, el nivel de significancia de los factores e interacciones se determina con la línea vertical de referencia con valor de (2,15), de

tal manera si las barras graficadas exceden la línea de referencia indican que son significativos para un nivel de confianza  $\alpha = 0,05$ .



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.15.** Diagrama de Pareto estandarizado para contenido de humedad

Según la figura 4.15, se puede observar que el factor C (agua) e interacción ABC (harina de avena-harina de algarroba-agua) sobrepasan la línea de referencia, por tanto, son estadísticamente significativos para un nivel de confianza  $\alpha = 0,05$ ; en comparación con los factores B (harina de algarroba), A (harina de avena) e interacciones BC (harina de algarroba-agua), AC (harina de avena-agua) y AB (harina de avena-algarroba) que no son significativos estadísticamente ya que no exceden la línea de referencia.

### 4.3.2 Variable respuesta pH en la etapa de dosificación del pan molde

Para aplicar el diseño experimental se tomaron en cuenta como variables independientes; los porcentajes de harina de avena (A), algarroba (B) y agua (C) y como variable respuesta el pH del pan molde, para lo cual, se utilizó la norma INEN 0095, metodología que se expresa en el Anexo D.

En base al diseño factorial aplicado en la etapa de dosificación, se realizó el análisis estadístico de la variable respuesta pH (tabla 4.20) en el programa estadístico Statgraphics (Centurión XVI.I) y los resultados obtenidos se detallan en el Anexo E.

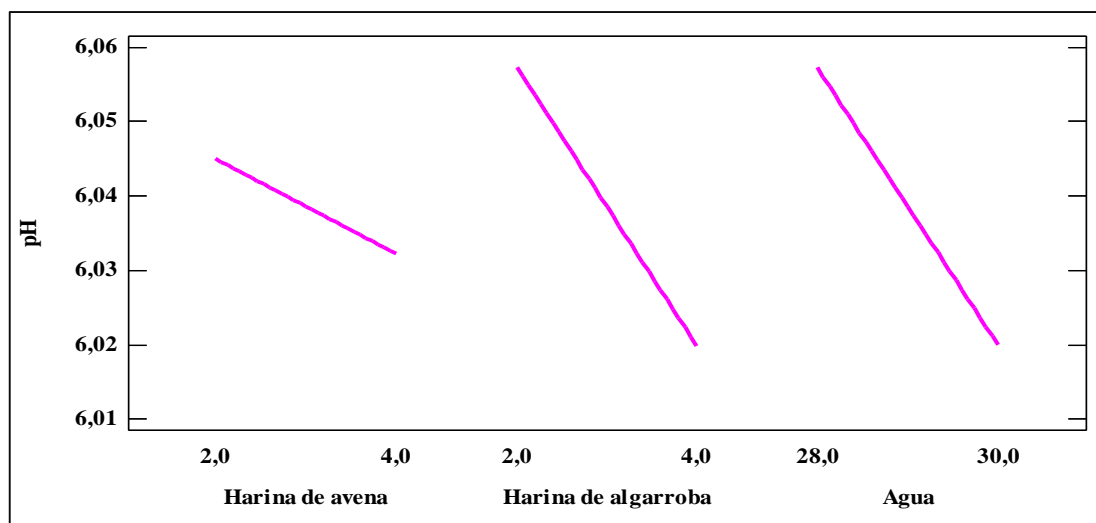
**Tabla 4.20***Análisis de varianza en función de la variable respuesta pH*

Fuente de varianza (FV)	Suma de Cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrados Medios (CM)	Fcal	Ftab
Factor A	6,50E-04	1	6,50E-04	0,11	5,32
Factor B	5,63E-03	1	5,63E-03	0,97	5,32
Factor C	5,55E-03	1	5,55E-03	0,95	5,32
Interacción AB	2,10E-04	1	2,10E-04	0,04	5,32
Interacción AC	3,97E-03	1	3,97E-03	0,68	5,32
Interacción BC	1,64E-03	1	1,64E-03	0,28	5,32
Interacción ABC	2,40E-03	1	2,40E-03	0,41	5,32
Error total	4,65E-02	8	5,81E-03	-	-
Total	6,66E-02	15	-	-	-

**Fuente:** Elaboración propia

Según el análisis de varianza (tabla 4.20), se puede observar que tanto para los factores (A, B y C) e interacciones de los factores (AB, AC, BC y ABC);  $F_{cal} < F_{tab}$ , por tanto, no existe evidencia estadística de variación para los factores analizados en la etapa de dosificación en función de la variable respuesta pH, de manera que, se acepta la hipótesis planteada para un nivel de confianza  $\alpha=0,05$ .

En la figura 4.16, se muestra los efectos principales para los factores; A (harina de avena), B (harina de algarroba) y C (agua) con relación a la variable respuesta pH.

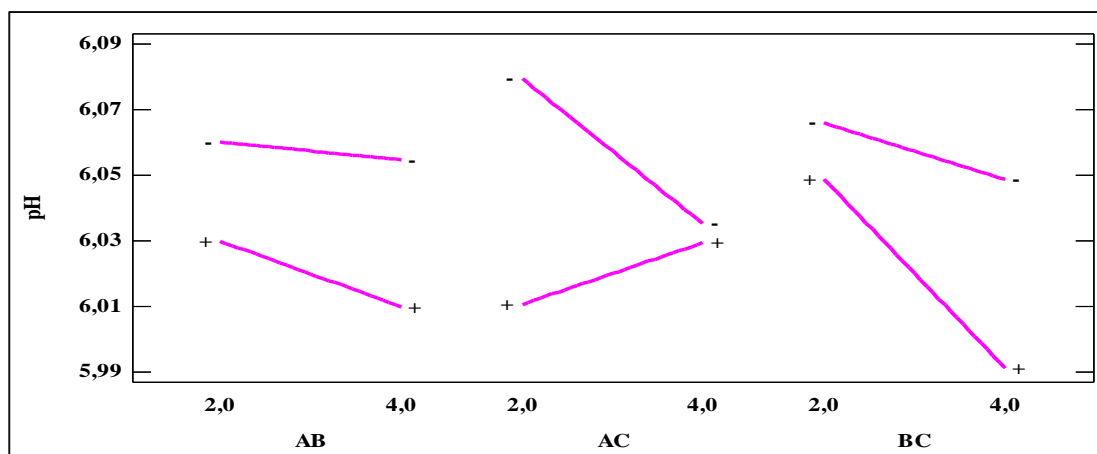


**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.16.** Efectos principales para pH

Según la figura 4,16, se puede observar que los factores (harina de avena, algarroba y agua) no influyen significativamente sobre la variable respuesta pH cuando estos se encuentran tanto en nivel bajo como nivel alto (2 - 4) %, ya que los valores de pH oscilan entre (6,06 - 6,02).

En la figura 4.17, se muestra la interacción para los factores; AB (harina de avena-harina de algarroba), AC (harina de avena-agua) y BC (harina de algarroba-agua), en función de la variable respuesta pH.



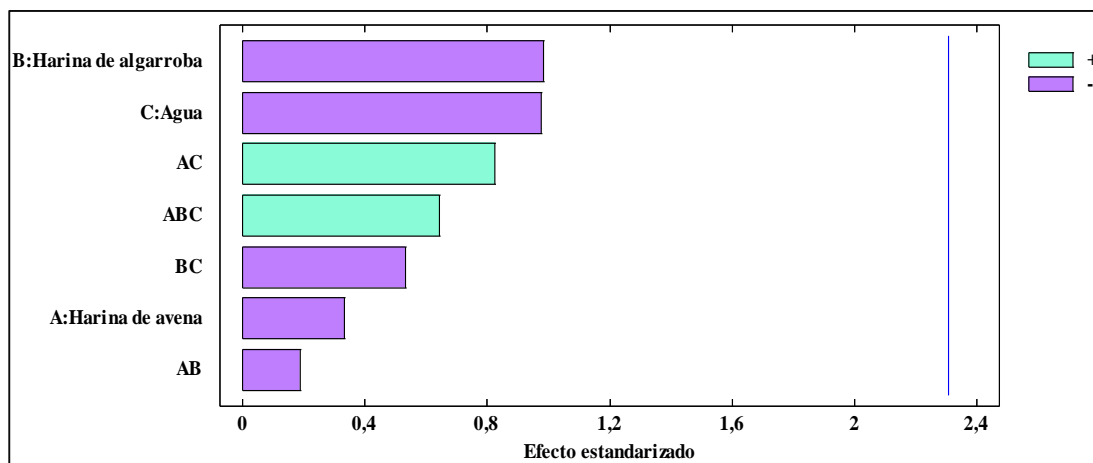
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.17.** Interacción de factores para pH

Según la figura 4.17, se puede observar que el valor de pH para la interacción AC se ve afectado cuando el porcentaje de agua se encuentra en su nivel alto y bajo entre valores de (2 – 4) %, es decir; el contenido de agua agregado según los niveles de variación de acuerdo al diseño puede llegar a ser significativo haciendo que el pH disminuya o aumente en función del agua adicionada a la masa. Así mismo, para la interacción BC el valor del pH para el nivel alto del factor B (harina de algarroba) disminuye hasta (5,99), sin embargo, para el nivel bajo no se encuentra considerable variación. mientras que, para la interacción AB tanto para nivel bajo y alto (2 - 4) % el factor B (harina de algarroba) influye levemente en la variación de pH.

En la figura 4.18, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en el diseño factorial. Para tal efecto, el nivel de significancia de los factores

e interacciones se determina con la línea vertical de referencia con valor de (2,30), de tal manera si las barras graficadas exceden la línea de referencia indican que son significativos para un nivel de confianza  $\alpha = 0,05$ .



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.18.** Diagrama de Pareto estandarizado para pH

Según la figura 4.18, se puede observar que tanto los factores B (harina de algarroba), C (agua), A (harina de avena) e interacciones AC (harina de avena-agua), ABC (harina de avena-harina de algarroba-agua) y BC (harina de avena-agua) no sobrepasan la línea de referencia, por tanto, no son estadísticamente significativos para un nivel de confianza  $\alpha = 0,05$ .

#### 4.3.3 Variable respuesta acidez (ácido láctico) en la etapa de dosificación del pan molde

Para aplicar el diseño experimental  $2^3$ , se tomaron en cuenta como variables independientes; los porcentajes de harina de avena (A), algarroba (B) y agua (C), y como variable respuesta acidez (ácido láctico) del pan molde, para lo cual, se utilizó la norma INEN 0095 y la metodología se expresa en el Anexo D.

En base al diseño factorial aplicado en la etapa de dosificación se realizó el análisis estadístico de la variable respuesta acidez (tabla 4.21) en el programa estadístico Statgraphics (Centurión XVI.I) para Windows y los resultados obtenidos se detallan en el Anexo E.

**Tabla 4.21***Análisis de varianza en función de la variable respuesta acidez (ácido láctico)*

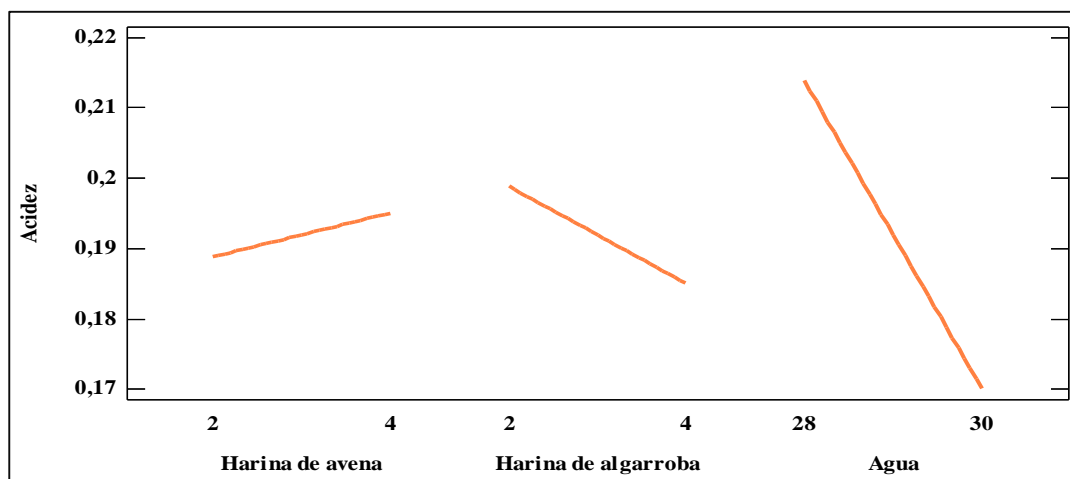
Fuente de varianza (FV)	Suma de Cuadrados (SC)	Grados de libertad (Gl)	Cuadrados Medios (CM)	Fcal	Ftab
Factor A	1,56E-04	1	1,56E-04	0,17	5,32
Factor B	7,56E-04	1	7,56E-04	0,81	5,32
Factor C	7,66E-03	1	7,66E-03	<b>8,22</b>	<b>5,32*</b>
Interacción AB	2,26E-03	1	2,26E-03	2,42	5,32
Interacción AC	4,56E-03	1	4,56E-03	4,89	5,32
Interacción BC	3,06E-04	1	3,06E-04	0,33	5,32
Interacción ABC	3,06E-04	1	3,06E-04	0,33	5,32
Error total	7,45E-03	8	9,31E-04	-	-
Total	2,34E-02	15	-	-	-

**Fuente:** Elaboración propia

(\*) Significativo

Según el análisis de varianza (tabla 4.21), se observa que para los factores (A, B) e interacciones (AB, AC, BC, ABC), no existe diferencia significativa ya que  $F_{cal} < F_{tab}$ . Sin embargo, para el factor C (porcentaje de agua) existe diferencia significativa ya que  $F_{cal} > F_{tab}$ , por tanto, se rechaza la hipótesis planteada y se puede afirmar que el porcentaje de agua (C) es significativo en la etapa de dosificación del pan tipo molde enriquecido con harina de avena y algarroba.

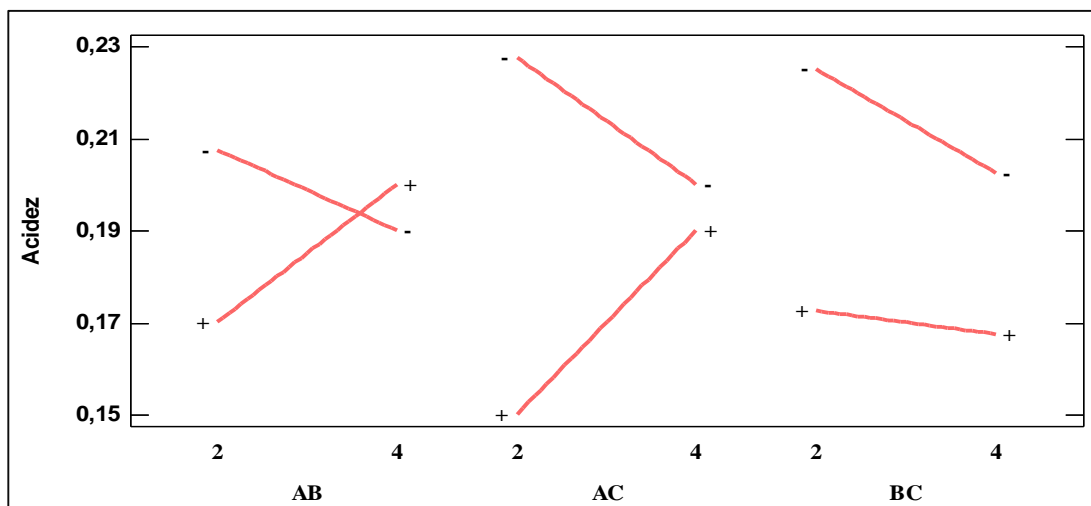
En la figura 4.19, se muestra los efectos principales para los factores; A (harina de avena), B (harina de algarroba) y C (agua) con relación a la variable respuesta acidez (ácido láctico).

**Fuente:** Elaboración propia**Figura 4.19.** Efectos principales para acidez (ácido láctico)



Según la figura 4,19, se puede observar que los factores (harina de avena y harina de algarroba) influyen significativamente leve sobre la variable respuesta acidez (ácido láctico) cuando estos se encuentran tanto en nivel bajo como nivel alto (2 - 4) %, ya que los valores de pH oscilan entre (0,18 - 0,20); en comparación con el factor C (agua) que influye directamente sobre el valor de acidez ya que para nivel bajo de agua se incrementa la acidez, mientras que para un nivel bajo el valor disminuye, oscilando los valores entre (0,17 – 0,22) .

En la figura 4.20, se muestra la interacción para los factores; AB (harina de avena-harina de algarroba), AC (harina de avena-agua) y BC (harina de algarroba-agua), en función de la variable respuesta acidez.

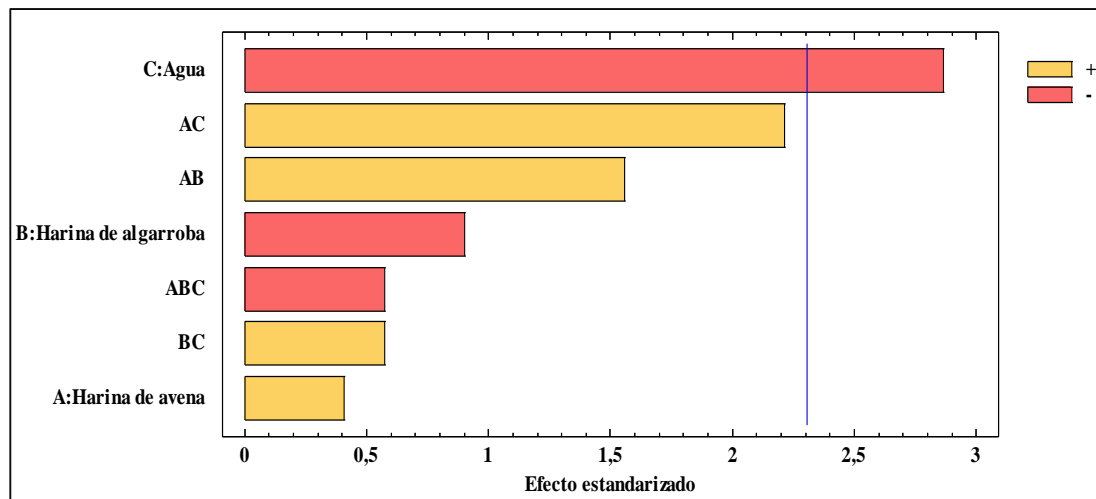


**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.20.** Interacción de factores para acidez (ácido láctico)

Según la figura 4.20, se puede observar que el valor de acidez para la interacción AB se ve afectado cuando el porcentaje de harina de algarroba se encuentra en nivel alto y bajo entre (2 – 4) %, presentando variación en la acidez (ácido láctico), de manera que influye significativamente en la variable respuesta. Así mismo, para la interacción AC el valor de acidez varía cuando el factor C (agua) se encuentra en su nivel alto y bajo, mientras que, para la interacción BC el valor de acidez se ve afectado cuando el factor C (agua) se encuentra en nivel bajo y no así cuando se encuentra en nivel alto ya que el valor de acidez no es afectado significativamente.

En la figura 4.21, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en el diseño factorial. Para tal efecto, el nivel de significancia de los factores e interacciones se determina con la línea vertical de referencia con valor de (2,30), de tal manera si las barras graficadas exceden la línea de referencia indican que son significativos para un nivel de confianza  $\alpha = 0,05$ .



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.21.** Diagrama de Pareto estandarizado para acidez (ácido láctico)

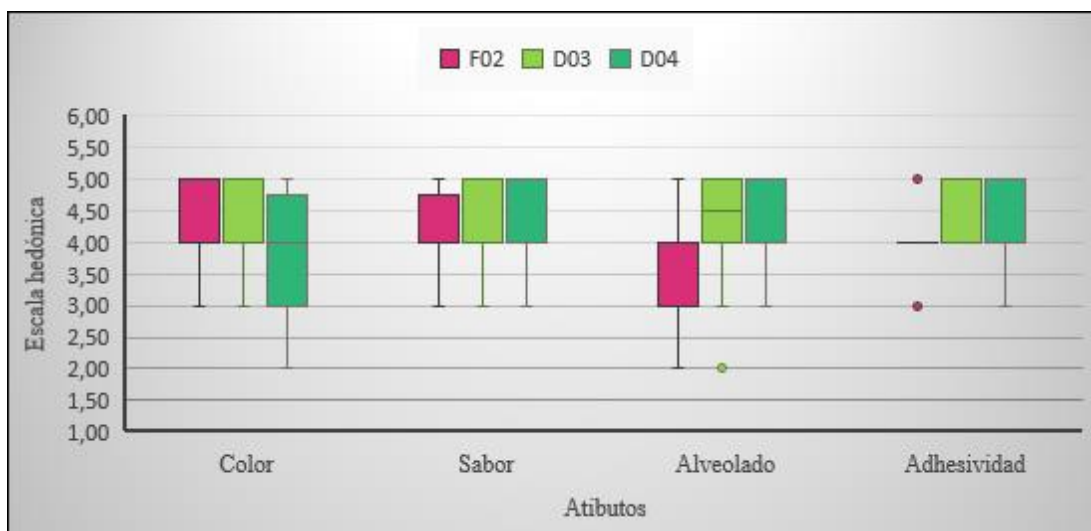
Según la figura 4.21, se puede observar que el factor C (agua) excede la línea de referencia, por tanto, es estadísticamente significativo; en comparación con los factores B (harina de algarroba), A (harina de avena) e interacciones AC (harina de avena-agua), AB (harina de avena- harina de algarroba), ABC (harina de avena-harina de algarroba-agua) y BC (harina de avena-agua) que no sobrepasan la línea de referencia, por tanto, no son estadísticamente significativos para un nivel de confianza  $\alpha = 0,05$ .

Realizado el diseño factorial en la etapa de dosificación para la elaboración de pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba, se pudo evidenciar que las variables respuestas (contenido de humedad y acidez) se ven afectados cuando las variables independientes (harina de avena, harina de algarroba y agua) son manipuladas en función de su nivel alto y bajo.

Así mismo, se tomaron las muestras (D03, D04) que presentaron significancia según el análisis estadístico para compararla con la muestra ideal (M06) a la que se cambió la codificación a F02. Así mismo, se utilizó un test de escala hedónica de cinco puntos con la finalidad de corroborar si los jueces detectan diferencias entre los atributos de las muestras comparadas, debido a los niveles de los factores e interacciones del diseño factorial.

#### 4.4 Estadístico de caja y bigote para comparar muestra experimental e ideal de pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba

En la figura 4.22, se muestran los estadísticos de caja y bigote de datos extraídos del Anexo C, para el atributo: color (tabla C.33), sabor (tabla C.34), alveolado (tabla C.37) y adhesividad (tabla C.38).



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura: 4.22.** Caja y Bigote para comparar muestra experimental e ideal de pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba

Según la figura 4.22, se puede observar que los resultados de las medianas en función de los atributos de las muestras evaluadas son: color 5,0 (F02 y D03), sabor 4,0 (F02), alveolado 4,5 (D03) y adhesividad 4,0 (F02). Así mismo, realizado el análisis estadístico de varianza se pudo evidenciar que no existe diferencia significativa entre los atributos de las muestras evaluadas para un nivel de confianza  $\alpha = 0,05$ .

Por tanto, los niveles de los factores e interacciones analizados en el diseño factorial influyen de manera leve sobre los atributos color y textura (alveolado y adhesividad) y no así en atributo sabor de las muestras evaluadas. Así mismo, tomando en cuenta la preferencia de los jueces por las muestras F02 y D03, según las formulaciones y condiciones de proceso en la etapa amasado se procedió a seleccionar la muestra D03 por presentar en la masa; mayor facilidad de manejo, elasticidad, tolerancia e hidratación.

#### **4.5 Diseño factorial 2<sup>2</sup> en la etapa de horneado para la elaboración de pan molde**

Para aplicar el diseño experimental, se tomaron en cuenta como variables independientes; tiempo de horneado (A) entre un rango (49 - 55) minutos y temperatura de horneado (B) entre (155 - 165) °C y como variable respuesta el contenido de humedad final, para lo cual, se utilizó el método de la termobalanza, metodología que se expresa en el Anexo D. Así mismo, el diseño experimental se aplicó en la muestra (D03) formulada en base a la tabla 4.22

**Tabla 4.22**

***Formulación porcentual de muestra para diseño experimental***

Materias primas/insumos alimentarios	Porcentaje (%)
Harina de trigo	53,83
Harina de avena	2,20
Harina de algarroba	2,20
Levadura	1,94
Agua	29,56
Otros	10,24

**Fuente:** Elaboración propia

En base al diseño experimental en la etapa de horneado, se realizó el análisis estadístico de la variable respuesta contenido de humedad final (tabla 4,23) en el programa estadístico Statgraphics (Centurión XVI.I) para Windows y los resultados obtenidos se detallan en el Anexo E.

**Tabla 4.23****Análisis de varianza en función de la variable respuesta contenido de humedad final**

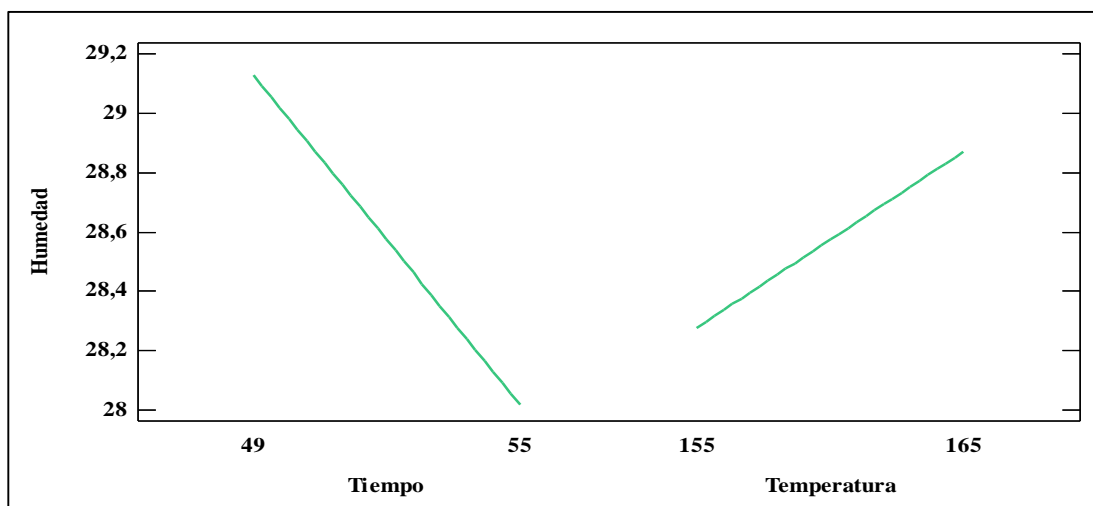
Fuente de varianza (FV)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrados medios (CM)	Fcal	Ftab
Factor A	2,46	1	2,46	1,14	7,71
Factor B	0,70	1	0,70	0,32	7,71
Interacción AB	49,72	1	49,72	<b>23,08*</b>	<b>7,71</b>
Error	8,62	4	2,15	-	-
Total	61,49	7	-	-	-

**Fuente:** Elaboración propia

(\*) Significativo

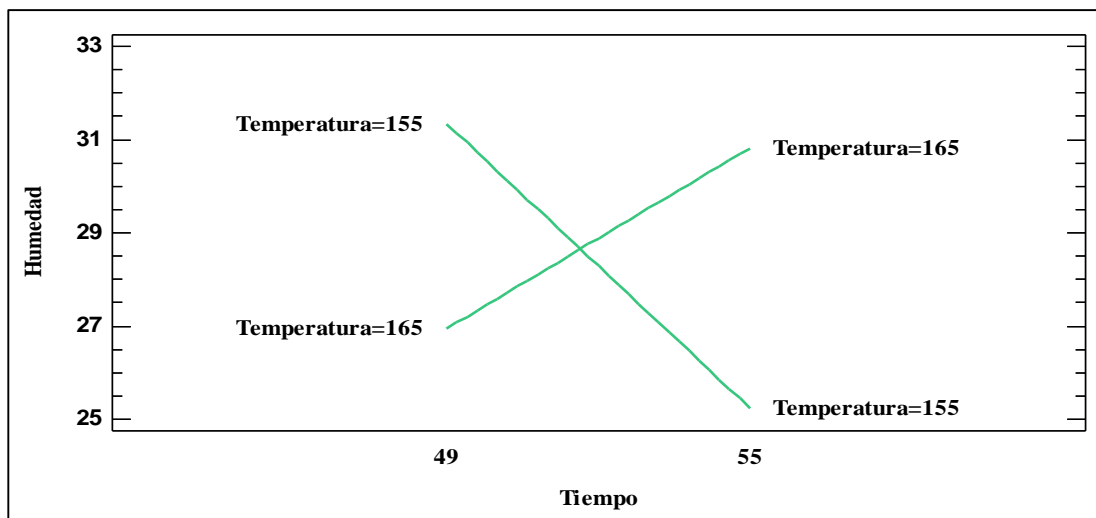
Según el análisis de varianza (tabla 4.23), se puede observar que para los factores A (tiempo), factor B (temperatura) no existe diferencia significativa; ya que  $F_{cal} < F_{tab}$ , por tanto, se acepta la hipótesis planteada. Sin embargo, para la interacción de los factores AB (tiempo-temperatura), existe diferencia significativa; ya que  $F_{cal} > F_{tab}$ , por tanto, se rechaza la hipótesis planteada para un nivel de confianza  $\alpha = 0,05$ , y la interacción de factores AB son significativos en la etapa de horneado.

En la figura 4.23, se muestra los efectos principales para los factores; A (tiempo), B (temperatura) con relación a la variable respuesta contenido de humedad final.

**Fuente:** Elaboración propia**Figura 4.23.** Efectos principales para contenido de humedad final

Según la figura 4.23, se puede observar que el factor A (tiempo) influye significativamente sobre la variable respuesta contenido de humedad para un rango de (49 - 55) minutos, por tanto, a nivel alto de factor A el contenido de humedad reduce en el pan molde, mientras que, el factor B (temperatura) no influye significativamente sobre el contenido de humedad final, ya que la variación de humedad en función del nivel alto y bajo para este factor se encuentra entre los rangos de (28,20 – 28,85) %.

En la figura 4.24, se muestra la interacción de los factores; A (tiempo), B (temperatura) en función de la variable respuesta contenido de humedad final.

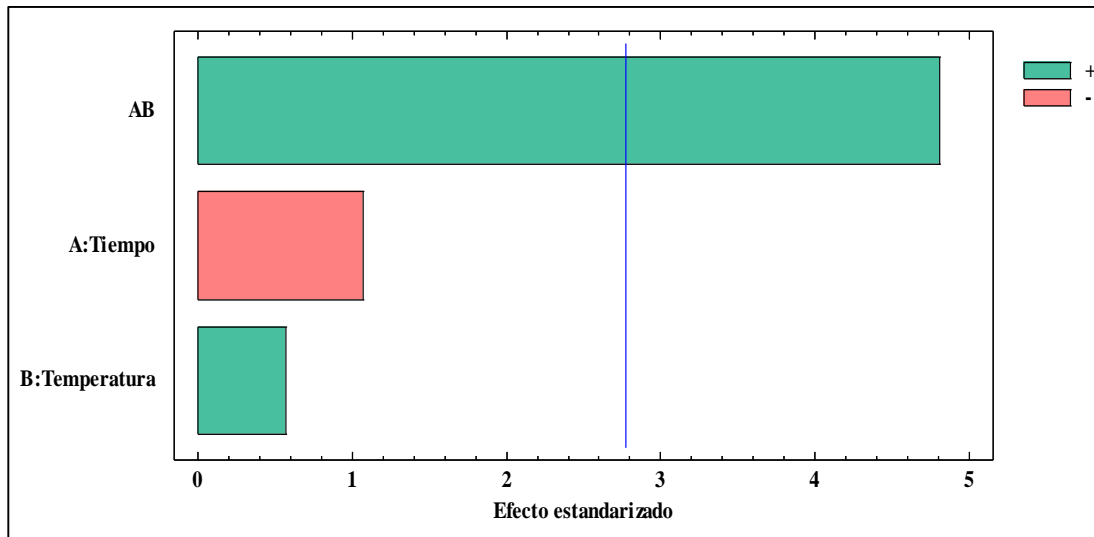


**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.24.** Interacción de factores para contenido de humedad final

Según la figura 4.24, se puede observar que el contenido de humedad para un rango de tiempo entre (49 – 55) minutos para el nivel alto de factor B (temperatura) la humedad del pan molde oscila entre (29 - 31) %, mientras que para el nivel bajo el valor de humedad aumenta llegando hasta un valor de 31, 50 %. Sin embargo, cuando el factor A (tiempo) sea aproximado entre (52 - 53) minutos el valor de humedad se mantiene constante, ya sea para un nivel alto o bajo del factor B (temperatura)

En la figura 4.25, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en el diseño factorial. Para tal efecto, el nivel de significancia de los factores e interacciones se determina con la línea vertical de referencia con valor de (2,39) de tal manera si las barras graficadas para los factores (A y B) e interacción (AB) exceden la línea de referencia indican que son significativos para un nivel de confianza  $\alpha = 0,05$ .



**Fuente:** Elaboración propia

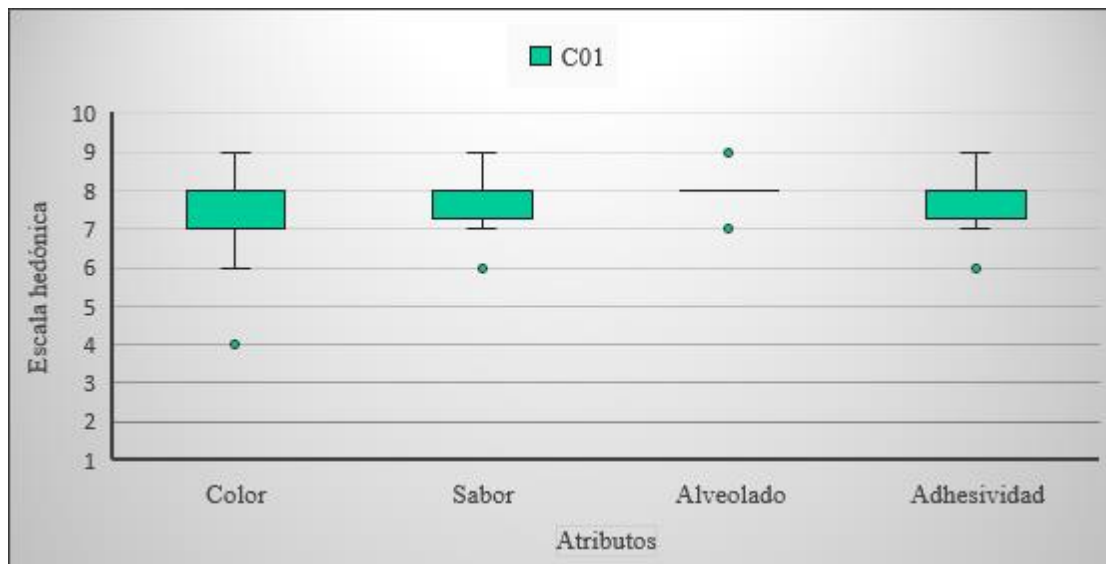
**Figura 4.25.** Diagrama de Pareto estandarizado para contenido de humedad final

Según la figura 4.25, se puede observar que la interacción AB (tiempo-temperatura) excede la línea de referencia, por tanto, es estadísticamente significativo en la etapa de horneado; en comparación con los factores A (tiempo), B (temperatura) que no exceden la línea de referencia, por tanto, no son estadísticamente significativos para un nivel de confianza  $\alpha = 0,05$ .

De acuerdo al análisis estadístico realizado en la etapa de horneado, se puede evidenciar que la interacción AB (tiempo-temperatura) inciden de manera significativa en el contenido de humedad de la muestra, obteniéndose el tiempo y temperatura óptimo para el horneado del pan molde, por tanto, se tomó la muestra experimental C01 como muestra final. Así mismo, en base a la muestra final se procedió a realizar una evaluación sensorial con escala hedónica de nueve puntos en la que se valoraron los atributos; color, sabor, alveolado y adhesividad.

#### 4.6 Estadístico de caja y bigote para muestra final de pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba

En la figura 4.26, se muestran los estadísticos de caja y bigote de datos extraídos de Anexo C (tabla C.41) para el atributo: color, sabor, alveolado y adhesividad.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura: 4.26.** Caja y Bigote para muestra final de pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba

Según la figura 4.26, se observó que los resultados de las medianas en función de los atributos de la muestra evaluada son: color (8,00), sabor (7,25), alveolado (8,00) y adhesividad (7,25).

#### 4.7 Caracterización del producto terminado

En la caracterización del producto terminado, se tomaron en cuenta los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del pan molde, los cuales se detallan a continuación:

##### 4.7.1 Análisis fisicoquímico del pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba

En la tabla 4.24, se detallan los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba de datos extraídos (Anexo A).



**Tabla 4.24****Análisis fisicoquímico del pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba**

Parámetros	Unidad	Resultado
Ceniza	%	0,99
Fibra	%	2,15
Grasa	%	8,12
Hidratos de carbono	%	56,88
Humedad	%	29,52
Proteína total (Nx6,25)	%	2,34
Valor energético	Kcal/100 g	309,96

**Fuente:** CEANID, 2021

En la tabla 4.24, se puede observar los resultados del análisis fisicoquímico del pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba que presenta: ceniza 0,99 %, fibra 2,15 %, grasa 8,12 %, hidratos de carbono 56,88 %, humedad 29,52 %, proteína total (Nx6,25) 2,34 %, y valor energético 309,96 Kcal/100 g.

#### 4.7.2 Análisis microbiológico del pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba

En la tabla 4.25 se detallan los resultados obtenidos del análisis microbiológico del pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba de datos extraídos (Anexo A).

**Tabla 4.25****Análisis microbiológico del pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba**

Microorganismos	Unidad	Resultado
Mohos y levaduras	UFC/g	$<1,0 \times 10^3$ (*)
Bacterias aerobias mesófilos	UFC/g	$7,0 \times 10^1$
<i>Staphylococcus aureus</i>	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$ (*)

**Fuente:** CEANID, 2021

En la tabla 4.25, se observa los resultados del análisis microbiológico del pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba que presenta: bacterias aerobias mesófilos  $7,0 \times 10^1$  UFC/g, mohos y levaduras  $<1,0 \times 10^3$  (\*) UFC/g y para *Staphylococcus aureus*  $<1,0 \times 10^1$  (\*) UFC/g indicando que no se observó desarrollo de colonias (\*).

#### 4.8 Control de pH, acidez y contenido de humedad en pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba durante el almacenamiento

Para llevar a cabo el control de pH, acidez (ácido láctico) y contenido de humedad durante el almacenamiento, en base a la muestra final de pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba (C01) se elaboraron dos muestras con la misma formulación; (C01N) sin conservante envasado en bolsa de polietileno y (C01C) con conservante (propionato de calcio) envasado en bolsa de polipropileno, para lo cual, se realizó el control diario de las muestras exceptuando feriados y fines de semana.

Para la obtención de los valores de pH, acidez y contenido de humedad del pan molde durante el control en el almacenamiento, la muestra C01N al séptimo día presentó formación de colonia de mohos, por tanto, la muestra se dejó de controlar y se descartó. Así mismo, la muestra C01C fue controlada hasta el noveno día.

##### 4.8.1 Control de (pH) en el pan molde durante el almacenamiento

En la tabla 4.26, se muestran los resultados obtenidos de la variación del pH del pan molde sin conservante (C01N) y con conservante (C01C); en función del tiempo de almacenamiento de datos extraídos del Anexo D.

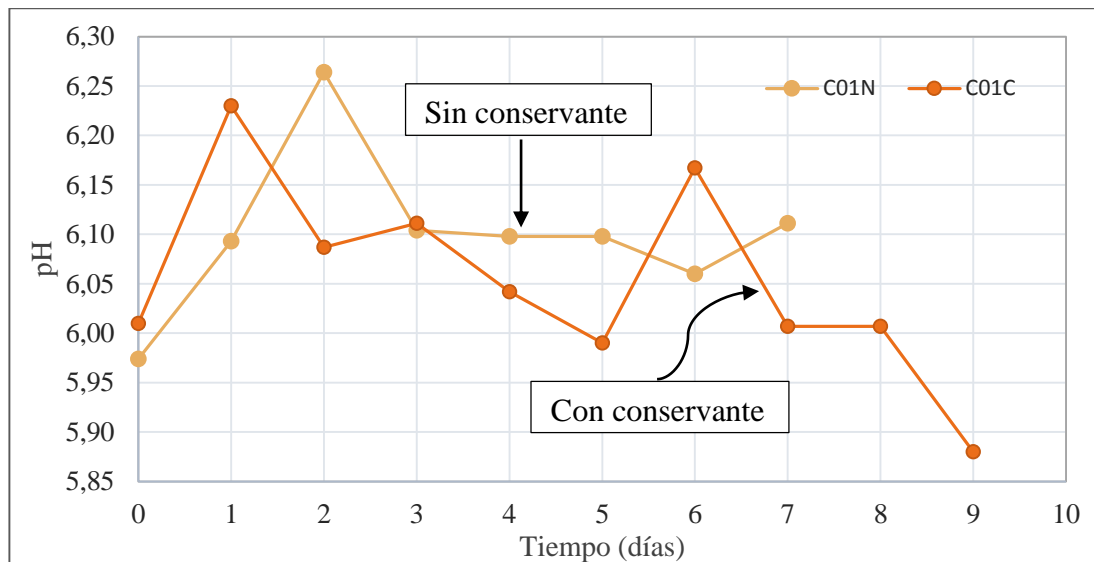
**Tabla 4.26**

*Variación de (pH) en el pan molde durante el almacenamiento*

Tiempo (días)	pH	
	C01N	C01C
1	5,97	6,01
2	6,09	6,23
3	6,26	6,09
4	6,10	6,11
5	6,10	6,04
6	6,10	5,99
7	6,06	6,17
8	6,11	6,01
9	-	6,01
10	-	5,88

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.27, se muestra el control de pH en el pan molde durante el almacenamiento en base a la tabla 4.26.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.27.** Control de pH en pan molde durante el almacenamiento

Según la figura 4.27, las muestras C01N y C01C presentan para (0,0) días un pH inicial de 5,97 (C01N) y 6,01 (C01C), para el primer día ambas muestras presentan ascenso en el pH, sin embargo, a partir del segundo día la muestra C01C presenta descenso en el pH hasta llegar a un valor final de 5,88, mientras que, la muestra C01N para el segundo día su valor asciende hasta 6,26 para luego descender hasta un valor de pH final de 6,10.

De acuerdo al control de pH del pan molde durante el almacenamiento, puede evidenciar que las muestras inician con pH de 5,97 (C01N) y 6,01 (C01C) y finalizando con valor 6,11 (C01N) y 5,88 (C01C). Por tanto, la adición de conservante (propionato de calcio) afecta directamente en el pH del pan molde.

#### 4.8.2 Control de acidez (ácido láctico) en el pan molde durante el almacenamiento

En la tabla 4.27, se muestran los resultados obtenidos de la variación de acidez del pan molde sin conservante (C01N) y con conservante (C01C); en función del tiempo de almacenamiento de datos extraídos del Anexo D.

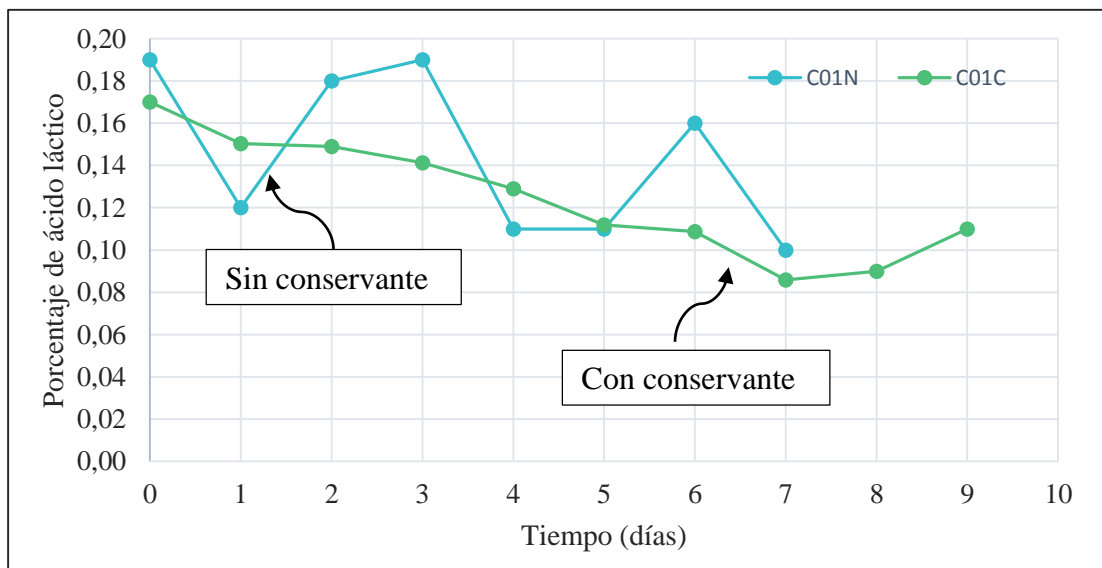
**Tabla 4.27**

*Variación de acidez del pan molde en el almacenamiento*

Tiempo (días)	Acidez (ácido láctico)	
	C01N	C01C
0	0,19	0,17
1	0,12	0,15
2	0,18	0,15
3	0,19	0,14
4	0,11	0,13
5	0,11	0,11
6	0,16	0,11
7	0,10	0,09
8	-	0,09
9	-	0,11

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.28, se muestra el control de acidez (ácido láctico) en el pan molde durante el almacenamiento en base a la tabla 4.27



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.28.** Control de acidez (ácido láctico) en pan molde durante el almacenamiento

Según la figura 4.28, las muestras C01N y C01C presentan para (0,0) días acidez inicial de 0,19 % (C01N) y 0,17 % (C01C), para el primer día ambas muestras presentan descenso en valor de acidez, sin embargo, a partir del primer día la muestra C01N presenta fluctuación en los valores de acidez hasta llegar a un valor final de (0,10 %), mientras que, la muestra C01C desciende de manera constante hasta el séptimo día para luego ascender su valor hasta llegar a una acidez final de (0,11 %).

De acuerdo al control de acidez (ácido láctico) en el pan molde durante el almacenamiento, puede evidenciar que las muestras inician con una acidez de 0,19 % (C01N) y 0,17 % (C01C) y finalizan con un valor de 6,11 % (C01N) y 5,88 % (C01C). Por tanto, la adición de conservante (propionato de calcio) afecta directamente en la acidez del pan molde.

#### **4.8.3 Control de contenido de humedad en el pan molde durante el almacenamiento**

En la tabla 4.28, se muestran los resultados obtenidos de la variación de contenido de humedad (%) del pan molde sin conservante (C01N) y con conservante (C01C); en función del tiempo de almacenamiento de datos extraídos del Anexo D.

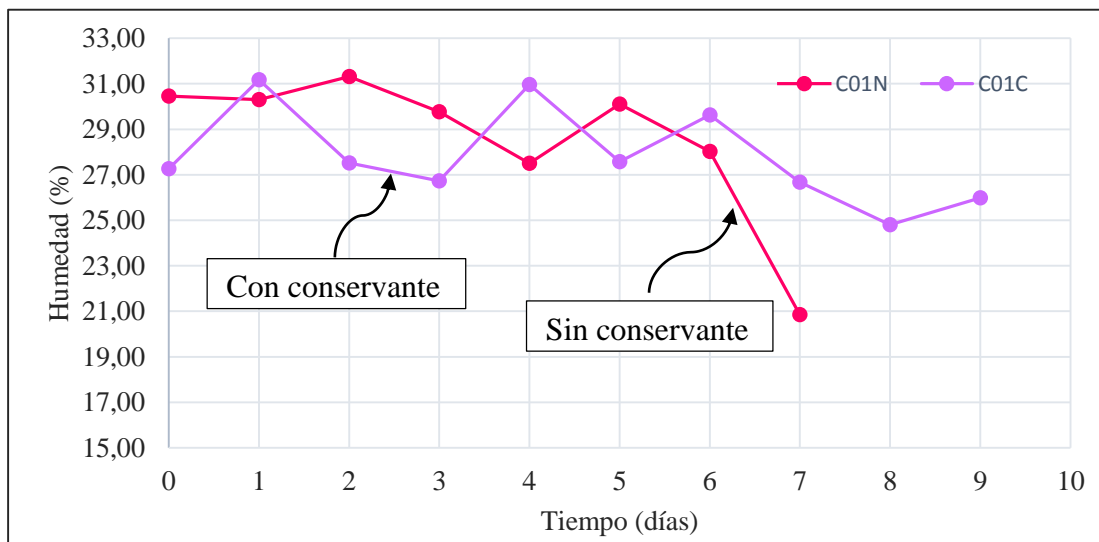
**Tabla 4.28**

*Variación de contenido de humedad del pan molde en el almacenamiento*

Tiempo (días)	Humedad (%)	
	C01N	C01C
0	30,45	27,27
1	30,30	31,18
2	31,32	27,52
3	29,77	26,73
4	27,51	30,97
5	30,11	27,58
6	28,02	29,63
7	20,85	26,67
8		24,81
9		25,98

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.29, se muestra el control de contenido de humedad en el pan molde durante el almacenamiento en base a la tabla 4,28



**Fuente:** Elaboración propia

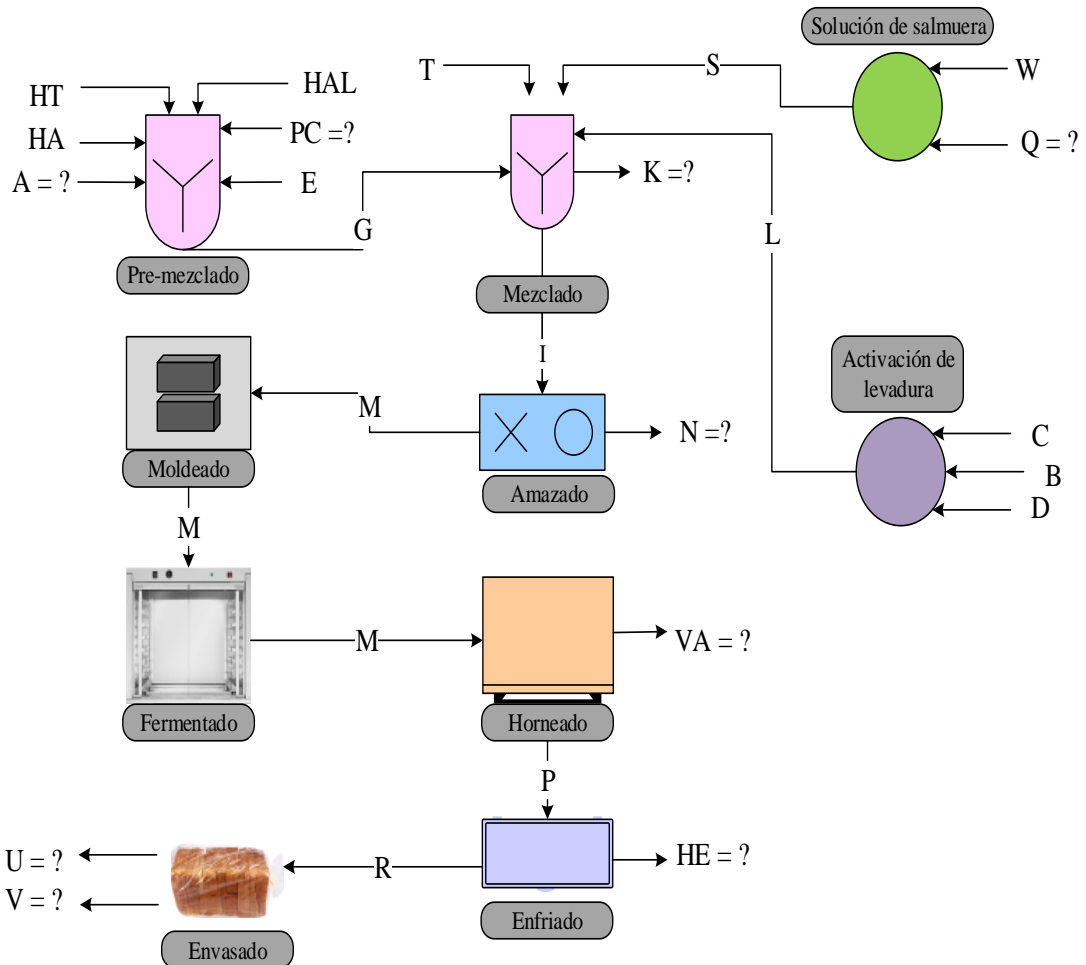
**Figura 4.29.** Control de contenido de humedad en pan molde durante el almacenamiento

Según la figura 4.29, las muestras C01N y C01C en (0,0) días; el contenido de humedad es de 30,45 % (C01N) y 27,27 % (C01C), para la muestra C01C durante el transcurso del control de humedad los valores fluctúan entre (25 – 31) %, mientras que la muestra C01N presenta fluctuación de contenido de humedad entre los (0 - 6) días, finalizando el contenido de humedad en el séptimo día con un valor del 21,00 %.

De acuerdo al control de contenido de humedad en el pan molde durante el almacenamiento, se puede evidenciar que las muestras inician con un contenido de humedad de 30,45 % (C01N) y 27,27 % (C01C) y finalizan con un valor de 20,85 % (C01N) y 25,98 % (C01C). Por tanto, la adición de conservante (propionato de calcio) afecta directamente en el contenido de humedad del pan molde.

#### 4.9 Balance de materia en el proceso de elaboración de pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba

En la figura 4.30, se muestra el balance de materia general para el proceso de elaboración de pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba para un cálculo en base a 1194,92 gramos de masa de panificación.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.30.** Balance de materia general en el proceso de elaboración de pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba

**Donde:****HT:** harina de trigo (g)**HA:** harina de avena (g)**HAL:** harina de algarroba (g)**A:** azúcar para el pre-mezclado (g)**PC:** conservante propionato de calcio (g)**E:** mejorador de masa (g)**G:** mezcla de harinas (g)**T:** manteca vegetal (g)**L:** levadura activada (g)**S:** solución salada (g)**K:** pérdida (g)**I:** masa total (g)**N:** pérdida (g)**M:** masa (g)**X<sup>S</sup>:** fracción sólida de vapor de agua**X<sup>L</sup>:** fracción líquida de vapor de agua**X<sup>SM</sup>:** fracción sólida de la masa**X<sup>SP</sup>:** fracción sólida del pan molde**X<sup>R</sup>:** fracción sólida del pan después del enfriado**VA:** vapor de agua (g)**P:** pan molde (g)**X<sup>H</sup>:** contenido de humedad de la masa**X<sup>HP</sup>:** contenido de humedad de pan molde**X<sup>RS</sup>:** contenido de humedad de pan molde después del enfriado**R:** pan después del enfriado (g)**HE:** vapor de agua (g)**U:** pérdida en el envasado (g)**V:** pan envasado (g)**W:** agua (g)**Q:** sal (g)**S:** solución de salmuera (g)**C:** azúcar para activar la levadura (g)**B:** agua para activar levadura (g)**D:** levadura (g)**X<sup>SW</sup>:** fracción sólida del agua**X<sup>SQ</sup>:** fracción sólida de sal**X<sup>SS</sup>:** fracción sólida de salmuera**X<sup>LW</sup>:** fracción líquida de agua**X<sup>LQ</sup>:** fracción líquida de sal**X<sup>LS</sup>:** fracción líquida de salmuera**X<sup>SC</sup>:** fracción sólida de azúcar**X<sup>SB</sup>:** fracción sólida del agua



$X^{SD}$ : fracción sólida de levadura

$X^{SA}$ : fracción sólida de levadura activada

$X^{LC}$ : fracción líquida del azúcar

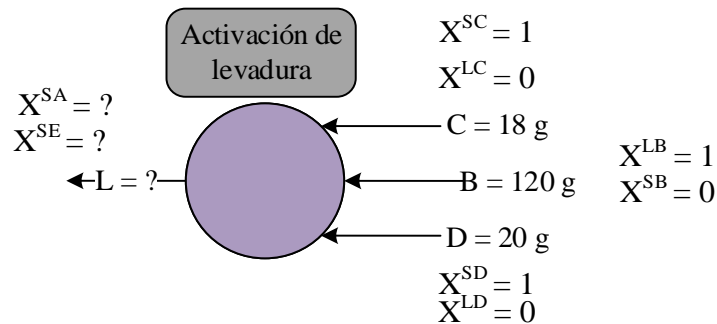
$X^{LB}$ : fracción líquida de agua

$X^{LD}$ : fracción líquida de levadura

$X^{SE}$ : fracción líquida de levadura activada

#### 4.9.1 Balance de materia para la activación de la levadura

En la figura 4.31, se muestra el diagrama de activación de la levadura para realizar el balance de materia correspondiente.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.31.** Activación de la levadura

Balance general de materia para activación de levadura:

$$C + B + D = L \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Para el cálculo de la levadura activada, se realizó balance parcial en componente sólido en base a la ecuación 4.1:

$$C * X^{SC} + B * X^{SB} + D * X^{SD} = L * X^{SA} \quad \text{Ecuación 4.2}$$

$$C * X^{SC} + \cancel{B * X^{SB}} + D * X^{SD} = L * X^{SA}$$

$$C * X^{SC} + D * X^{SD} = L * X^{SA} \quad \text{Ecuación 4.3}$$

Remplazando ecuación (4.1) en ecuación (4.3) para hallar la fracción sólida de la levadura activada:

$$C * X^{SC} + D * X^{SD} = (C + B + D) * X^{SA} \quad \text{Ecuación 4.4}$$

$$X^{SA} = \frac{C * X^{SC} + D * X^{SD}}{C + B + D} = \frac{18 * 1 + 20 * 1}{18 + 120 + 20} \rightarrow X^{SA} = 0,24$$

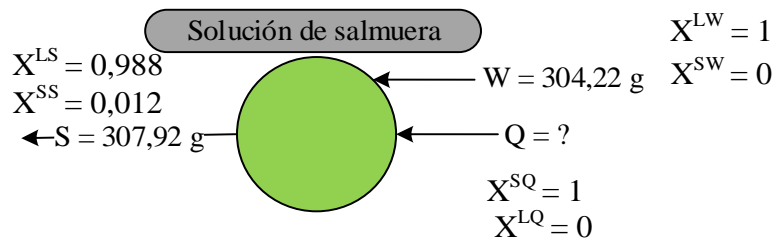
Hallando la cantidad de levadura activada (D) en función de la ecuación (4.3):

$$C * X^{SC} + D * X^{SD} = L * X^{SA}$$

$$L = \frac{C * X^{SC} + D * X^S}{X^{SA}} = \frac{18 * 1 + 20 * 1}{0,24} \longrightarrow L = 158,33 \text{ g}$$

#### 4.9.2 Balance de materia para preparar la solución de salmuera

En la figura 4.32, se muestra el diagrama para la preparación de la solución de salmuera para realizar el balance de materia correspondiente:



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.32.** Solución de salmuera

Para preparar la solución de salmuera, se tomó en cuenta la preparación para 1,2% de concentración de la solución. Así mismo, se realizó el balance de materia parcial por componente sólido.

Balance de materia general para la solución de salmuera:

$$W + Q = S \quad \text{Ecuación 4.5}$$

Balance de materia parcial en componente sólido en base a la ecuación 4.5:

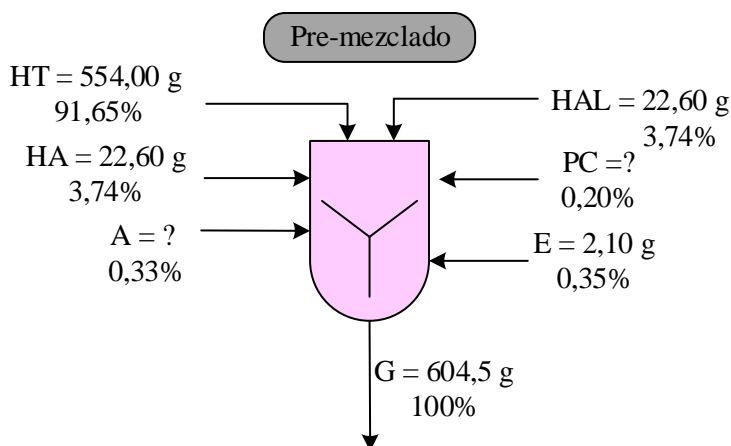
$$W * X^{SW} + Q * X^{SQ} = S * X^{SS} \quad \text{Ecuación 4.6}$$

$$Q * X^{SQ} = S * X^{SS}$$

$$Q = \frac{S * X^{SS}}{X^{SQ}} = \frac{307,92 * 0,012}{1} \longrightarrow S = 3,70 \text{ g}$$

#### 4.9.3 Balance de materia en la etapa de pre-mezclado

En la figura 4.33, se muestra el diagrama para la etapa de pre-mezclado para realizar el balance de materia correspondiente:



**Fuente:** Elaboración propia  
**Figura 4.33.** Pre-mezclado

Para el cálculo de PC (conservante), se tomó en cuenta los porcentajes de rendimiento en la etapa de pre-mezclado:

$$PC = G * (0,020) \quad \text{Ecuación 4.7}$$

$$PC = 604,5 \text{ g} * (0,020)$$

$$PC = 1,21 \text{ g}$$

Para el cálculo de A (azúcar), se tomó en cuenta los porcentajes de rendimiento en la etapa de pre-mezclado:

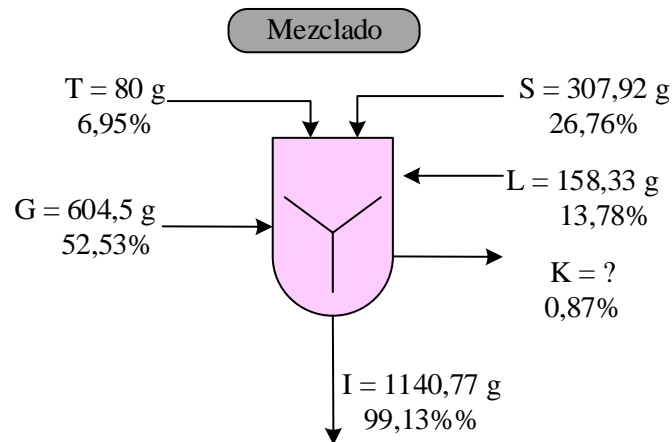
$$A = G * (0,033) \quad \text{Ecuación 4.8}$$

$$A = 604,5 \text{ g} * (0,033)$$

$$A = 1,99 \text{ g}$$

#### 4.9.4 Balance de materia en la etapa de mezclado

En la figura 4.34, se muestra el diagrama para la etapa de pre-mezclado para realizar el balance de materia correspondiente:



**Fuente:** Elaboración propia  
**Figura 4.34.** Mezclado

Para el cálculo de K (pérdida) en la etapa de mezclado, se tomó en cuenta los porcentajes de rendimiento en la etapa de mezclado:

$$K = I * (0,0087)$$

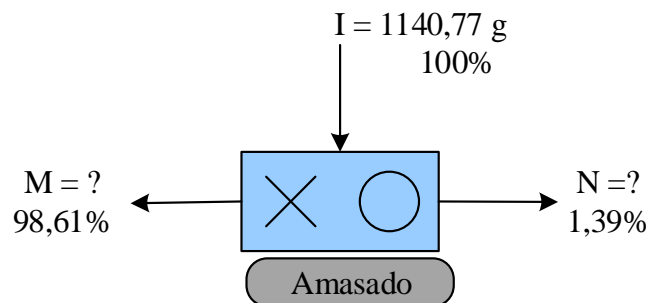
Ecuación 4.9

$$K = 1140,77 \text{ g} * (0,0087)$$

$$K = 9,92 \text{ g}$$

#### 4.9.5 Balance de materia en la etapa de amasado

En la figura 4.35, se muestra el diagrama para la etapa de amasado para realizar el balance de materia correspondiente:



**Fuente:** Elaboración propia  
**Figura 4.35.** Amasado

Para el cálculo de N (pérdida) en la etapa de amasado, se tomó en cuenta los porcentajes de rendimiento en la etapa de amasado:

$$N = I * (0,0139) \quad \text{Ecuación 4.10}$$

$$N = 1140,77 * (0,0139)$$

$$N = 15,86 \text{ g}$$

Para el cálculo de M (masa), se tomó en cuenta los porcentajes de rendimiento en la etapa de amasado:

$$M = I * (0,9861) \quad \text{Ecuación 4.11}$$

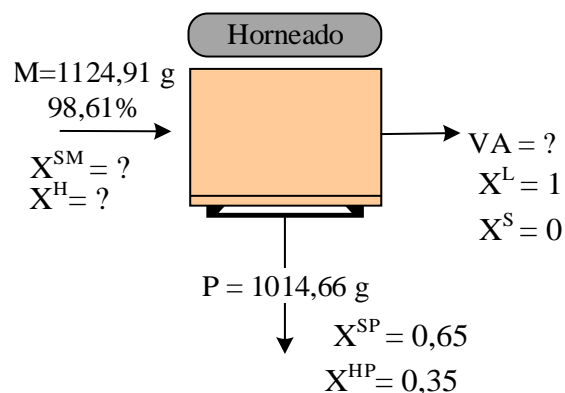
$$M = 1140,77 * (0,9861)$$

$$M = 1124,91 \text{ g}$$

- ◆ En la etapa de moldeado y fermentado de la masa no se realizó el balance de materia parcial ya que el valor de pérdida en ambas etapas no sobrepasa el 0,1 %.

#### 4.9.6 Balance de materia parcial en la etapa de horneado

En la figura 4.36, se muestra el diagrama para la etapa de horneado para realizar el balance de materia correspondiente:



**Fuente:** Elaboración propia  
**Figura 4.36.** Horneado

Balance general en la etapa de horneado del pan molde:

$$M = VA + P \quad \text{Ecuación 4.12}$$

Para el cálculo del agua evaporada (VA) durante la etapa de horneado se tomó en cuenta las cantidades de salida y entrada en base a la ecuación 4.12:

Despejando VA en base a la ecuación 4.12:

$$VA = M - P \quad \text{Ecuación 4.13}$$

$$VA = 1124,41 \text{ g} - 1014,66 \text{ g}$$

$$VA = 110,25 \text{ g}$$

Para hallar el contenido de humedad de la masa (M) que entra al horno, se realizó el balance por componentes en líquido (agua):

$$M * X^H = VA * X^L + P * X^{HP} \quad \text{Ecuación 4.14}$$

$$X^H = \frac{VA * X^L + P * X^{HP}}{M} = \frac{110,25*1 + 1014,66*0,35}{1124,91} \longrightarrow X^H = 0,41$$

Hallando la fracción sólida de la masa que entra al horno:

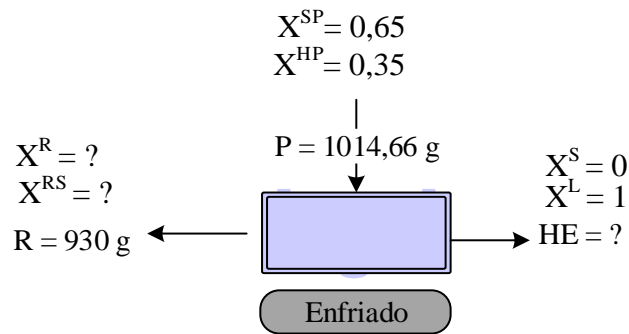
$$\text{Así mismo:} \quad X^H + X^{SM} = 1 \quad \text{Ecuación 4.15}$$

$$\text{Entonces:} \quad X^{SM} = 1 - X^H \quad \text{Ecuación 4.16}$$

$$\text{Por tanto:} \quad X^{SM} = 1 - 0,41 \longrightarrow X^{SM} = 0,59$$

#### 4.9.7 Balance de materia en la etapa de enfriado

En la figura 4.37, se muestra el diagrama para la etapa de enfriado del pan molde para realizar el balance de materia correspondiente:



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.37.** Enfriado

Balance de materia global en la etapa de horneado del pan molde:

$$P = HE + R \quad \text{Ecuación 4.17}$$

Para el cálculo del agua evaporada (HE) durante el enfriado del pan molde se tomó en cuenta las cantidades de salida y entrada en base a la ecuación 4.17:

Despejando HE de la ecuación 4.17:

$$HE = P - R \quad \text{Ecuación 4.18}$$

$$HE = 1014,66 \text{ g} - 930 \text{ g}$$

$$HE = 84,66 \text{ g}$$

Para hallar la humedad del pan molde (R) después del enfriado, se realizó el balance por componente en líquido (agua) en base a la ecuación 4.17:

$$P * X^{HP} = HE * X^L + R * X^{RS} \quad \text{Ecuación 4.19}$$

$$X^{RS} = \frac{P * X^{HP} - HE * X^L}{R} = \frac{1014,66 * 0,35 + 84,66 * 1}{930} \longrightarrow X^{RS} = 0,29$$

Hallando la fracción sólida del pan molde después del enfriado:

$$\text{Así mismo: } X^{RS} + X^R = 1 \quad \text{Ecuación 4.20}$$

$$\text{Entonces: } X^R = 1 - X^{RS} \quad \text{Ecuación 4.21}$$

$$\text{Por tanto: } X^R = 1 - 0,29 \longrightarrow X^R = 0,71$$



#### 4.9.8 Balance de materia en la etapa de envasado

En la figura 4.38, se muestra el diagrama para la etapa de enfriado del pan molde para realizar el balance de materia correspondiente:



**Fuente:** Elaboración propia  
**Figura 4.38.** Envasado

Para el cálculo de V (pan envasado), se tomó en cuenta los porcentajes de rendimiento en la etapa de envasado:

$$V = R * (0,9892) \quad \text{Ecuación 4.22}$$

$$V = 930 \text{ g} * (0,9892)$$

$$V = 919,96 \text{ g}$$

Para el cálculo de U (perdida en el envasado), se tomó en cuenta los porcentajes de rendimiento en la etapa de envasado:

$$U = R * (0,0108) \quad \text{Ecuación 4.23}$$

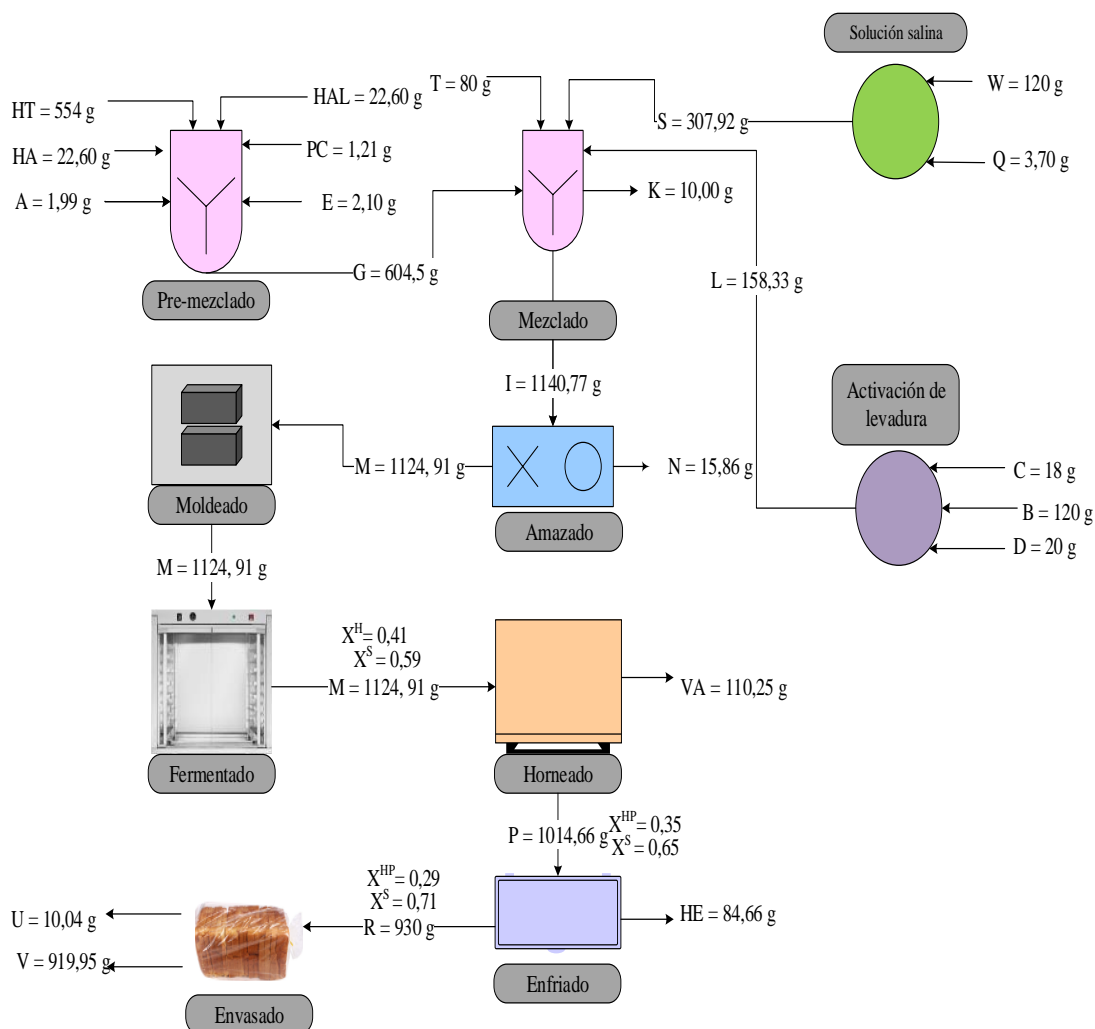
$$U = 930 \text{ g} * (0,0108)$$

$$U = 10,04 \text{ g}$$

Realizado el balance de materia para la elaboración de pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba, se pudo obtener 919,96 g de pan molde y a partir de este se logró envasar 2 unidades de pan molde con peso neto de 460g cada uno. Así mismo, en cada unidad de pan molde se obtuvieron 14 rebanadas de pan.

#### 4.10 Resumen general del balance de materia para el proceso de elaboración de pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba

En la figura 4.39, se muestra el resumen de los resultados obtenidos del balance general de materia para la elaboración de pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba.

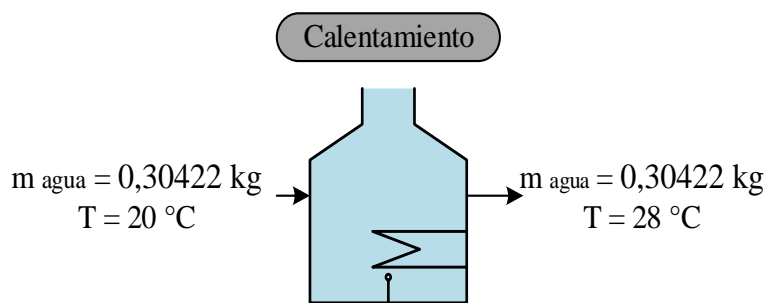


**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.39.** Balance general de materia para el proceso de elaboración de pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba

#### 4.11 Balance de energía en el calentamiento del agua para solución de salmuera

El balance de energía para el calentamiento del agua se realizó para preparar la solución de salmuera (agua + sal). En la figura 4.40, se muestra el diagrama para el balance de energía en el calentamiento de agua.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.40.** Calentamiento del agua

Para calentar el agua para la solución de salmuera se tomó en cuenta el calor necesario para calentar la olla y el calor necesario para calentar el agua a dicha temperatura:

Para calcular el calor necesario para calentar el agua hasta  $28 \text{ °C}$ , se utilizó la ecuación 4.24:

$$Q_{\text{agua}} = m_{\text{agua}} * C_{p \text{ agua}} * \Delta T + m_{\text{agua}} * \lambda \quad \text{Ecuación 4.24}$$

Donde:

$Q_{\text{agua}}$  = calor necesario para calentar el agua (kcal)

$m_{\text{agua}}$  = masa del agua (0,30422 kg)

$\lambda$  = landa de evaporización del agua (538,86 kcal/kg) (Perry, 1911)

$C_{p \text{ agua}}$  = capacidad calórica del agua (1 kcal/kg °C) (Lewis, 1993)

$\Delta T = (T_f - T_i)$  variación de la temperatura en el calentamiento del agua (28 - 20) °C

Remplazando datos en la ecuación 4.24:

$$Q_{\text{agua}} = 0,30422 \text{ kg} * 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } \text{°C}} * (28 - 20) \text{ °C} + 0,30422 * 538,86 \text{ kcal/kg}$$

$$Q_{\text{agua}} = 166,36 \text{ kcal}$$

Para calcular el calor necesario para calentar la olla hasta 28°C, se utilizó la ecuación 4.25, según (Lewis, 1993):

$$Q_{\text{olla}} = m_{\text{olla}} * C_{p \text{ olla}} * \Delta T \quad \text{Ecuación 4.25}$$

Donde:

$Q_{\text{olla}}$  = calor necesario para calentar la olla (kcal)

$m_{\text{olla}}$  = 0,56 kg (masa de la olla)

$C_{p \text{ olla}}$  = capacidad calórica de la olla (0,12 kcal/kg °C) (Lewis, 1993)

$\Delta T = (T_f - T_i)$  variación de temperatura en el calentamiento (28 - 20) °C

Remplazando datos en la ecuación 4.25:

$$Q_{\text{olla}} = 0,56 \text{ kg} * 0,12 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} * (28 - 20)^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{olla}} = 0.54 \text{ kcal}$$

Según (Valiente, 1986) se puede determinar la suma de calores en base a la ecuación simplificada que se muestra a continuación:

$$Q_T = \Sigma Q_i \quad \text{Ecuación 4.26}$$

Donde:

$Q_T = Q_{T.C}$  = Calor total necesario para llevar a cabo un proceso

$\Sigma Q_i$  = suma de calores involucrados en el proceso

Remplazando datos en la ecuación 4.26:

$$Q_{T.C} = 0.54 \text{ kcal} + 166,36 \text{ kcal}$$

$$Q_{T.C} = 166,9 \text{ kcal}$$

#### 4.12 Balance de energía para la etapa de fermentación de la masa de pan molde

Para la etapa de fermentación de la masa del pan molde se utilizó una incubadora con potencia de 1080W durante 0,75 horas. En la figura 4.41, se muestra el diagrama para determinar la energía eléctrica requerida para la incubadora en la etapa de fermentación.

$$\begin{aligned} P &= 1080 \text{ W} \\ T &= 0,75 \text{ horas} \\ E &= ? \end{aligned}$$



**Fuente:** Elaboración propia  
**Figura 4.41.** Fermentación

Según (Rodríguez, 2016), la ecuación para determinar la energía eléctrica es la siguiente:

$$E = P * \Theta \quad \text{Ecuación 4.27}$$

Donde:

E = Energía eléctrica (W/h)

P = Potencia (W)

$\Theta$  = Tiempo (horas)

Así mismo: 1 kcal/h = 1,163 W  $\longrightarrow$  Por tanto: 1080 W  $\longrightarrow$  928,63 kcal/h

Remplazando datos en la ecuación 4.27 para hallar la energía eléctrica requerida.

$$E = 928,63 \text{ kcal/h} * 0,75 \text{ h}$$

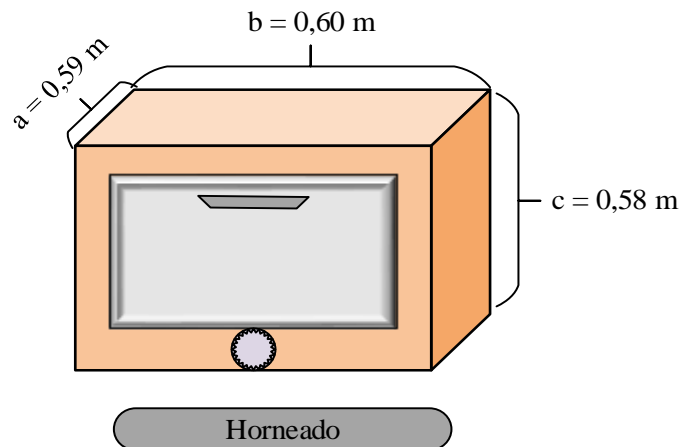
$$E = 696,47 \text{ kcal}$$

La cantidad de energía eléctrica requerida en la incubadora para llevar a cabo la fermentación durante 0,75 horas es de 696,47 kcal para 1,1249 kg de masa para pan molde.

#### 4.13 Balance de energía para el horneado del pan molde

El balance de energía para el horneado del pan molde se realizó para 1,1249 kg de masa para pan y para lo cual los cálculos son detallados en base a las condiciones de la ciudad de Tarija; altura de 1866 msnm y presión atmosférica de 606,25 mmHg (80,83 kPa).

Para realizar el balance de energía en el horneado del pan molde se tomó en cuenta la cantidad de calor necesario para calentar el aire dentro el horno, el calor necesario para calentar el molde del pan, el calor necesario para cocción de la masa del pan y el calor necesario para evaporar el agua del pan. En la figura 4.39 se muestra el diagrama para el balance de energía del horneado del pan molde.



**Fuente:** Elaboración propia  
**Figura 4.42.** Horneado

Donde:

- $a$  = Ancho del horno
- $b$  = Base del horno
- $c$  = Altura del horno

#### 4.13.1 Balance de energía para calentar el horno

Para determinar el calor necesario para calentar el aire dentro el horno, primero se determinó la masa de aire dentro el horno para lo cual se utilizó la fórmula matemática para hallar el volumen del horno (ecuación 4.28) y posteriormente la masa del aire en base a la densidad (ecuación 4.29):

$$V = a * b * c \quad \text{Ecuación 4.28}$$

#### Donde:

V = volumen de aire (m<sup>3</sup>)

a = Ancho del horno (m)

b = Base del horno (m)

c = Altura del horno(m)

#### Remplazando datos en la ecuación 4.28 para hallar el volumen del horno:

$$V = (0,59 * 0,60 * 0,56) \text{ m}^3$$

$$V = 0,20 \text{ m}^3$$

Para determinar la masa de aire dentro el horno se utilizó la fórmula de densidad en base a la ecuacion 4.29:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Ecuación 4.29}$$

#### Donde:

$\rho$  = Densidad del aire (1,2 kg/m<sup>3</sup>) (Lewis, 1993):

m = Masa del aire (kg)

V = Volumen del aire (m<sup>3</sup>)

**Despejando  $m_{\text{aire}}$  y reemplazando datos en la ecuación despejada:**

$$\text{Por tanto: } m_{\text{aire}} = \rho * V \quad \text{Ecuación 4.30}$$

$$\text{Entonces: } m_{\text{aire}} = 1,2 \text{ kg/m}^3 * 0,20 \text{ m}^3 \longrightarrow m_{\text{aire}} = 0,24 \text{ kg}$$

Habiéndose hallado la masa de aire dentro el horno, en base a la ecuación 4.31 según (Lewis, 1993), se determinó el calor necesario para calentar el aire dentro el horno que inicia con temperatura de 20°C y alcanza una temperatura final de 165°C:

$$Q_{\text{aire}} = m_{\text{aire}} * C_{p \text{ aire}} * \Delta T \quad \text{Ecuación 4.31}$$

**Donde:**

$Q_{\text{aire}}$  = calor necesario para calentar el aire dentro el horno (kcal)

$m_{\text{aire}}$  = masa del aire (0,24 kg)

$C_{p \text{ aire}}$  = capacidad calórica del aire (0,24 kcal/kg °C)

$\Delta T = (T_f - T_i)$  variación de la temperatura en el horno (165 - 20) °C

**Reemplazando datos en la ecuacion 4.31:**

$$Q_{\text{aire}} = 0,24 \text{ kg} * 0,24 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} * (165 - 20)^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{aire}} = 8,35 \text{ kcal}$$

**4.13.2 Balance de energía para calentar el molde del pan**

Para determinar el calor necesario para calentar el molde de pan introducido al horno se utilizó la ecuación 4.32:

$$Q_{\text{molde}} = m_{\text{molde}} * C_{p \text{ molde}} * \Delta T \quad \text{Ecuación 4.32}$$

**Donde:**

$Q_{\text{molde}}$  = Calor necesario para calentar el molde para pan (kcal)

$m_{\text{molde}}$  = Masa del molde para pan (0,171 kg)



$C_{p \text{ molde}} = \text{Calor específico del molde (0,12 kcal/kg } ^\circ\text{C)}$

$\Delta T = (T_f - T_i)$  variación de temperatura (165 - 20)  $^\circ\text{C}$

**Remplazando datos en la ecuacion 4.32:**

$Q_{\text{molde}} = 0,171 \text{ kg} * 0,12 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} * (165 - 20) ^\circ\text{C}$

$Q_{\text{molde}} = 2,98 \text{ kcal}$

#### 4.13.3 Balance de energía para cocción de la masa de pan

Para determinar el calor necesario para la cocción de la masa de pan, primero se determinó el  $C_{p \text{ pan}}$  en base a la ecuacion 4.33:

$$C_{p \text{ pan}} = \underbrace{m_a * C_a}_{\text{(agua)}} + \underbrace{m_c * C_c}_{\text{(carbohidrato)}} + \underbrace{m_p * C_p}_{\text{(proteína)}} + \underbrace{m_g * C_g}_{\text{(grasa)}} + \underbrace{m_z * C_z}_{\text{(ceniza)}} \quad \text{Ecuación 4.33}$$

**Donde:**

$m_a, m_c, m_p, m_g$  y  $m_z$  = fracciones de masa de los componentes del alimento

$C_a, C_c, C_p, C_g, C_z$  = calores específicos de los componentes del alimento

Para el valor de los calores específicos de cada componente alimentario se tomó en cuenta la tabla 4.29 (Lewis, 1993):

**Tabla 4.29**

#### *Calores específicos de componentes alimentarios*

Componente	Calor específico (kcal/kg $^\circ\text{C}$ )
Ca	0,9990451
Cc	0,3346084
Cp	0,3824096
Cg	0,4063102
Cz	0,1912048

**Fuente:** Lewis, 1993

Para el valor de las fracciones de la masa de cada componente, se tomó en cuenta los resultados del pan molde enriquecido con harina de avena y algarroba obtenidos según (CEANID, 2021) (Anexo H), y en base a estos datos se convirtió a fracción obteniéndose:

$m_a = 0,2952$  (fracción de masa del componente agua)

$m_c = 0,5688$  (fracción de masa del componente carbohidrato)

$m_p = 0,0234$  (fracción de masa del componente proteína)

$m_g = 0,0812$  (fracción de masa del componente graso)

$m_z = 0,0099$  (fracción de masa del componente cenizas)

Habiéndose obtenido los datos de fracciones de masa y datos de  $C_p$  se remplazaron en la ecuación 4.33 para hallar el  $C_p$  del pan molde:

$$C_{p_{\text{pan}}} = m_a * C_a + m_c * C_c + m_p * C_p + m_g * C_g + m_z * C_z$$

$$C_{p_{\text{pan}}} = 0,2952 * 0,99904508 + 0,5688 * 0,3346084 + 0,0234 * 0,3824096 + 0,0812 * 0,406312 + 0,0099 * 0,1912048$$

$$C_{p_{\text{pan}}} = 0,53 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

Habiéndose determinado el  $C_p$  del pan, se determinó el calor necesario para la cocción de la masa del pan molde en base a la ecuación 4.34:

$$Q_{\text{pan}} = m_{\text{pan}} * C_{p_{\text{pan}}} * \Delta T + m_{\text{agua evap}} * \lambda \quad \text{Ecuación 4.34}$$

**Donde:**

$Q_{\text{pan}}$  = Calor necesario para la cocción de la masa de pan molde (kcal)

$m_{\text{pan}}$  = Masa del pan molde (1,1249 kg)

$\lambda$  = Landa de evaporización del agua (538,86 kcal/kg) (Perry, 1911)

$C_{p_{\text{pan}}}$  = Calor específico del pan (0,53 kcal/kg  $^\circ\text{C}$ )

$m_{\text{agua evap}} = \text{masa del agua evaporada (0,11025 kg)}$

$\Delta T = (T_f - T_i)$  variación de temperatura (165 - 20) °C

**Remplazando datos en la ecuacion 4.34:**

$$Q_{\text{pan}} = 1,1249 \text{ kg} * 0,53 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} * (165 - 20) ^\circ\text{C} + 0,11025 \text{ kg} * 538,86 \text{ kcal/kg}$$

$$Q_{\text{pan}} = 145,86 \text{ kcal}$$

#### **4.13.4 Balance de energía para evaporar el agua de la masa del pan molde**

Para determinar el calor necesario para evaporar el agua de la masa del pan, se utilizó la ecuación 4.35:

$$Q_{\text{agua evap.}} = m_{\text{pan}} * X_{\text{pan}} * \lambda \quad \text{Ecuación 4.35}$$

**Donde:**

$Q_{\text{agua evap.}}$  = calor para evaporar el agua de la masa del pan molde (kcal)

$m_{\text{pan}}$  = masa del pan (1,1249)

$X_{\text{pan}}$  = contenido de humedad de la masa (0,41)

$\lambda$  = landa de vaporización del agua (538,86 kcal/kg) (Perry, 1911)

**Remplazando datos en la ecuacion 4.35:**

$$Q_{\text{agua evap.}} = 1,1249 \text{ kg} * 0,41 * 538,86 \text{ kcal/kg}$$

$$Q_{\text{agua evap.}} = 248,53 \text{ kcal}$$

#### 4.14 Balance de energía para determinar la cantidad de calor total necesario en la elaboración del pan molde

Para determinar la cantidad total de calor necesario para llevar a cabo el calentamiento del agua, para la solución de salmuera y el horneado de la masa del pan molde, se utilizó la ecuación simplificada 4.36 (Valiente, 1986):

$$Q_T = \sum Q_i \quad \text{Ecuación 4.36}$$

Donde:

$Q_T$  = Calor total necesario para llevar a cabo un proceso

$\sum Q_i$  = suma de calores involucrados en el proceso

#### Remplazando datos en la ecuación 4.36:

$$Q_T = Q_{T.C} + Q_{\text{aire}} + Q_{\text{molde}} + Q_{\text{pan}} + Q_{\text{agua evap.}} \quad \text{Ecuación 4.36}$$

Donde:

$$Q_T = 166,9 \text{ kcal} + 8,35 \text{ kcal} + 2,98 \text{ kcal} + 145,86 \text{ kcal} + 248,53 \text{ kcal}$$

$$Q_T = 572,62 \text{ kcal}$$

**CAPÍTULO V**

**CONCLUSIONES Y**

**RECOMENDACIONES**

## 5.1 Conclusiones

- ◆ Realizado el análisis fisicoquímico en la harina de trigo muestra que la harina de trigo contiene: ceniza 0,8%, fibra 0,00%, gluten húmedo 31,97%, grasa 2,39%, hidratos de carbono 73,33%, humedad 10,62%, proteína total 12,86%, y valor energético 366,27 Kcal/100 g.
- ◆ Realizado el análisis fisicoquímico en la harina de avena contiene: ceniza 1,34%, fibra 0,00%, gluten húmedo 0,00%, grasa 2,77%, hidratos de carbono 78,28%, humedad 9,33%, proteína total (Nx5,83) 8,28%, y valor energético 371,17 Kcal/100g.
- ◆ Realizado el análisis fisicoquímico en la harina de algarroba contiene: ceniza 3,71%, fibra 0,12%, gluten húmedo 0,00%, grasa 1,61%, hidratos de carbono 78,28%, humedad 6,19%, proteína total (Nx6,25) 10,13% y valor energético 367,97 Kcal/100 g.
- ◆ Realizado la evaluación sensorial para las pruebas preliminares de pan común indica que según el análisis estadístico de varianza no existe diferencia significativa entre los atributos (color, sabor, apariencia, adhesividad y cohesividad) de las muestras evaluadas para un nivel de confianza  $\alpha=0,05$ . Sin embargo, en base a la preferencia de los jueces se tomó en cuenta la dosificación y parámetros de proceso de la muestra PDT3.
- ◆ Realizado la evaluación sensorial para las pruebas iniciales de pan molde a partir de la formulación de mezclas de harina de trigo, avena y algarroba indica que las muestras con mayor aceptación por los jueces son las muestras M04 y M06 en los atributos color, olor, sabor, alveolado y adhesividad. Así mismo, se tomó en cuenta la muestra M06 con el fin de obtener un pan molde enriquecido.

- ◆ Aplicado el diseño experimental  $2^3$  en la etapa de dosificación para la elaboración de pan molde, se puede establecer que para las variables; harina de avena (A), harina de algarroba (B) y agua (C), existe evidencia estadística significativa debido que  $F_{cal} > F_{tab}$ , por tanto, se rechaza la hipótesis planteada.
- ◆ Realizado la evaluación sensorial para comparar muestra experimental e ideal se pudo evidenciar que no existe diferencia significativa entre los atributos de las muestras evaluadas para un nivel de confianza  $\alpha = 0,05$ . Así mismo, tomando en cuenta la preferencia de los jueces por las muestras F02 y D03, se tomó en cuenta la muestra D03 por presentar mejores parámetros de proceso durante el amasado.
- ◆ Aplicado el diseño experimental  $2^2$  en la etapa de horneado se pudo concluir que la interacción de los factores (tiempo-temperatura) es estadísticamente significativo para un nivel de confianza  $\alpha = 0,05$  ya que  $F_{cal} > F_{tab}$ , por tanto, se rechaza la hipótesis planteada.
- ◆ Realizado el control de pH, contenido de humedad y acidez (ácido láctico) en el producto final durante el almacenamiento indica que en función del tiempo el contenido de humedad inicia con 27,27% y disminuye levemente hasta 25,98%. así mismo el pH del pan molde inicia con un valor de 6,01 y disminuye a 5,88, mientras que, la acidez (ácido láctico) presente en el pan molde desciende significativamente entre un valor de (0,17 - 0,11) %.
- ◆ Realizado el análisis fisicoquímico en el producto final se indica que presenta: ceniza 0,99 %, fibra 2,15 %, grasa 8,12 %, hidratos de carbono 56,88 %, humedad 29,52 %, proteína total (Nx6,25) 2,34 %, y valor energético 309,96 Kcal/100 g.
- ◆ Realizado el análisis microbiológico en el producto final indica que presenta: bacterias aerobias mesófilos  $7,0 \times 10^1$  UFC/g, mohos y levaduras  $< 1,0 \times 10^3$  (\*) UFC/g y *Staphylococcus aureus*  $< 1,0 \times 10^1$  (\*) UFC/g.

- ◆ Realizado el balance de materia y energía se evidencio que a partir de 1124,91 g de masa para pan molde se obtiene 930 g de pan molde (2 unidades de pan molde cada uno con 460 g de peso neto). Así mismo, para determinar la cantidad total de calor para llevar a cabo el calentamiento del agua para la solución de salmuera y el horneado de la masa del pan molde se requiere 572,62 kilocalorías y para la incubadora se necesitan 696,47 kilocalorías de energía eléctrica para llevar a cabo la fermentación de la masa de pan por un tiempo de 0,75 horas.

## **5.2 Recomendaciones**

- ❖ Se recomienda realizar el estudio de envejecimiento del pan molde, ya que permite conocer los fenómenos fisicoquímicos que involucra la durabilidad del pan, para ofrecer productos panificados de larga duración.
- ❖ Se recomienda elaborar productos panificados a base de harinas como; centeno, amaranto, quinua u otros, con la finalidad de enriquecer la masa de panificación para brindar a la población Tarijeña variedad de panes con calidad nutricional.
- ❖ Se recomienda elaborar panes precocidos u horneados a base de harinas sin gluten, con la finalidad de incluir al mercado local panes especiales exclusivamente para personas celiacas.
- ❖ Se recomienda la compra de fermentadores exclusivamente para panes, ya que permiten mayor control de tiempo y temperatura durante la fermentación de las masas obteniendo panes de mejor calidad organoléptica.