

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

1 Antecedentes

El pan es considerado como el más universal de todos los productos horneados y ha sido tan importante en la alimentación humana que se considera como sinónimo de alimento básico en la canasta familiar en muchas culturas, entre ellas la Europea, Oriental, India y Americana (Hernández, 2010).

Actualmente, algunas de las industrias que fabrican pan en España, México, Venezuela, Argentina, Colombia trabajan en una serie de ensayos con dos tipos de arroces, grano largo y grano corto. Las harinas de estas pruebas fueron utilizadas en la elaboración de pan con aditivos como la hidroxipropilmetilcelulosa. Compararon los resultados obtenidos con harina de trigo (100 %) y la mezcla con harina de trigo (50 %) y harina de arroz (50%), encontrando una importante mejora en las propiedades panificables y en la calidad de textura de miga con las pruebas obtenidas a partir del arroz de grano largo (Ortiz & Soliz, 2007).

En la actualidad se sigue haciendo esfuerzos para que el consumo de cereales y legumbres en Bolivia sea mayor y proporcione a la población varios beneficios nutricionales incorporándolo en la elaboración de productos de amplia comercialización tales como panes y galletas, con la finalidad de mejorar de vida a las personas que lo consuman (Ruiz, 2017).

En Bolivia el mercado de panes se divide en dos segmentos: panes salados que representan 90 % del consumo de la población y los panes dulces, que participan con el 10 % del mercado. Existen dos tipos de presentaciones, los panes envueltos que representan el 11,5 % y los panes a granel 88,5 % de las ventas. Actualmente, algunas marcas de panes bolivianos (La Francesa, Famosa, San Luis, san Gabriel, la Suprema, Irupana, D'Onofrio entre otras industrias Leo Nothmann), han logrado ingresar al mercado del sur de Perú, debido a sus precios bajos (Medina, 2018).

El propósito del presente trabajo es elaborar pan tipo molde con harina de arroz y trigo con la finalidad de obtener un producto de calidad nutricional para la provincia Cercado.

1.2 Justificación

- De acuerdo a la tendencia del consumidor actual de consumir alimentos con beneficios para su salud y de fácil preparación, se busca elaborar pan tipo molde incorporando harina de arroz y trigo con la finalidad de brindar otra opción de consumo.
- Se pretende elaborar pan molde con harina de arroz, con la finalidad de aumentar el valor agregado del arroz mediante la aplicación del proceso de panificación. Así mismo, obtener un producto de calidad nutricional para la provincia Cercado.
- En el mercado local no se encuentra pan tipo molde con harina de arroz y trigo que incorpore harina de arroz, por tal motivo se pretende elaborar un pan molde incorporando harina de arroz y trigo; con la finalidad de que exista otra alternativa en cuanto a consumo de panes tipo molde para la población tarijeña.
- Debido a las propiedades nutricionales del arroz (baja concentración de sodio y alto contenido de azúcares de fácil digestión), se busca aprovechar estas propiedades nutricionales para enriquecer el pan molde y la dieta alimentaria de la población de la provincia Cercado.

1.3 Objetivos

Los objetivos planteados en el presente trabajo de investigación para la elaboración de pan tipo molde con harina de arroz y trigo, se describen a continuación:

1.3.1 Objetivos generales

Proponer una metodología experimental de proceso de panificación que permita elaborar pan tipo molde con harina de arroz y trigo, con la finalidad de obtener un producto de calidad para la provincia Cercado.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar las características fisicoquímicas de la harina de arroz y harina de trigo, con la finalidad de establecer su composición.
- Determinar las características microbiológicas de la harina de arroz y harina de trigo, con la finalidad de establecer su carga microbiana.
- Realizar la valoración subjetiva de las pruebas iniciales de pan tipo molde con harina de arroz y trigo, con el fin de determinar las Pruebas preliminares.
- Realizar evaluación sensorial a las pruebas preliminares de pan tipo molde con harina de arroz y trigo, con el fin de determinar la prueba ideal.
- Aplicar el diseño experimental en la etapa de dosificación y fermentación, para establecer las variables de control.
- Aplicar el diseño experimental en la etapa de horneado, para establecer las variables control.
- Realizar el control de parámetros fisicoquímicos y durabilidad del producto terminado, durante el almacenamiento.
- Determinar las características fisicoquímicas en el producto terminado, con el objetivo de establecer su calidad nutricional.
- Determinar las características microbiológicas en producto terminado, con el objeto de establecer su calidad.
- 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

Aplicar el proceso de panificación para la elaborar pan molde con harina de arroz y trigo, para la población de la provincia Cercado.

1.5 Campo de acción

Los campos de acción propuestos para el siguiente trabajo de investigación son:

1.5.1 Espacial

El campo espacial fue desarrollado en la provincia Cercado.

1.5.2 Temporal

El campo temporal que se desarrolló el trabajo de investigación fueron entre las gestiones 2021-2022.

1.5.3 Institución

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

1.6 Situación problema

En Tarija no existe pan tipo molde elaborado con harina de arroz; además que es escasamente aprovechada debido al desconocimiento de sus propiedades nutricionales como ser; bajo concentración de sodio y alto contenido de azúcares de fácil digestión. Así mismo en el mercado local de Tarija existe una gran variedad de productos panificados hechos a base de harina de trigo refinada (pan común, francés, de molde, entre otros, etc.), que son elaborados de manera artesanal y semi industrial. Sin embargo, no existen panificadoras que elaboren este tipo de pan molde con harina de arroz y trigo en la provincia de Cercado. Por tal motivo, con el presente trabajo de investigación se pretende elaborar un producto panificado incorporando harina de arroz, aplicando el proceso de panificación con la finalidad de mejorar el valor agregado de esta materia prima obteniendo pan molde de calidad nutricional que le permita a la población de la provincia Cercado acceder a una dieta nutritiva y variada respecto a producto panificados.

1.7 Formulación del problema

¿Se logrará elaborar pan tipo molde incorporando harina de arroz y trigo, mediante la metodología experimental propuesta de proceso de panificación con la finalidad de obtener un producto de calidad nutricional para la provincia Cercado?

1.8 Planteamiento de la hipótesis

La metodología experimental propuesta de proceso de panificación a ser aplicado, permitirá elaborar pan tipo molde con harina de arroz y trigo de calidad nutricional para el consumo de la población de la provincia Cercado.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 Origen del pan

Según Gil & Serra, (2010) los primeros panes se hallan en el Neolítico y tienen entre 6000-9000 años antes de Cristo, ya que nos es posible hablar de la historia de la humanidad sin referirse al pan y al trigo.

Según Mesas & Alegre, (2002), existen bajo relieves 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.

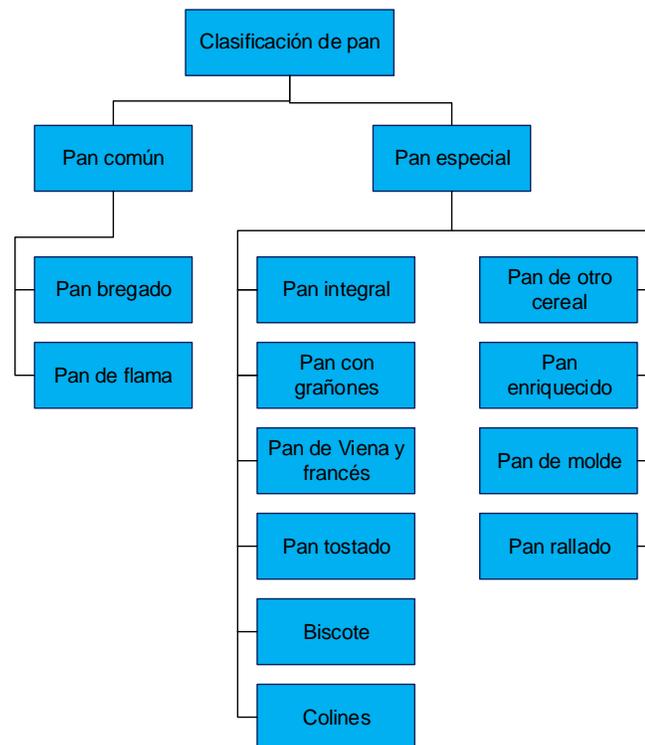
2.2 Definición del pan

El pan, según el Codex Alimentarius (2001), es el producto resultante de la masa obtenida por la mezcla de harina de trigo y de agua potable, con o sin adición de sal comestible, fermentada por especies de microorganismos propios de la fermentación panaria.

Según el Código Alimentario Argentino (C.A.A, 2008), define el producto alimenticio conocido como pan, con la denominación genérica de pan, se entiende el producto obtenido por la cocción en hornos y a temperatura conveniente de una masa fermentada o no, hecha con harina y agua potable, con o sin el agregado de levadura, con o sin la adición de sal, con o sin la adición de otras sustancias permitidas para esta clase de productos alimenticios.

2.3 Clasificación del pan

Según la Reglamentación Técnico Sanitaria (RTS) de España, se puede decir que el pan se clasifica dentro de cada una de las categorías, de pan común y pan especial. Hay que tener en cuenta que los productos semielaborados, cuando estén terminados de cocer para su consumo, pasarán a convertirse en algunas de sus variedades. (Gil & Serra, 2010)



Fuente: Gil & Serra, 2010

Figura 2.1: Tipos de pan según RTS de España

2.3.1 Pan común

Elaborado con harina de trigo, levadura, agua y sal. De acuerdo a la textura de la miga, según ésta sea dura y compacta, o ya sea, blanda y esponjosa podemos encontrar dos clases de pan común (Gil & Serra, 2010):

- Pan bregado, de miga dura, español o candeal: Es el obtenido mediante elaboración en la que es indispensable el uso de cilindros refinadores. Se considera pan bregado todas aquellas variedades regionales elaboradas a partir de una masa de pan candeal, con las distintas denominaciones que cada una adopta, como la telera, lechuguino, Fabiola, pan de cruz y otras existentes.
- Pan de flama o miga blanda: Es el obtenido con un a mayor proporción de agua que el pan bregado y que no precisa normalmente del refinado con cilindros. Se considera pan de flama todas aquellas especialidades regionales y otras tales

como la baguette, la chapata, el pan francés, el payes, el gallego y otras existentes elaborado a partir de pan de flama.

2.3.2 Pan especial

Es aquel pan en el cual se ha incorporado cualquier aditivo y coadyuvante tecnológico de la panificación; autorizados para panes especializados, tanto a la masa panaria como a la harina, y puede recibir la siguiente clasificación (Gil & Serra, 2010):

- Pan Integral: Es el elaborado con harina integral.
- Pan con grañones: Es el elaborado con harina integral al que se le han añadido grañones convenientemente tratados.
- Pan de Viena y pan francés: Es el pan de flama elaborado a base de masa blanda, entre cuyos ingredientes deben entrar, además de los básicos, azúcar, leche o ambos a la vez, en la cantidad suficiente para una buena práctica de fabricación.
- Pan tostado: Es el que, después de su cocción, es cortado en rebanadas y sometido a tostado y envasado.
- Biscote: Es el que, después de su cocción en moldes con tapa, es cortados en rebanadas y sometido a tostado y envasado.
- Colines: Son los fabricados con una masa panaria que contiene la cantidad suficiente de grasa para una buena práctica de fabricación, laminada, cortada en cilindros, fermentada y horneada.
- Pan de otro cereal: Es aquel en el que se emplea harina de trigo mezclada con harina de otro cereal en una proporción mínima del 51% y recibe el nombre de pan de este último cereal.
- Pan enriquecido: Es aquel en cuya elaboración se han incorporado harinas enriquecidas o en el que se han empleado sustancias enriquecedoras, según lo dispuesto en la legislación vigente.
- Pan de molde o americano: Es aquel que tiene una ligera corteza blanda y que para su cocción ha sido introducido en molde.

- Pan rallado: Es el producto resultante de la trituración industrial del pan. Se prohíbe fabricarlo con restos de pan procedentes de establecimientos de consumo.

2.4 Valor nutricional del pan molde blanco

El pan es un alimento realmente básico en una dieta sana y equilibrada; ya que aporta fibra, hidratos de carbono, vitaminas, minerales y proteínas. Dados sus beneficios, el pan contiene importantísimas propiedades nutricionales, de forma que se convierte en imprescindible en la alimentación (Isique, 2014). En la tabla 2.1, se prueban los valores nutricionales del pan molde blanco por cada 100 gramos de porción comestible.

Tabla 2.1

Valor nutricional de pan molde blanco

Componentes	Valor	Unidad
Energía	268,0	Kcal
Proteínas	8,0	g
Hidratos de carbono	52,0	g
Fibra	3,2	g
Lípidos	4,5	g
Agua	32,3	g
Sodio	480,0	mg

Fuente: (Moreiras et al.,1998)

2.4.1 Propiedades beneficiosas del pan tipo molde con harina de arroz

Los beneficios que brindan a nuestro organismo el consumo del pan tipo molde con harina de arroz son los siguientes (Berrocal, 2016):

- Un alimento saludable y necesario en la dieta diaria, cuyo consumo, en cantidades apropiadas, no implica ningún riesgo para mantener un peso corporal saludable.
- Aporta energía debido a que tiene un alto contenido de hidratos de carbono, que son los responsables de aportar energía al organismo.

- Los panes integrales o de grano entero tienen mayor contenido de fibra que el pan blanco. La fibra ayuda a regular la digestión evitando el estreñimiento y, además, permite controlar los niveles de azúcar y colesterol de la sangre previniendo las enfermedades del corazón. (Berrocal, 2016).
- El pan es versátil, tiene una gran variedad de sabores y presentaciones, desde el clásico hasta el que contiene varios cereales de grano entero. Puede utilizarse a diario como parte del desayuno (Berrocal, 2016).

2.5 Caracterización de las propiedades de harina de arroz y trigo

Las harinas utilizadas para la elaboración de pan tipo molde con harina de arroz y trigo son:

2.5.1 Harina de arroz

La harina de arroz es el resultado de la molturación del grano sano y limpio de este cereal, dando como resultado un cambio en sus propiedades físicas que le confieren nuevos usos y aplicaciones, pero manteniendo las mismas características nutricionales que las del arroz del que se obtiene. Esas propiedades nutricionales del arroz en consecuencia también de la harina) han hecho de este cereal un elemento básico en la alimentación mundial siendo el segundo más cultivado después del trigo (FAO, 1994).

2.5.1.1 Composición fisicoquímica de la harina de arroz

La composición fisicoquímica de la harina de arroz, se describe a continuación:

2.5.1.1.1 Cenizas

El porcentaje de ceniza presente en la harina de trigo influye en la calidad y comportamiento de las mismas. En relación con el porcentaje de cenizas se apreció que el arroz blanco posee un valor de 0,11% (Berrocal, 2016).

2.5.1.1.2 Fibra

Arroz, blanco, de grano largo, normal, crudo, no enriquecido es un tipo de Los granos de cereales y pastas. En 100 g (Gramos) de Arroz, blanco, de grano largo, normal, crudo, no enriquecido hay 1.3 g de Fibra, dietética total (FAO, 1994).

2.5.1.1.3 Grasa

Este cereal aporta muy poca cantidad de grasa, que representa tan solo un 0,2% de su contenido en nutrientes y, como todos los alimentos de origen vegetal, no contiene colesterol (Borja, 2015).

2.5.1.1.4 Hidratos de carbono

Al estar compuesta de arroz, uno de los alimentos más populares la harina de arroz contiene abundantes cantidades de hidratos de carbono, Este aporte de carbohidratos lo hace en forma de almidón por lo que es muy adecuada para las personas con diabetes ya que este tipo de azúcar es de metabolización lenta, lo que asegura un suministro continuo minimizando así el riesgo de padecer hipoglucemia (FAO, 1994).

2.5.1.1.5 Humedad

El contenido de humedad es un factor importante a conocer, ya que este parámetro está relacionado con la estabilidad del mismo, mientras menos agua se encuentre en el producto mayor será su tiempo de vida útil, la harina de trigo posee un porcentaje de humedad de 12,86 % (Castillo & Olivos, 2018).

2.5.1.1.6 Proteína

La proteína de la harina de arroz está presente en un 7%, y es deficiente en un aminoácido esencial, la lisina. No obstante, combinándolo con otros alimentos, como las legumbres, se puede obtener una proteína de excelente calidad proteica, al complementarse sus aminoácidos (Borja, 2015).

2.5.1.1.7 Valor energético

Desde un punto de vista nutricional, el arroz es un alimento especialmente rico en hidratos de carbono complejos (70 - 80%), como el almidón, que proporcionan la mayor parte de su valor energético. Estos hidratos de carbono complejos se digieren lentamente en el cuerpo humano proporcionando un nivel constante de glucosa al organismo (Andrade, 2011). En la tabla 2.2, se prueba la composición fisicoquímica de la harina de arroz.

Tabla 2.2

Composición fisicoquímica de la harina de arroz

Parámetros	Valor	Unidades
Ceniza	0,11	%
Fibra	1,30	%
Grasa	0,20	%
Hidratos de carbono	80,89	%
Humedad	12,86	%
Proteínas	7,00	%
Valor energético	269,05	Kcal/100g

Fuente: Gil & Serra, 2010

2.5.2 Harina de trigo

La harina de trigo es la más preferida para emplearla en las masas sin gluten, ya que contiene lo necesario para elaborar un buen pan: es una harina liviana y su grano se considera un alimento «funcional». Contiene un 13 %, aproximadamente, de proteínas de alto valor biológico, y aporta todos los aminoácidos esenciales. El índice glucémico es de medio a bajo y tiene mucha fibra, incluso superando a los cereales integrales y las legumbres conocidas (Mendez, 2020).

2.5.2.1 Composición fisicoquímica de la harina de trigo

La composición química de la harina de trigo se describe a continuación:

2.5.2.1.1 Ceniza

Las cenizas es la materia mineral que queda después que las materias orgánicas en la harina que han sido quemadas; estos minerales son fosfato de potasio, magnesio, calcio y rastros de hierro y aluminio (Salvador, 2019).

2.5.2.1.2 Fibra

La harina de trigo blanco contiene un 40% de fibra, de la cual el 30% es almidón resistente. En comparación con un promedio de 13% y 5% respectivamente para el trigo estándar (Salvador, 2019).

2.5.2.1.3 Grasa

El contenido de grasa depende del grado de extracción de la harina. En ellas se encuentra la sustancia colorante "caroteno" que da color a la harina. Las harinas finas tienen menor cantidad de aceite (Mesas & Alegre, 2002).

2.5.2.1.4 Hidratos de carbono

Constituyen la parte mayor del endospermo del trigo. El principal componente de la harina que contribuye en el poder de absorción gracias a que es muy ávido de agua es el almidón. Contienen el 60 a 68% Almidón (19 a 26% de amilosa y 74 a 81% amilopectina), 6,5 % Pentosas, 2 a 2,5 % celulosa, 1,5 %. (Cauvain, 2002).

2.5.2.1.5 Humedad

El contenido de humedad en la harina de trigo varia alrededor del 15%, la harina es hidrocópica, es decir, que se ve influenciada por la variación de la humedad atmosférica. (Gil & Serra, 2010)

2.5.2.1.6 Proteínas

Las proteínas son sustancias nitrogenadas; hay solubles, como la albúmina (soluble en agua) y la globulina (soluble en solución salina), e insolubles, que constituyen el gluten, y se pueden separar por lavado de la harina de trigo (Salvador, 2019).

2.5.2.1.7 Valor energético

El valor energético de la harina de trigo es de 352 calorías por cada 100 gramos. Aunque mucha gente piense lo contrario, esta cifra no varía demasiado si escogemos la variedad de harina de trigo integral (339 calorías por cada 100 gramos), aunque, al tener mayor cantidad de fibra, la harina integral seguramente nos resultará más saciante (Salvador, 2019). En la tabla 2.3, se prueba la composición fisicoquímica de la harina de trigo.

Tabla 2.3

Composición fisicoquímica de la harina de trigo

Parámetros	Valor	Unidades
Ceniza	0,6	%
Fibra	2,0	%
Grasa	1,0	%
Hidratos de carbono	76,0	%
Humedad	14,0	%
Proteína total	10,0	%
Valor energético	364,0	Kcal/100 g

Fuente: (Gil & Serra, 2010)

2.6 Propiedades de los insumos alimenticios utilizados en la elaboración del pan tipo molde con harina de arroz y trigo

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

2.6.1 Levadura

La levadura es un microorganismo unicelular que no es ni planta ni animal (es un miembro del reino Fungí) y necesita unas condiciones determinadas para desarrollarse: humedad, oxígeno, alimento y temperaturas adecuadas. Cuando se dan estas condiciones, el ciclo de vida de la levadura se activa, lo que produce tanto la reproducción como la fermentación alcohólica. Esta última es la conversión de azúcares en alcohol y dióxido de carbono por parte de la levadura, siendo esta la cualidad que más preocupa al panadero. (Hamelman, 2013).

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

- **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 CO₂.

2.6.2 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)

El agua es uno de los ingredientes indispensables en la elaboración del pan, su misión: activar los mecanismos de formación de la masa. El agua tiene como misión activar las proteínas de la harina para que la masa adquiera textura blanda y moldeable. Posee además la capacidad disolvente acuoso de las sustancias añadidas a la masa, siendo además necesaria para la marcha de la fermentación. La composición química del agua empleada afecta a las cualidades del pan. La calidad y composición de las aguas influyen en la formación de la masa. (Escobar, 2014)

2.6.3 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. 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)

2.6.4 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 es un ingrediente opcional en algunos panes, la misión de la sal es por una parte la de reforzar los sabores y aromas del propio pan, y por otra parte afectar a la textura final de la masa (pueden alcanzar hasta un 2% del peso total de la harina). La sal contribuye de una forma indirecta a la formación del color marrón de la corteza del pan, debido a que retarda la fermentación y esto genera un "exceso" de azúcares que favorecen durante el horneado la formación de estos colores dorados de la corteza. La sal tiene además un ligero efecto fungicida, su presencia en el pan permite alargar su vida comestible. (Escobar, 2014)

2.6.5 Grasas

Las grasas y los aceites son las respuestas naturales a la necesidad de almacenar energía de una forma concentrada. La única diferencia entre estos dos grupos es su estado físico. Algunas de sus propiedades funcionales se atribuyen a su efecto sobre la capacidad de retención de gas de la masa. En los productos panificados las grasas se utilizan para mejorar la textura de la miga. Tienden a ablandar la miga, lo cual puede ser percibido como un síntoma de frescura en el producto. Las grasas son esenciales en la fabricación de ciertos productos panificados ayudando a la retención de gas durante la expansión de la masa en las primeras etapas del horneado. Son muy buenos disolventes de los aromas por lo cual ayudan a retener algunos de estos durante el horneado de productos panificados. (Boatella et al., 2004)

2.6.6 Mejorador de masa

Un agente leudante o agente gasificantes es aquella sustancia capaz de producir o incorporar gases en los productos que van a ser horneados con el objeto de aumentar su volumen y producir cierta forma y textura en su masa final (Gross, 2013).

2.7 Operaciones en el proceso de elaboración de pan tipo molde con harina de arroz y trigo

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

2.7.1 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).

La etapa del amasado es especialmente importante para la calidad del producto final. Un amasado óptimo dará lugar a piezas con gran volumen, tiernas, con un grano sedoso y suave. Si no se llega a ello será difícil en las etapas posteriores del proceso corregir las deficiencias en el producto. Las principales funciones del amasado son: homogeneizar los ingredientes, desarrollar la masa y ocluir aire. (Boatella et al., 2004)

2.7.1.1 Funciones del amasado

La primera función del amasado es de mezclar y homogenizar una serie de ingredientes y transformarlos en una sola masa con unas características perfectamente definidas.

Un elemento iniciador de este proceso es el agua, que va posibilitar la formación del gluten y la actividad de una serie de procesos físicos químicos que, conjuntamente con el trabajo mecánico, conformaran la masa.

La primera función es hidratar todos los componentes de la masa (almidones, proteínas insolubles y solubles levadura, etc.

La segunda función comprende la formación y desarrollo del gluten gracias a la acción mecánica de la amasadora. Esta acción posibilita la unión intermolecular de las proteínas insolubles de la harina (gliadinana y glutenina).

El oxígeno capturado en la masa en la aireación de esta en el transcurso del amasado, posibilita a la vez una serie de procesos de oxidación que forman enlaces entre puentes desulfuro que dotan a la malla proteica (gluten) de una tenacidad, elasticidad y extensibilidad claves para el proceso de elaboración. (Flecha, 2015)

2.8 Fermentación bioquímica del pan

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,

Las enzimas que se encargan de este proceso se conocen como alfa amilasa y beta amilasa (Hernandez, 1990).

- **La conversión de la maltosa en glucosa**

La levadura tiene otra enzima, conocida como maltasa, que es capaz de dividir a la amilasa en dos unidades de glucosa (Hernandez, 1990).

- **La utilización de la glucosa y la fructuosa**

La levadura posee un complejo enzimático llamada zimasa, que se encarga de convertir la glucosa y la fructuosa producidas a partir de la inversión de la sacarosa agregada y de la hidrólisis del almidón en etanol y dióxido de carbono (Hernandez, 1990).

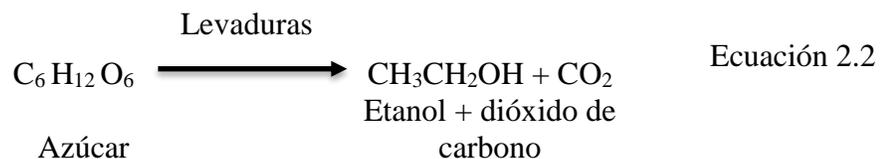
- **La modificación de la estructura de las proteínas del gluten**

Las proteínas del gluten se modifican por acción de las enzimas llamadas proteasas; gracias a ello, pueden formar complejas redes capaces de retener el gas producido en la masa (Hernandez, 1990).

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

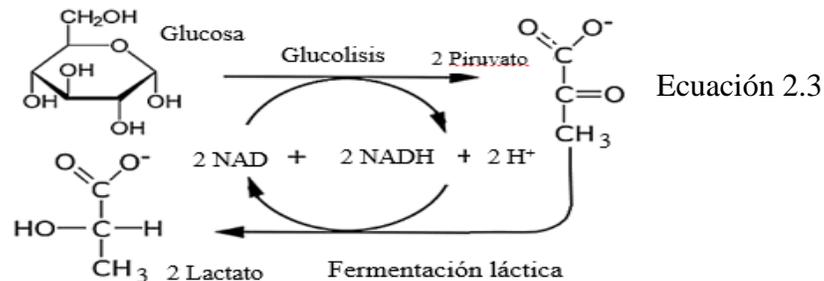
2.8.1 Fermentación alcohólica en el pan

Proceso natural por el cual las moléculas complejas se degradan y transforman 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 ecuación 2.2, se muestra la fermentación alcohólica en el pan.



2.8.2 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 de 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 2.2, se muestra la ecuación 2.3 que representa la fermentación láctica en el pan.



Fuente: Parada, 2021

Figura 2.2: Fermentación láctica

2.8.2.1 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:

2.8.2.2 Factores vinculados 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 Factores referidos a la formación de la masa

Según (Flecha, 2015), los factores referidos a la formación 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 Masensterius*. 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)

2.8.2.4 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)

Las transformaciones principales que sufre la masa durante el horneado son la producción de más dióxidos de carbono y su expansión (contribución al volumen final) evaporación de agua y alcohol, gelificación del almidón y coagulación del gluten (que contribuyen a la estructura del pan) y conformación del color y aroma debido a las reacciones de caramelización y de Maillard. (Gil, 2010)

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 estirla 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)

CAPÍTULO III
DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 Desarrollo de la parte experimental

El presente trabajo de investigación experimental “Elaboración de pan tipo molde con harina de arroz y trigo”, se realizó en las instalaciones de los laboratorios: Laboratorio Taller de Alimentos (L.T.A) y en el Laboratorio Académico de Ingeniería de Alimentos (L.A.C.I.A); de la Carrera de Ingeniería de Alimentos; ambos dependientes de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

3.2 Equipos de proceso, instrumentos de laboratorio, materiales de laboratorio y materiales de cocina

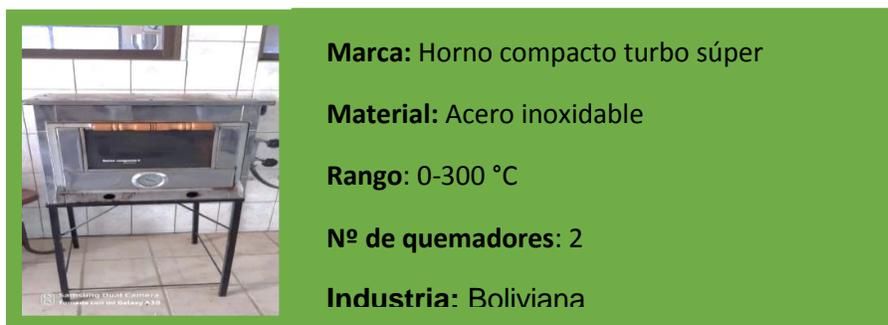
Durante el desarrollo de la parte experimental, se utilizaron los siguientes equipos de proceso, instrumentos de laboratorio, materiales de laboratorios y cocina, que se describen a continuación:

3.2.1 Equipos del proceso

Los equipos utilizados en el presente trabajo de investigación, se describen a continuación:

3.2.1.1 Horno semi industrial a gas natural

En la figura 3.1, se muestra el horno semi industrial y sus especificaciones técnicas, el cual se utilizó en el horneado de la masa del pan tipo molde con harina de arroz y trigo, a una temperatura de 180°C en un tiempo de 55 minutos.



Fuente: L.T.A, 2021

Figura 3.1: Horno semi industrial

3.2.1.2 Estufa eléctrica

En la figura 3.2, se muestra la estufa y sus especificaciones técnicas y este equipo, el cual se utilizó para realizar la fermentación de la masa del pan tipo molde con harina de arroz y trigo a una temperatura de 31 °C por un tiempo de 40 minutos.



Fuente: L.T.A, 2021

Figura 3.2: Estufa eléctrica

3.2.1.3 Cocina industrial a gas natural

En la figura 3.3, se muestra la cocina industrial a gas natural y sus especificaciones del equipo, el cual se utilizó para atemperar el agua a temperatura de 28°C.



Fuente: L.T.A, 2021

Figura 3.3: Cocina industrial a gas natural

3.2.2 Instrumentos de laboratorio

Los instrumentos de laboratorio utilizados en el presente trabajo de investigación, se describen a continuación:

3.2.2.1 Balanza de precisión

En la figura 3.4, se muestra la balanza precisión y sus especificaciones técnicas de este instrumento, el cual se utilizó para el pesado de la materia prima e insumos alimenticios.



Fuente: L.T.A, 2021

Figura 3.4: Balanza de precisión

3.2.2.2 Bureta digital

En la figura 3.5, se muestra la bureta digital y sus especificaciones técnicas de este instrumento, el cual se utilizó para determinar la acidez expresada en ácido láctico en la masa y del pan tipo molde con harina de arroz.



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

Figura 3.5: Bureta digital

3.2.2.3 Termo balanza

En la figura 3.6, se muestra la termo balanza y sus especificaciones técnicas de este instrumento, el cual se utilizó para determinar el porcentaje de humedad del pan tipo molde con harina de arroz y trigo.



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

Figura 3.6: Termo balanza

3.2.2.4 Agitador magnético

En la figura 3.7, se muestra el agitador magnético y sus especificaciones técnicas de este instrumento, el cual se utilizó para la mezcla de pan tipo molde con harina de arroz y trigo con agua destilada para la determinación de la acidez.



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

Figura 3.7: Agitador magnético

3.2.2.5 pH-metro

En la figura 3.8, se muestra el pH- metro digital y sus especificaciones técnicas, el cual se utilizó para medir el pH de la masa y del pan tipo molde con harina de arroz y trigo.



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

Figura 3.8: pH-metro

3.2.3 Materiales de laboratorio

En la tabla 3.1, se detallan los materiales de laboratorio utilizados durante el desarrollo del presente trabajo de investigación para la elaboración de pan tipo molde con harina de arroz y trigo.

Tabla 3.1

Instrumentos de laboratorio utilizados en el proceso del pan tipo molde con harina de arroz y trigo

Materiales	Cantidad	Tamaño	Tipo de material
Termómetro de alcohol	1	Normal	Vidrio
Termómetro de mercurio	1	Normal	Vidrio
Piseta	1	Mediano	Plástico
Vasos precipitados	4	Mediano	Vidrio
Vidrio de reloj	2	Mediano	Vidrio

Fuente: Elaboración propia

3.2.4 Materiales de cocina

En la tabla 3.2, se detalla el material de cocina que se utilizaron para el desarrollo del presente trabajo.

Tabla 3.2

Materiales de cocina utilizados en el proceso del pan tipo molde con harina de arroz y trigo

Utensilios	Cantidad	Tamaño	Tipo
Olla	2	Mediano	Aluminio
Cuchillo	1	Grande	Acero inoxidable
Fuentes	4	Mediano	Plástico
Jarras	1	Mediano	Plástico
Cucharilla	3	Mediano	Acero inoxidable
Molde	4	Mediano	Acero inoxidable
Papel film	1	Mediano	Polietileno

Fuente: Elaboración propia

3.3 Materia prima, insumos alimenticios y reactivos químicos de laboratorio

La materia prima, insumos y reactivos químicos de laboratorio utilizados en el presente trabajo de investigación experimental para la elaboración de pan tipo molde con harina de arroz y trigo, se detallan a continuación:

3.3.1 Materia prima

En la tabla 3.3, se detalla la materia prima que se utilizó para la elaboración del pan tipo molde con harina de arroz y trigo.

Tabla 3.3

Materia prima

Materia prima	Marca	Procedencia
Harina de arroz	Camba	Santa Cruz

Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Insumos alimenticios

En la tabla 3.4, se detallan los insumos alimenticios que se utilizaron para la elaboración de pan tipo molde con harina de arroz y trigo.

Tabla 3.4***Insumos alimenticios para la elaboración del pan tipo molde con harina de arroz y trigo***

Insumos	Procedencia	Marca
Harina de trigo	Bolivia	Famosa
Cloruro de sodio (sal común)	Bolivia	Karlita
Azúcar blanca	Bolivia	Aguaré
Aceite vegetal	Bolivia	Fino
Levadura	Bolivia	Fleischmman
Agua	Tarija-Bolivia	-

Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Aditivos químicos de grado alimentario para la elaboración del pan tipo molde con harina de arroz y trigo

En la tabla 3.5, se detalla el aditivo químico de grado alimenticio que se utilizó para la elaboración del pan tipo molde con harina de arroz y trigo.

Tabla 3.5***Aditivos químicos de grado alimentario***

Insumo	Procedencia	Marca
Mejorador de masa	Bolivia	Fleischmman

Fuente: Elaboración propia

3.3.4 Reactivos químicos de laboratorio

En la tabla 3.6, se detallan los reactivos químicos que se utilizaron para la elaboración del pan tipo molde con harina de arroz y trigo.

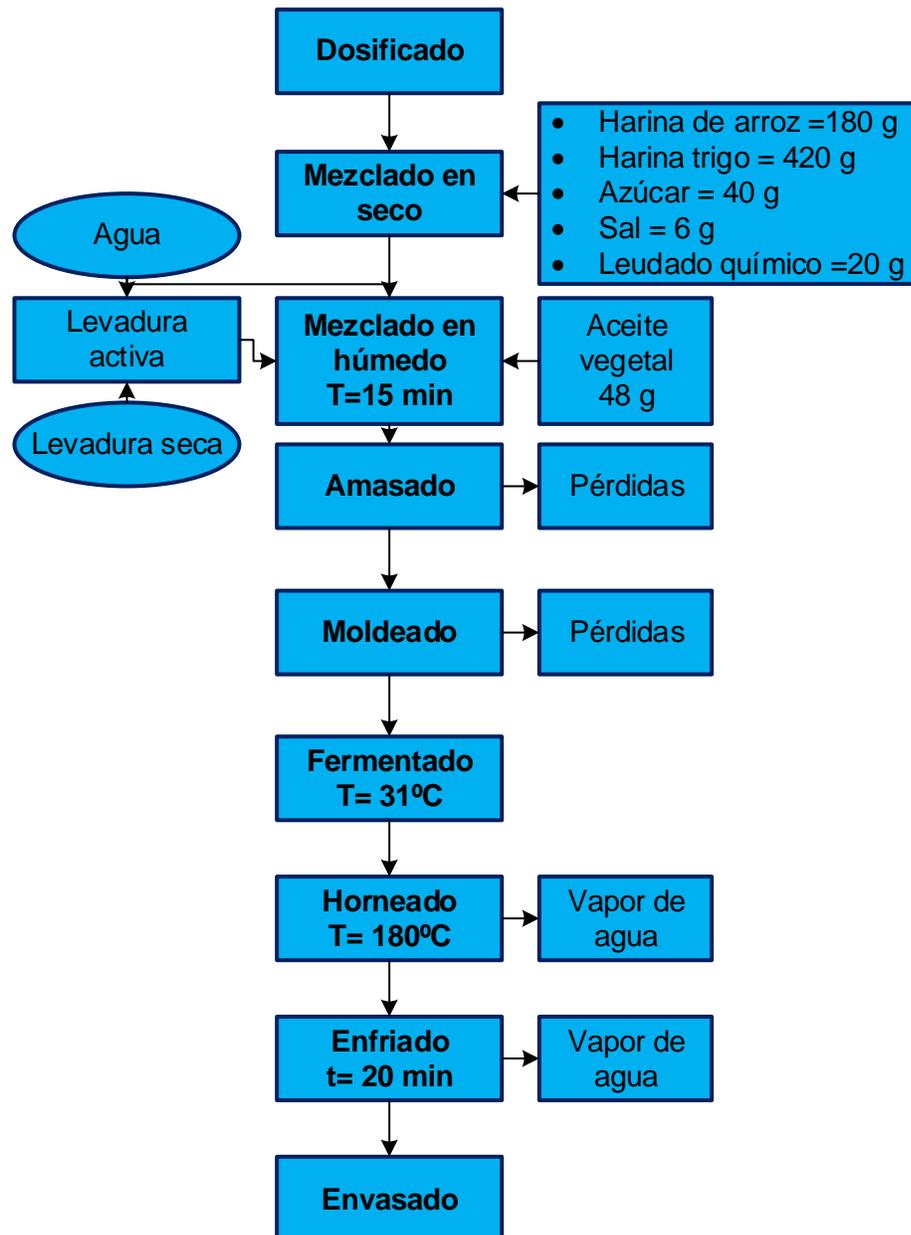
Tabla 3.6***Reactivos químicos de laboratorio***

Reactivos	Procedencia	Marca	Concentración
Hidróxido de sodio (NaOH)	Argentina	Biopack	0,1 N
Fenolftaleína	Argentina	Biopack	0,1%
Agua des ionizada	Bolivia	-	-

Fuente: Elaboración propia

3.5 Diagrama de bloques para la elaboración de pan tipo molde con harina de arroz y trigo

En la figura 3.9, se muestra el diagrama de bloques para la elaboración de pan tipo molde con harina de arroz y trigo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.9: Diagrama de bloque para la elaboración del pan tipo molde con harina de arroz y trigo

3.5.1 Descripción del diagrama de bloques para la elaboración de pan tipo molde con harina de arroz y trigo

A continuación, se describen las operaciones necesarias para llevar a cabo el proceso de elaboración de pan tipo molde con harina de arroz y trigo:

3.5.1.1 Dosificado

Se realizó el dosificado de la materia prima (harina de arroz) e insumos alimenticios (harina de trigo, azúcar, sal, levadura, agua, leudante químico y aceite) que se utilizaron en el presente trabajo de investigación los cuales fueron adquiridos en el mercado local de la provincia Cercado (mercado campesino). Las materias primas e insumos alimentarios fueron pesados en una balanza de precisión y colocados en recipientes de plástico para su posterior uso.

3.5.1.2 Mezclado en seco

En el mezclado en seco, se utilizó un recipiente de plástico en la cual se agregó las harinas de trigo al 42% y harina de arroz al 18%, azúcar 4,0%, sal 0,6% y leudante químico 2,0%; con el fin de facilitar su mezclado y homogeneizado de la mezcla por un tiempo de 10 minutos.

3.5.1.3 Mezclado en húmedo

Posteriormente, se continua con un mezclado en húmedo donde se añadió levadura activada, la cual fue reconstituida con 26,8% de agua potable en un recipiente de plástico en donde se colocó 1,6% de levadura, a una temperatura de 35°C, se mezcló y se dejó reposar por 10 minutos dándose la activación de la levadura. Después se agregó la materia grasa “aceite vegetal” en un 4,8% y se mezcló en forma manual durante un tiempo 15 minutos hasta homogenizar la masa.

3.5.1.4 Amasado

El amasado, se realiza de forma manual presionado y estirando la masa con la palma de la mano alrededor de 15 minutos, hasta lograr una masa firme y homogénea.

3.5.1.5 Moldeado

Se procedió a dar forma de bastón a la masa para luego colocar en un molde acero inoxidable de (25 x 11 x 8) cm, sin tapa y colocando un paño de tela sobre la superficie del molde para evitar el agrietamiento sobre la superficie de la masa.

3.5.1.6 Fermentado

Para llevar a cabo la fermentación de la masa, se llevaron los moldes a la estufa eléctrica a una temperatura de 31°C por un tiempo de 40 minutos y durante esta etapa la masa dobla su volumen debido al CO₂ generado por las levaduras durante la fermentación.

3.5.1.7 Horneado

Concluido la etapa de fermentación de la masa del pan, los moldes son llevados al horno que previamente fue precalentado a temperatura interna de 180°C, se controló esta temperatura con la ayuda de un termómetro incrustado en la parte posterior del horno. Pasado el tiempo de precalentado, se introdujo el molde con la masa y se horneó por un tiempo de 25 minutos.

3.5.1.8 Enfriamiento

Se procedió a desmoldar el pan sobre una rejilla de acero inoxidable para que esta se enfríe a temperatura ambiente entre (18-20) °C, durante (20-25) minutos para estabilizar la humedad y textura final del pan.

3.5.1.9 Envasado

Transcurrido el tiempo de enfriamiento del pan tipo molde con harina de arroz y trigo, se envasa el mismo en bolsas de polietileno.

3.6 Metodología para la obtención de resultados

La metodología para la obtención de resultados del presente trabajo de investigación, se detalla a continuación.

3.6.1 Caracterización de la harina de arroz

Para caracterizar la harina de arroz, se consideraron dos análisis importantes:

- Fisicoquímico
- Microbiológico

3.6.1.1 Análisis de los parámetros fisicoquímicos de la harina de arroz

En la tabla 3.7, se muestran los parámetros fisicoquímicos de la harina de arroz tomados en cuenta los siguientes análisis realizados en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Tabla 3.7

Análisis fisicoquímicos de la harina de arroz

Parámetros	Método de ensayo	Unidad
Humedad	Gravimetría	%
Carbohidratos	Cálculo	%
Proteína total	Volumetría	%
Grasas	Cálculo	%
Fibra	Gravimetría	%
Cenizas	Gravimetría	%
Valor energético	Calculo	Kcal/100 g

Fuente: CEANID, 2021

3.6.1.2 Análisis de los parámetros microbiológicos de la harina de arroz

En la tabla 3.8, se muestran los parámetros microbiológicos de la harina de arroz tomados en cuenta los siguientes análisis realizados en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Tabla 3.8*Análisis microbiológicos de la harina de arroz*

Microorganismos	Técnica	Unidad
Mohos y levadura	NB 32006:03	UFC/ml
Escherichiacoli	NB 32005:02	UFC/g
Salmonella	NB 32007:03	P/A/25g

Fuente: CEANID, 2021

3.6.2 Caracterización de la harina de trigo

Para caracterizar la harina de trigo se consideran dos análisis importantes:

- Fisicoquímico
- Microbiológico

3.6.2.1 Análisis de los parámetros fisicoquímicos de la harina de trigo

En la tabla 3.9, se muestran los parámetros fisicoquímicos de la harina de trigo tomados en cuenta los siguientes análisis realizados en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Tabla 3.9*Análisis de los parámetros fisicoquímicos de la harina de trigo*

Parámetros	Método de ensayo	Unidad
Humedad	Gravimetría	%
Carbohidratos	Cálculo	%
Proteína total	Volumetría	%
Grasas	Cálculo	%
Fibra	Gravimetría	%
Cenizas	Gravimetría	%
Valor energético	Calculo	Kcal/100 g

Fuente: CEANID, 2021

3.6.2.2 Análisis de los parámetros microbiológicos de la harina de trigo

En la tabla 3.10, se muestran los parámetros microbiológicos de la harina de trigo tomados en cuenta los siguientes análisis realizados en el Centro de Análisis

Investigación y Desarrollo (CEANID), perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Tabla 3.10

Análisis de los parámetros microbiológicos de la harina de trigo

Microorganismo	Técnica	Unidad
Mohos y levaduras	NB 32006:03	UFC/g
Escherichia Coli	NB 32005:02	UFC/g

Fuente: CEANID, 2021

3.6.3 Caracterización del pan tipo molde con harina de arroz y trigo

Para caracterizar el pan tipo molde con harina de arroz y trigo, se consideraron dos análisis importantes:

- Físicoquímico
- Microbiológico

3.6.3.1 Parámetros físicoquímicos del pan tipo molde con harina de arroz y trigo

En la tabla 3.11, se muestran los parámetros y métodos tomados en cuenta para determinar los análisis de los parámetros físicoquímicos del pan tipo molde con harina de arroz y trigo.

Tabla 3.11

Análisis de los parámetros físicoquímicos del pan tipo molde con harina de arroz y trigo

Parámetros	Método	Unidad
Cenizas	NB 39034:10	%
Fibra	Gravimétrico	%
Grasa	NB 313019:06	%
Hidratos de carbono	Cálculo	%
Humedad	NB 313010:05	%
Proteína total	NB/ISO 8968-1:08	%
Valor energético	Cálculo	Kcal/100g

Fuente: CEANID, 2021

3.6.3.2 Parámetros microbiológicos del pan tipo molde con harina de arroz y trigo

En la tabla 3.12, se muestran los resultados de los análisis de los parámetros microbiológicos del pan tipo molde con harina de arroz y trigo.

Tabla 3.12

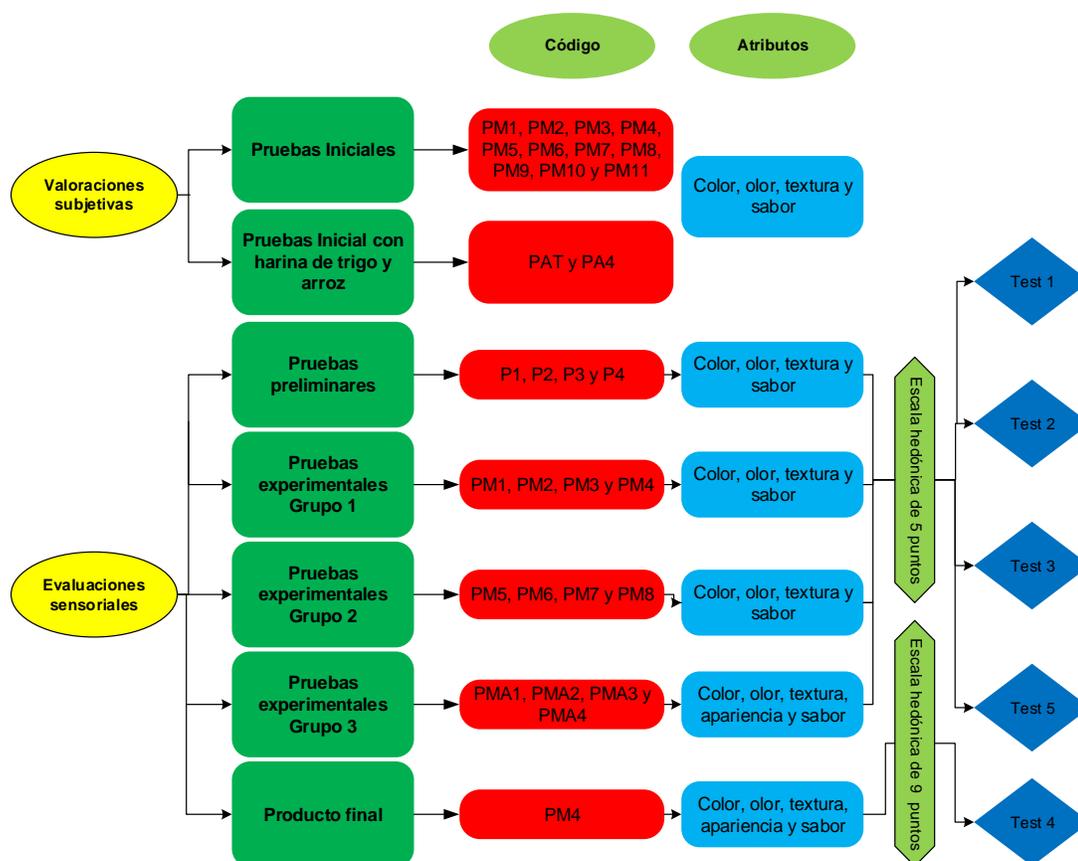
Análisis de los parámetros microbiológicos del pan tipo molde con harina de arroz y trigo

Microorganismo	Método	Unidad
Coliformes totales	NB 32005:02	UFC/g
Mohos y levaduras	NB 32006:03	UFC/g
Escherichia coli	NB 32006:02	UFC/g

Fuente: CEANID, 2021

3.7 Evaluación sensorial de los alimentos

El análisis sensorial es una disciplina muy útil para conocer las propiedades organolépticas de los alimentos, por medio de los sentidos. La evaluación sensorial es innata en el hombre ya que desde el momento que se prueba algún producto, se hace un juicio acerca de él, si le gusta o disgusta, describe y reconoce sus características de sabor, olor, textura, color. Para realizar el análisis organoléptico del producto se tomará en cuenta una evaluación sensorial, compuesta con jueces no entrenados y en diferentes etapas del proceso hasta el producto terminado (Watts, 1992). 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 del pan tipo molde con harina de arroz y trigo

3.8 Diseño experimental

Un experimento puede definirse como la prueba o serie de pruebas en las que se hacen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema para observar e identificar las razones de los cambios que pudieran observarse en la respuesta de salida. En general los experimentos se usan para estudiar el desempeño de procesos y sistemas. En proceso o sistema puede representarse con el modelo ilustrado el proceso puede por lo general visualizarse como una combinación de máquinas, métodos, personas u otros recursos que transforman cierta entrada (con frecuencia un material) en una salida que tiene una o más respuestas observables. Algunas variables del proceso (x_1, x_2, \dots, x_p) son controlables mientras que otras variables (z_1, z_2, \dots, z_p) son no controlables (Montgomery, 2004).

3.8.1 Diseño factorial

Los diseños factoriales se usan ampliamente en experimentos que incluyen varios factores cuando es necesario estudiar el efecto conjunto de los factores sobre una respuesta. El más práctico de estos casos especiales es el de k factores cada uno solo con dos niveles. Estos niveles pueden ser cuantitativos, como dos valores de temperatura, presión o tiempo, o bien cualitativos como dos Máquinas, dos operadores, los niveles “alto” y “bajo” de un factor, o quizá la presencia o ausencia de un factor. Una réplica completa de este diseño requiere $2 \times 2 \times \dots \times 2 = 2^k$ observaciones y se le llama diseño factorial 2^k (Montgomery, 2004). El diseño factorial a ser aplicado en la parte experimental del presente trabajo de investigación se prueba en la ecuación 3.1.

$$2^k \quad \text{(Ecuación 3.1)}$$

Dónde:

2 = número de niveles

K = número de variables

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:

$$y = \beta_0 + \beta_A X_A + \beta_B X_B + \beta_C X_C - \beta_{AB} X_A X_B - \beta_{AC} X_A X_C - \beta_{BC} X_B X_C + \beta_{ABC} X_A X_B X_C$$

(Ecuación 3.2)

Donde:

β = coeficientes de regresión

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

3.8.1.1 Diseño experimental en la etapa de dosificación del pan tipo molde con harina de arroz y trigo

Para realizar el diseño experimental en la etapa de dosificación del pan tipo molde con harina de arroz y trigo, se aplicó de acuerdo a la (ecuación 3.1) 2^K cuyo diseño factorial corresponde a:

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

Donde los factores propuestos y sus niveles de variación de cada factor son los siguientes:

Porcentaje de levadura	(A) = 2 niveles
Temperatura de fermentación	(B) = 2 niveles
Porcentaje de harina de arroz	(C) = 2 niveles

En la tabla 3.13, se muestra la matriz del diseño factorial aplicada para la etapa dosificación del pan tipo molde con harina de arroz y trigo.

Tabla 3.13

Matriz de variables para la etapa de dosificación del pan tipo molde con harina de arroz y trigo

Combinación de tratamientos	Variables			Interacciones				Variable respuesta	
	A	B	C	AB	AC	BC	ABC	Y_i	Y_{ii}
(1)	-	-	-	+	+	+	-	Y_{i1}	Y_{ii1}
a	+	-	-	-	-	+	+	Y_{i2}	Y_{ii2}
b	-	+	-	-	+	-	+	Y_{i3}	Y_{ii3}
ab	+	+	-	+	-	-	-	Y_{i4}	Y_{ii4}
c	-	-	+	+	-	-	+	Y_{i5}	Y_{ii5}
ac	+	-	+	-	+	-	-	Y_{i6}	Y_{ii6}
bc	-	+	+	-	-	+	-	Y_{i7}	Y_{ii7}
abc	+	+	+	+	+	+	+	Y_{i8}	Y_{ii8}

Fuente: Elaboración propia

Dónde:

Y_i = Porcentaje de acidez en la etapa de fermentación del pan tipo molde

Y_{ii} = Contenido de humedad en la etapa de fermentación del pan tipo molde

En la tabla 3.14, se muestran los niveles de variación de los factores (nivel alto y nivel bajo), que fue aplicado en la etapa de dosificación y fermentación del pan tipo molde con harina de arroz conformado por tres variables: porcentaje de levadura, temperatura de fermentación y porcentaje de harina de arroz.

Tabla 3.14

Niveles de variación de los factores en la etapa de dosificación del pan tipo molde con harina de arroz y trigo

Variables	Nivel alto	Nivel bajo
Porcentaje de levadura (A)	2,2	1,6
Temperatura de fermentación (B)	35,0	31,0
Porcentaje de harina de arroz (C)	35,0	30,0

Fuente: Elaboración propia

3.8.2 Diseño factorial 2^2

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 2^2 , el exponente indica el número de factores mientras que la base indica los niveles de cada factor. (Sánchez, 2014)

El diseño factorial utilizada 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:

β = coeficientes de regresión

X_A y X_B = Valor codificado del factor de diseño

3.8.2.1 Diseño experimental en la etapa de horneado del pan tipo molde con harina de arroz y trigo

Para realizar el diseño experimental en la etapa de horneado del pan tipo molde con harina de arroz y trigo se aplicó de acuerdo a la (ecuación 3.6), cuyo diseño factorial corresponde a:

$$2^K \quad (\text{Ecuación 3.6})$$

Dónde:

2= número de niveles

K= número de variables

$$2^2 = 2 \times 2 = 4 \text{ corridas/prueba}$$

Donde los niveles de variación de cada factor son los siguientes:

Temperatura del horno (T) = 2 niveles

Tiempo de cocción del pan (t) = 2 niveles

En la tabla 3.15, se muestra la matriz del diseño experimental que fue aplicado en la etapa de horneado, tomando dos variables: temperatura del horno y tiempo de cocción del pan.

Tabla 3.15

Matriz de variables para la etapa de horneado del pan tipo molde con harina de arroz y trigo

Combinación de tratamientos	Variables		Interacciones	Variable respuesta
	T	t	Tt	Y _{ii}
(1)	-	-	+	Y ₁
a	+	-	-	Y ₂
b	-	+	-	Y ₃
ab	+	+	+	Y ₄

Fuente: Elaboración propia

Dónde:

Y_{ii}= Contenido de humedad en la etapa de horneado del pan tipo molde

En la tabla 3.16, 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: temperatura del horno y tiempo de cocción del pan tipo molde.

Tabla 3.16

Matriz de niveles de variación para el proceso de horneado del pan tipo molde con harina de arroz y trigo

Variables	Nivel alto	Nivel bajo
Temperatura del horno (T)	180	160
Tiempo de horneado del pan(t)	55	50

Fuente: Elaboración propia

3.9 Operacionalización de variables para la elaboración de pan tipo molde con harina de arroz y trigo

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

Cuadro 3.1

Operacionalización de variables para la elaboración de pan tipo molde con harina de arroz y trigo

Hipótesis	Variables	Descripción de variable	Subvariables	Indicadores	
La metodología experimental propuesta de proceso de panificación a ser aplicado permitirá elaborar pan tipo molde con harina de arroz y trigo de calidad nutricional para el consumo de la población de la provincia Cercado	I n d e p e n d i e n t e	Proceso de panificación	Fermentado	%	
				°C	
				%	
			Horneado	°C	
	Minutos				
	D e p e n d i e n t e	Pan tipo molde con harina de arroz y trigo	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.	Humedad	(%)
				Hidratos de carbono	(%)
				Proteínas	(%)
				Grasas	(%)
				Fibra	(%)
Valor energético				(kcal/100g)	
Mohos y levaduras				(UFC/g)	
Escherichia coli	(UFC/g)				

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización de la harina de arroz y harina de trigo

Para realizar la caracterización de la materia prima (harina de arroz) y el insumo (harina de trigo), se tomaron en cuenta los análisis fisicoquímicos y microbiológicos.

4.1.1 Análisis de los parámetros fisicoquímicos de la harina de arroz

En la tabla 4.1, se muestran los resultados de los análisis de los parámetros fisicoquímicos de la harina de arroz extraídos (Anexo A), realizados en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID); perteneciente a la Universidad “Autónoma Juan Misael Saracho”.

Tabla 4.1

Análisis de los parámetros fisicoquímicos de la harina de arroz

Parámetros	Unidad	Resultado
Ceniza	%	0,62
Fibra	%	n.d.
Grasa	%	1,85
Hidratos de carbono	%	80,89
Humedad	%	9,43
Proteínas total (Nx5,95)	%	7,21
Valor energético	Kcal/100g	369,05

Fuente: (CEANID, 2021)

En la tabla 4.1, se puede observar que los resultados del análisis de los parámetros fisicoquímicos de la harina de arroz que presenta: cenizas 0,62 %; fibra n.d.; grasa 1,85%; hidratos de carbono 80,89%; humedad 9,43%; proteína total (N x 5, 95) 7,21% y valor energético 369,05 Kcal/100g.

4.1.2 Análisis de los parámetros microbiológicos de la harina de arroz

En la tabla 4.2, se muestran los resultados de los análisis de los parámetros microbiológicos de la harina de arroz, datos extraídos (Anexo A), que fueron realizados en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID); perteneciente a la Universidad “Autónoma Juan Misael Saracho”.

Tabla 4.2*Análisis de los parámetros microbiológico de la harina de arroz*

Microorganismos	Unidad	Resultado
Coliformes totales	UFC/ml	$<1,3 \times 10^2$
Escherichiacoli	UFC/g	$< 1,0 \times 10^2$ (*)

Fuente: CEANID, 2021

En la tabla 4.2, se puede observar los resultados obtenidos del análisis de los parámetros microbiológico de la harina de arroz que presenta: Coliformes totales $<1,3 \times 10^2$ UFC/ml y Escherichiacoli $<1,0 \times 10^1$ UFC/g (* No se observa desarrollo de colonias). Si bien existe contaminación en la harina de arroz en el proceso de horneado se eliminan todos los microorganismos.

4.1.3 Análisis de los parámetros fisicoquímicos de la harina trigo

En la tabla 4.3, se muestran los resultados de los análisis de los parámetros fisicoquímicos de la harina de trigo extraídos (Anexo A), que fueron realizados en el Centro de Análisis de Investigación y desarrollo (CEANID); dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Tabla 4.3*Análisis de los parámetros fisicoquímicos de la harina de trigo*

Parámetros	Unidad	Resultado
Ceniza	%	0,34
Fibra	%	n.d.
Grasa	%	2,79
Hidratos de carbono	%	77,63
Humedad	%	9,11
Proteínas total (N x 5,70)	%	10,13
Valor energético	Kcal/100g	376,15

Fuente: (CEANID, 2021)

En la tabla 4.3, se puede observar los resultados del análisis de los parámetros fisicoquímico de la harina de trigo que presenta: cenizas 0,34%; fibra n.d.; grasa 2,79%; hidratos de carbono 77,63%; humedad 9,11%; proteína total (Nx5,70) 10,13% y valor energético 376,15 Kcal/100g.

4.1.4 Análisis de los parámetros microbiológicos de la harina de trigo

En la tabla 4.4, se muestran los resultados de los análisis de los parámetros microbiológicos de la harina de trigo de datos extraídos (Anexo A), realizados en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID); perteneciente a la Universidad “Autónoma Juan Misael Saracho”.

Tabla 4.4

Análisis de los parámetros microbiológicos de la harina de trigo

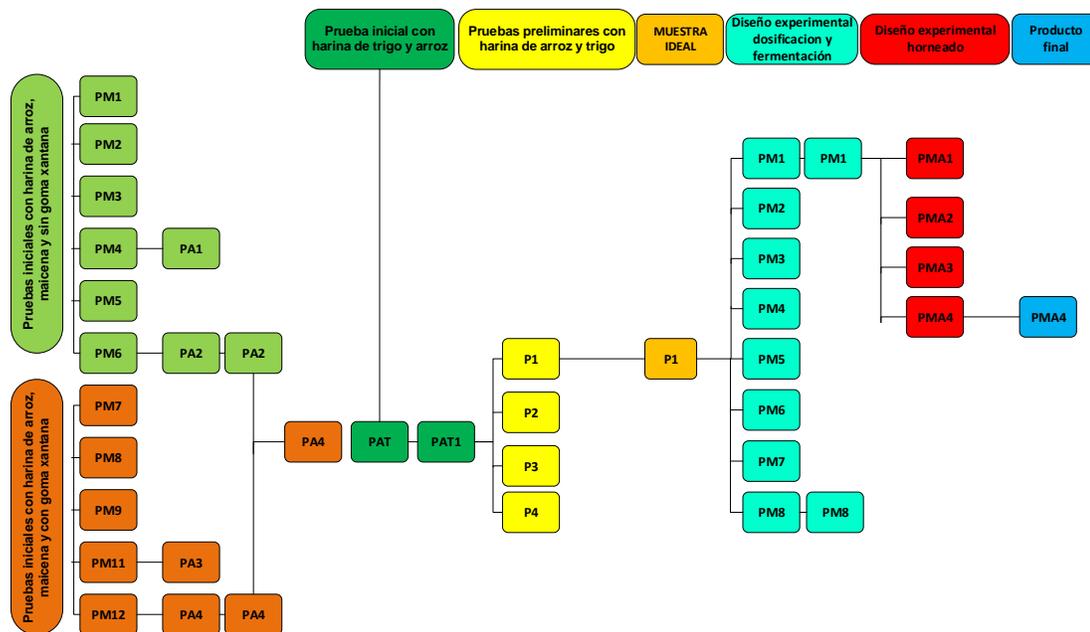
Microorganismos	Unidad	Resultado
Escherichiacoli	UFC/g	<1,0X10 ¹ (*)
Mohos y levaduras	UFC/g	<1,0X10 ¹ (*)

Fuente: CEANID, 2021

En la tabla 4.4, se puede observar los resultados obtenidos de los análisis de los parámetros microbiológicos de la harina de trigo que presenta: Escherichiacoli <1,0X10¹ UFC/g (* No se observa el desarrollo de colonias) y mohos, levaduras <1,0X10¹ UFC/g (* No se observa el desarrollo de colonias). La carga microbiana será eliminada en el proceso de horneado.

4.2 Caracterización de las pruebas iniciales del pan tipo molde con harina de arroz y trigo

Para el presente trabajo de investigación, inicialmente se partieron de seis pruebas con harina de arroz, maicena y sin goma xantana; así mismo, se realizaron cinco pruebas con harina de arroz, maicena y goma xantana; con el fin de obtener la metodología experimental para elaborar pan tipo molde. Para desarrollar la parte experimental de las pruebas iniciales sin goma xantana, se tomaron en cuenta las muestras PM4 y PM6; de igual manera, para las pruebas iniciales con goma xantana se tomaron en cuenta las muestras PM10 y PM11. En base a estas cuatro muestras se tomó en cuenta PA2 (sin goma xantana) y PA4 (con goma xantana). Así mismo, se realizó la muestra PAT que consistió en incorporar harina de trigo en su formulación; para obtener cuatro muestras preliminares P1, P2, P3 y P4; con el fin de obtener muestra ideal, según se detalla en la figura 4.1.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.1: Pruebas iniciales de pan tipo molde con harina de arroz y trigo

4.2.1 Pruebas iniciales de pan tipo molde con harina de arroz, maicena y sin goma xantana

Para el presente trabajo de investigación, se tomaron en cuenta seis pruebas iniciales utilizando como base harina de arroz, maicena y sin goma xantana; en donde se hizo variar los porcentajes en la dosificación, según la tabla 4.5.

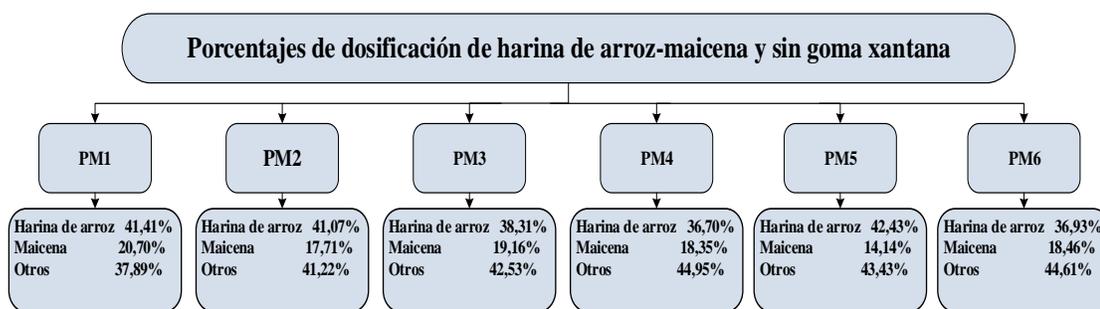
Tabla 4.5

Variación de la dosificación de harina de arroz- maicena-sin goma xantana

Materia prima/insumos	Rango de dosificación (%)
Harina de arroz	36,93 – 42,43
Maicena	14,14 – 20,70
Otros (leche, polvo para hornear, levadura, sal, aceite vegetal, agua tibia)	37,89 – 58,78

Fuente: Elaboración propia

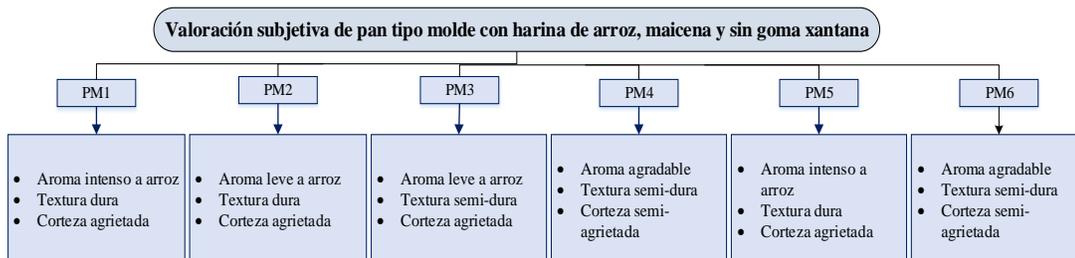
En la figura 4.2, se muestran las seis pruebas iniciales de pan tipo molde con harina de arroz, maicena y sin goma xantana de acuerdo a los rangos de dosificación de la tabla 4.5.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.2: Porcentajes de la dosificación de harina de arroz, maicena y sin goma xantana

En base a la figura 4.2, las seis pruebas de pan tipo molde con harina de arroz que 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 pruebas detalladas en la figura 4.3.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3: Valoración subjetiva de las pruebas iniciales con harina de arroz, maicena y sin goma xantana

Según la figura 4.3 de la valoración subjetiva, se pudo observar que las pruebas PM4 y PM6 fueron las de mayor preferencia por no presentar corteza tan agrietada en la superficie y aroma agradable; en comparación con las pruebas PM1, PM2, PM3 y PM5, que presentaron cortezas muy agrietadas en la superficie y aroma leve ha harina de arroz debido al elevado porcentaje de harina de arroz utilizado en la formulación.

4.2.2 Pruebas iniciales de pan tipo molde con harina de arroz, maicena y goma xantana

Así mismo, se tomaron en cuenta cinco pruebas iniciales utilizando como base harina de arroz, maicena y goma xantana; se utilizó la goma xantana con la finalidad de que actúe como espesante y/o aglutinante, permitiendo así obtener una masa más elástica y esponjosa, donde se hizo variar los porcentajes en la dosificación, según la tabla 4.6.

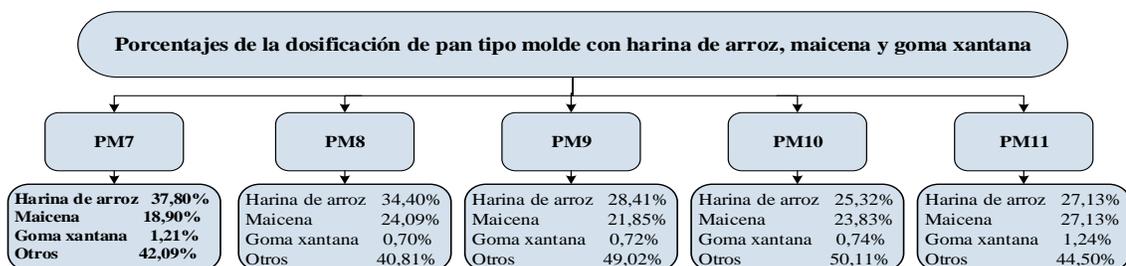
Tabla 4.6

Variación de la dosificación de harina de arroz, maicena y goma xantana

Materia prima/insumos	Rango (%)
Harina de arroz	25,32 – 37,80
Maicena	18,90 – 27,13
Goma Xantana	0,70 – 1,24
Otros	40,81 – 50,11

Fuente: Elaboración propia

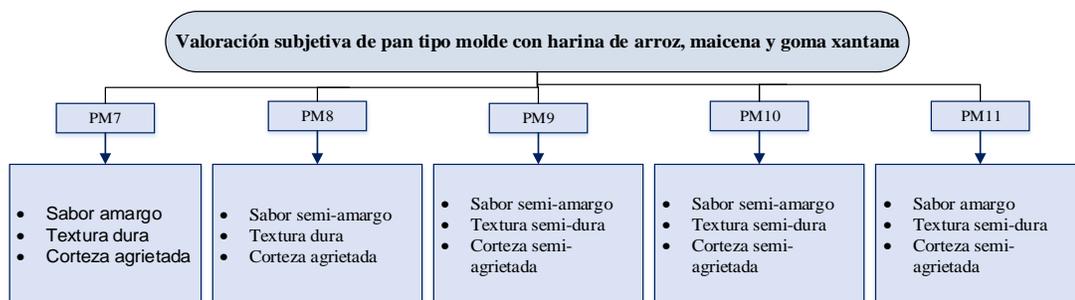
En la figura 4.4, se muestran las cinco pruebas iniciales de pan tipo molde con harina de arroz, maicena y goma xantana de acuerdo a los rangos de dosificación detallada en la tabla 4.6.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.4: *Porcentajes de la dosificación de las pruebas iniciales con harina de arroz, maicena y con goma xantana*

En base la figura 4.4, las cinco pruebas de pan tipo molde con harina de arroz 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 pruebas detalladas en la figura 4.5.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.5: Valoración subjetiva de las pruebas iniciales con harina de arroz, maicena y goma xantana

Según la figura 4.5 de la valoración subjetiva, se pudo observar que la prueba PM10 y PM11 fueron las de mayor preferencia por no presentar un sabor demasiado amargo y corteza tan agrietada; en comparación con las pruebas PM7, PM8, y PM9 que presentaron cortezas agrietadas, y sabor amargo debido al elevado porcentaje de goma xantana; así mismo el aroma residual muy acentuado a goma xantana.

Realizada la valoración subjetiva de las pruebas sin goma xantana y con goma xantana, en donde las pruebas PM4, PM6, PM10 y PM11 fueron las más aceptadas. Posteriormente, fueron recodificadas como PA1, PA2, PA3 y PA4; con la finalidad de poder comparar ambas pruebas de pan tipo molde con goma xantana y sin goma xantana.

4.2.3 Comparación de las pruebas iniciales de pan tipo molde con harina de arroz sin goma xantana y con goma xantana

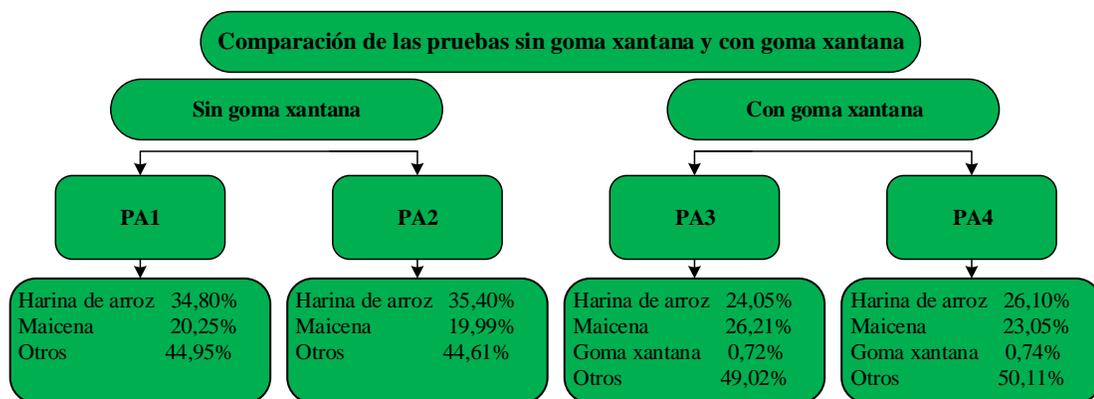
Se tomaron en cuenta las cuatro pruebas recodificadas (PA1, PA2, PA3 y PA4) con harina de arroz, maicena, con goma xantana y sin goma xantana; con la finalidad de realizar una comparación entre las pruebas y elegir una prueba más adecuada para el proceso de elaboración de pan tipo molde con harina de arroz; y para tal situación, se hizo variar los porcentajes de materia prima/insumos en la dosificación, según se detalla en la tabla 4.7.

Tabla 4.7*Variación de la dosificación de harina de arroz, maicena y goma xantana*

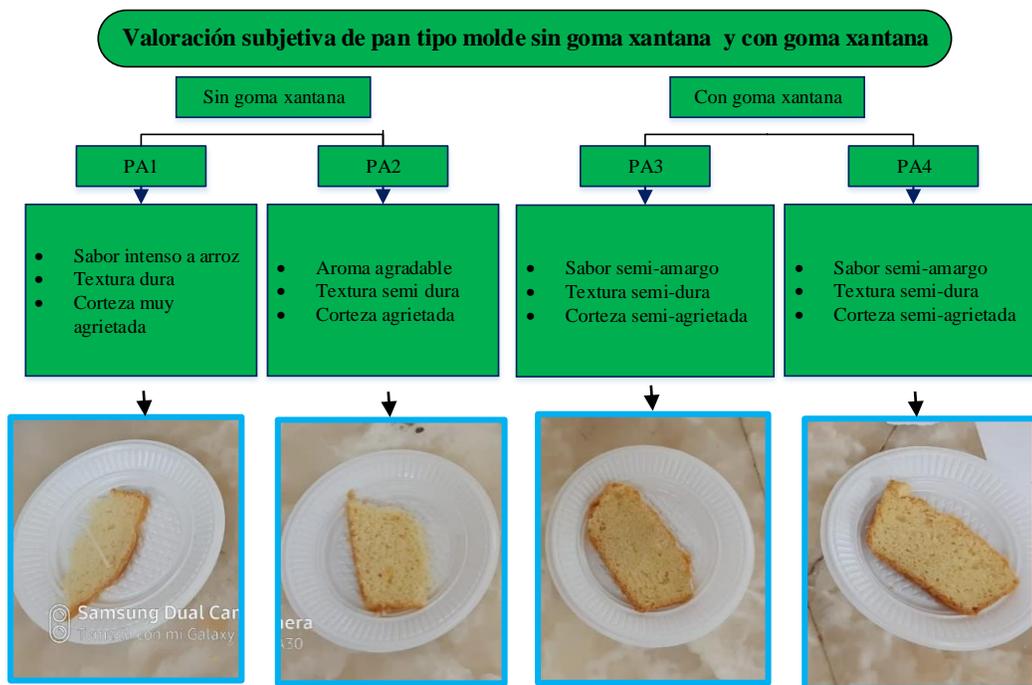
Materia prima/insumos	Rango (%)
Harina de arroz	24,05 – 35,40
Maicena	19,99 – 26,21
Goma xantana	0,00 – 0,74
Otros	44,61 – 50,11

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.6, se muestran las cuatro pruebas iniciales de pan tipo molde con harina de arroz de acuerdo a los rangos de dosificación tomadas en cuenta según la tabla 4.7.

**Fuente:** Elaboración propia**Figura 4.6:** Porcentajes de la dosificación de harina de arroz, maicena con goma xantana y sin goma xantana

En base la figura 4.6 las cuatro pruebas de pan tipo molde con harina de arroz fueron evaluadas de nuevo de manera subjetiva por el personal del Laboratorio Taller de Alimentos y se detallan el resultado en la figura 4.7.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.7: Valoración subjetiva de pan molde con goma xantana y sin goma xantana

Según la figura 4.7 de la valoración subjetiva, se pudo observar que las pruebas PA2 y PA4 fueron las de mayor preferencia por el personal del LTA por no presentar un sabor demasiado amargo y corteza tan agrietada en la superficie; en comparación con las pruebas PA1 y PA3 que presentaron cortezas muy agrietadas en la superficie, textura dura y sabor muy pronunciado a harina de arroz.

Realizada la valoración subjetiva de las pruebas sin goma xantana (PA1 y PA2) y con goma xantana (PA3 y PA4), donde las pruebas PA2 y PA4 fueron las más aceptadas. Así mismo, de acuerdo al proceso de panificación se pudo observar que la prueba PA4 presentó mejor manejo en la masa, corteza semi agrietada y textura semi-dura. Por tal motivo, se procedió a elegir la prueba PA4 como la más adecuada para el proceso de elaboración de pan tipo molde con harina de arroz.

4.2.4 Formulación de la prueba inicial de pan tipo molde incorporando harina de trigo

Para mejorar la formulación del pan tipo molde, se procedió a incorporar harina de trigo en base a la muestra PA4 con la finalidad mejorar el manejo de la masa, textura y corteza de la superficie del pan eliminando la goma xantana de la formulación; ya que la misma confiere un aroma residual (semi amargo). Para tal efecto, se realizaron dos muestras PA4 (formulación figura 4.6) y PAT1 en base a la formulación de la tabla 4.8.

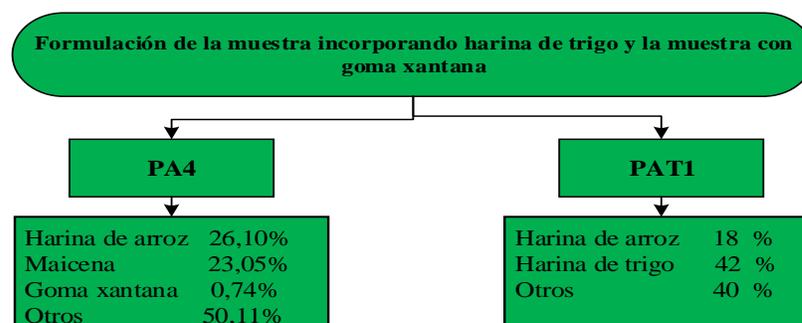
Tabla 4.8

Formulación de la muestra de pan tipo molde incorporando harina de trigo

Materia prima/insumos	Rango (%)
Harina de arroz	27,20
Harina de trigo	33,23
Otros	39,57

Fuente: Elaboración propia

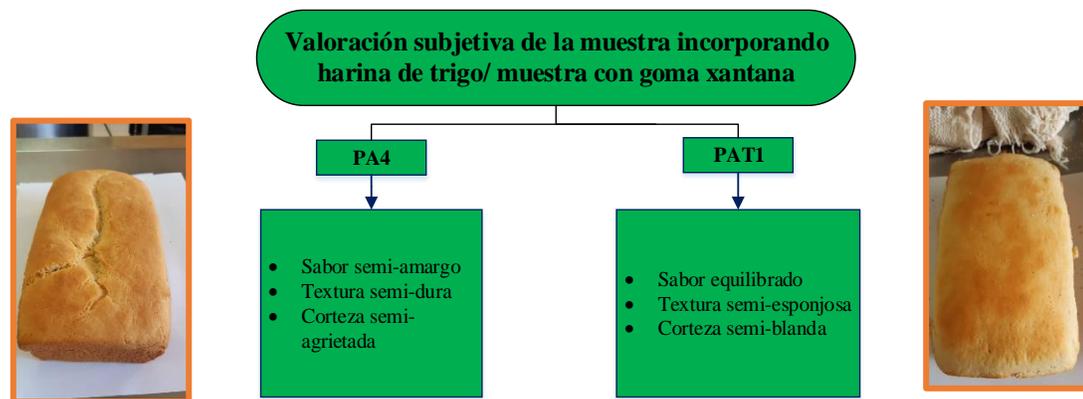
En la figura 4.8, se muestra la variación en la formulación de la harina de trigo para la muestra PAT1 en donde se eliminó la maicena al incorporarse la harina de trigo para evitar la presencia de agrietamiento durante el proceso horneado del pan.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.8: *Formulación de la muestra incorporando harina de trigo y la muestra con goma xantana*

En la figura 4.9, se muestra la valoración subjetiva realizada en las dos muestras en base de la figura 4.8 por el personal del Laboratorio Taller de Alimentos; ya que por efecto de pandemia Covid-19 no se pudo realizar la evaluación sensorial correspondiente.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.9: Valoración subjetiva de la muestra con harina de trigo/muestra con goma xantana

Según la figura 4.9 de la valoración subjetiva, se pudo observar que la muestra (PAT1) fue la de mayor preferencia por presentar un sabor equilibrado, textura semi-esponjosa y corteza semi-blanda; en comparación con la prueba (PA4) que dió una corteza semi-agrietada y sabor semi-amargo; debido al porcentaje de la goma xantana. Así mismo, se corroboró durante la metodología experimental, que eliminando la goma xantana e incorporando harina de trigo en la formulación de la prueba PAT1; se elimina el aroma residual a goma xantana, se mejora su textura y corteza en el pan molde.

4.2.5 Desarrollo de las pruebas preliminares para la elaboración de pan tipo molde con harina de arroz y trigo

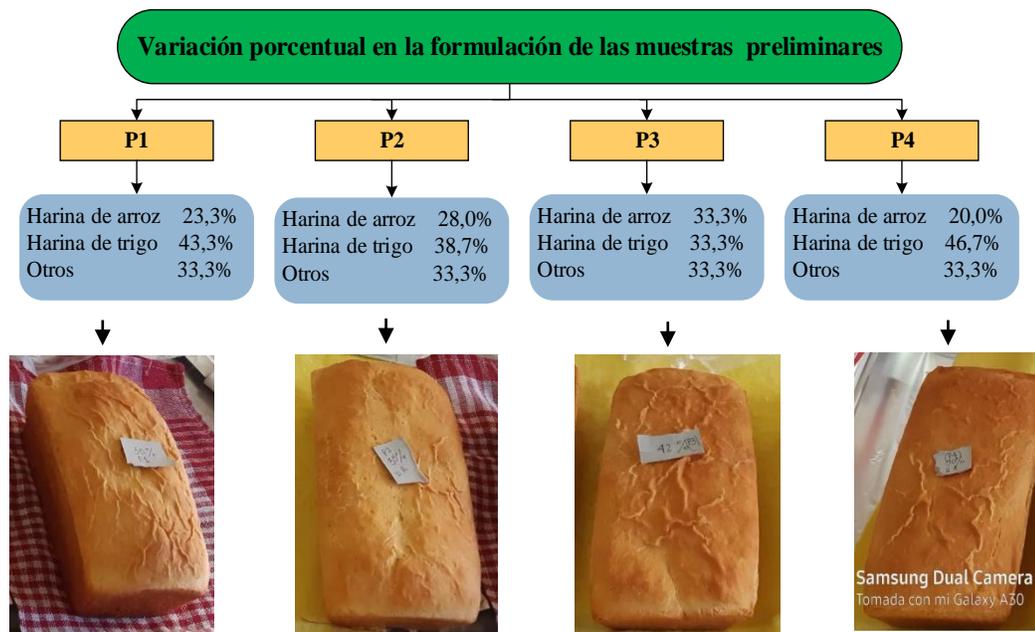
Para elaborar las pruebas preliminares de pan tipo molde con harina de arroz y trigo, se realizaron en base a la prueba (PAT1), y se procedió a formular (P1, P2, P3 y P4); variando los porcentajes en la dosificación de harina de arroz y harina de trigo; con la finalidad de establecer el porcentaje máximo y mínimo que podría ser incorporada en dicha formulación. Para tal efecto, se tomaron en cuenta la variación en la dosificación del porcentaje de harina de arroz y de trigo, según la tabla 4.8 para mejorar textura en la corteza y sabor del pan molde. En la figura 4.10, se prueba la formulación de las pruebas preliminares.

Tabla 4.9*Variación de la dosificación de mezcla de harina de arroz en pruebas preliminares*

Materia prima/insumo	Rango (%)
Harina de arroz	20,00 - 33,30
Harina de trigo	33,30 - 46,70

Fuente: Elaboración propia

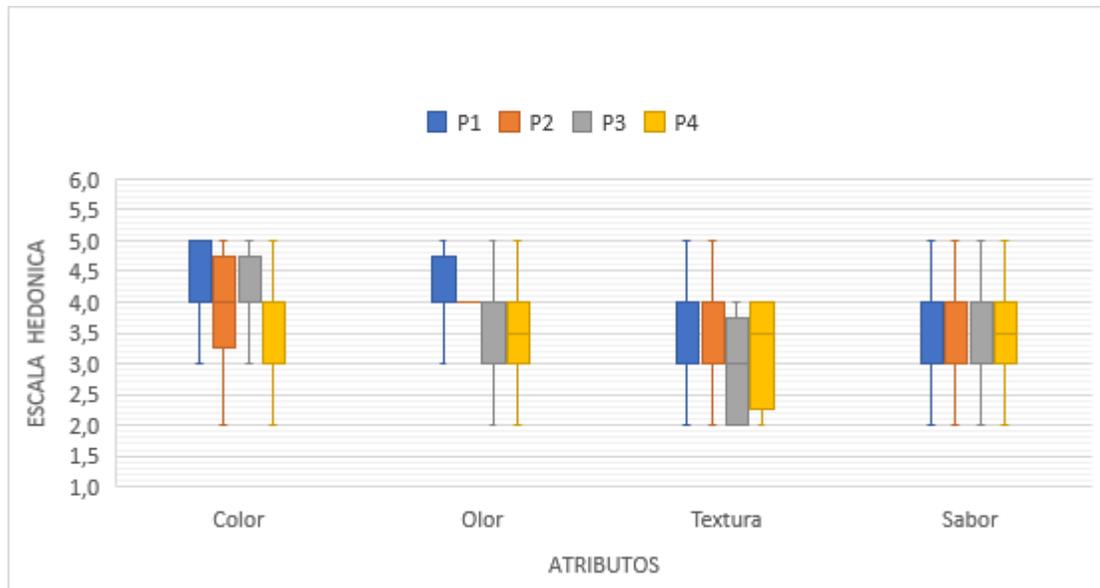
En la figura 4.10, se muestran las cuatro pruebas preliminares de pan tipo molde con harina de arroz de acuerdo a los rangos de dosificación de la tabla 4.8.

**Fuente:** Elaboración propia**Figura 4.10:** Variación porcentual en la formulación de las pruebas preliminares

En base a la figura 4.10, las pruebas preliminares P1, P2, P3 y P4; fueron evaluadas sensorialmente con escala hedónica de cinco puntos; utilizando 18 jueces no entrenados en donde se valoraron los siguientes atributos; color, olor, textura y sabor, con la finalidad de obtener la prueba ideal.

4.2.5.1 Estadístico caja y bigote de las pruebas preliminares de pan tipo molde con harina de arroz y trigo

En la figura 4.11, se muestran los estadísticos de caja y bigote en función de los atributos color, olor, textura y sabor para las pruebas preliminares de pan tipo molde con harina de arroz y trigo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.11: Caja y bigote de las pruebas preliminares de pan tipo molde con harina de arroz y trigo

En la figura 4.11, se puede observar los resultados de las medianas en función de los atributos evaluados como ser: color 4,5 (P1), 3,5 (P2), 4,5 (P3) y 3,0 (P4); olor 4,5 (P1); 3,5 (P2); 4,0 (P3); textura 4,5 (P4); 3,5 (P2); 3,0 (P3); 3,0 (P4); sabor 3,5 (P1); 3,5 (P2); 4,0 (P3); 3,5 (P4).

Realizado el análisis estadístico de varianza no existe diferencia significativa para los atributos color y sabor; sin embargo, si existe diferencia para los atributos olor y textura para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.2.5.1.1 Estadísticos de Tukey para el atributo olor de pruebas preliminares de pan tipo molde con harina de arroz y trigo

En la tabla 4.9, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey de datos extraídos del Anexo C.3 (tabla C 3.4) para el atributo olor.

Tabla 4.9

Estadístico Tukey para el atributo olor

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
P1-P2	0,0	0,6	No significativo
P1-P3	0,4	0,6	No significativo
P1-P4	0,6	0,6	Significativo
P2-P3	0,4	0,6	No significativo
P2-P4	0,6	0,6	Significativo
P3-P4	0,2	0,6	No significativo

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.9, se observa que existe diferencia significativa entre los tratamientos (P1-P4) y (P2-P4). Sin embargo, para los tratamientos (P1-P2), (P1-P3), (P2-P3) y (P3-P4), no existe diferencia estadística para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.2.5.1.2 Estadísticos de Tukey para el atributo textura de pruebas preliminares de pan tipo molde con harina de arroz y trigo

En la tabla 4.10, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey de datos extraídos del Anexo C.4 (tabla C 4.4) para el atributo textura.

Tabla 4.10

Estadístico Tukey para el atributo textura

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
P1-P2	0,3	0,7	No significativo
P1-P3	0,4	0,7	No significativo
P1-P4	0,7	0,7	Significativo
P2-P3	0,1	0,7	No significativo
P2-P4	0,4	0,7	No significativo
P3-P4	0,3	0,7	No significativo

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.10, se observa que existe diferencia estadística para el tratamiento (P1-P4). Sin embargo, para los tratamientos (P1-P2), (P1-P3), (P2-P3), (P2-P4) y (P3-P4), no existe diferencia estadística para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

Realizada la evaluación sensorial de los atributos sensoriales de las pruebas preliminares de pan tipo molde, según el análisis estadístico de varianza para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$, la muestra con mayor aceptación es P1.

Así mismo, durante el proceso de elaboración de pan tipo molde con harina de arroz y trigo las pruebas P2, P3 y P4 presentaron una masa de panificación pesadas, cortezas duras y semi agrietadas; en comparación con la prueba P1 (23,3 % harina de arroz) que presento una masa de panificación más liviana, corteza blanda y semi agrietada. Por tal motivo y de acuerdo a la evaluación sensorial, se procedió a elegir la prueba (P1) para el proceso y aplicar el diseño experimental en la elaboración de pan tipo molde con harina de arroz, la cual tiene la siguiente formulación: Harina de arroz 23,3%, harina de trigo 43,3% y otros 33,3%

4.3 Diseño factorial 2³ en la etapa de dosificación del pan tipo molde con harina de arroz y trigo

Para el diseño experimental del presente trabajo se realizó en base a la muestra (P1), donde se aplicó la matriz del diseño experimental 2³ de la tabla 3.13 donde se tomó en cuenta las variables con sus niveles superior e inferior de la tabla 3.14.

4.3.1 Variable respuesta acidez (ácido láctico) en pan tipo molde con harina de arroz y trigo

En la tabla 4.11, se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza en el programa estadístico STATGRAPHICS Centurión XVI para Windows en el proceso de dosificación de pan tipo molde con harina de arroz y trigo, y donde la variable respuesta fue el porcentaje de acidez (ácido láctico) de datos extraídos del Anexo F (tabla F.2).

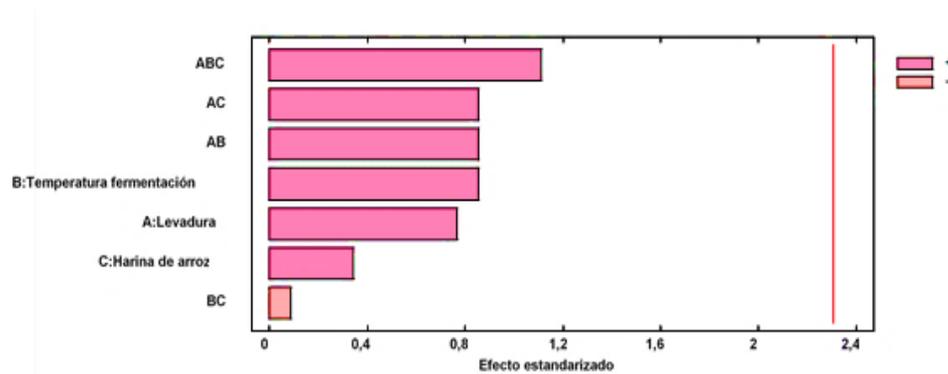
Tabla 4.11*Análisis de varianza en función de la variable acidez (ácido láctico)*

Fuente de varianza FV	Suma de Cuadrados SC	Grados de libertad GL	Cuadrados Medios CM	Fcal	Ftab
A:Levadura	0,002025	1	0,002025	0,59	5,32
B:Temperatura fermentación	0,002500	1	0,002500	0,73	5,32
C:Harina de arroz	0,000400	1	0,000400	0,12	5,32
AB	0,002500	1	0,002500	0,73	5,32
AC	0,002500	1	0,002500	0,73	5,32
BC	0,000025	1	0,000025	0,01	5,32
ABC	0,004225	1	0,004225	1,23	5,32
Error total	0,027400	8	0,003425		
Total	0,041575	15			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.11, según el análisis de varianza se observa que para los factores: (A, B y C) e interacciones (AB, AC, BC y ABC) no existe diferencia significativa debido a que $F_{cal} < F_{tab}$; por lo tanto, se acepta la hipótesis planteada y se puede afirmar que estos factores e interacciones no son significativos en la etapa de dosificación y fermentación en función del porcentaje de acidez de pan tipo molde con harina de arroz para un nivel de significancia $\alpha = 0.05$.

En la figura 4.12, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en función del porcentaje de acidez para el diseño factorial y tomando en cuenta el nivel de significancia de los factores e interacciones se determina con la línea vertical de referencia con valor de (2,306), de tal manera si alguno de los factores excede la línea de referencia indican que son significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

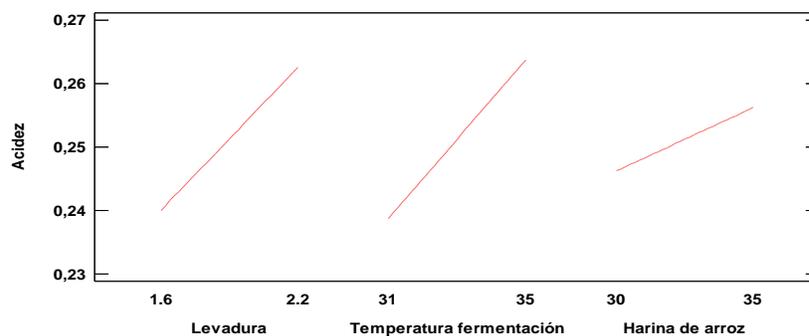


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.12: Diagrama Pareto estandarizada para el factor acidez

Según la figura 4.12, se puede observar los valores absolutos de los efectos estandarizados en forma decreciente; donde los factores A (porcentaje de levadura), B (temperatura de fermentación), C (porcentaje de harina de arroz) e interacciones ABC (porcentaje de levadura-temperatura de fermentación-porcentaje de harina de arroz), AC (porcentaje de levadura-porcentaje de harina de arroz), AB (porcentaje de levadura-temperatura de fermentación) y BC (tiempo de fermentación-porcentaje de harina de arroz). Por tanto, no son estadísticamente significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$

En la figura 4.13, se muestra los efectos principales de los factores: porcentaje de levadura (A), tiempo de fermentación (B) y porcentaje de harina de arroz con relación al porcentaje de acidez (ácido láctico).

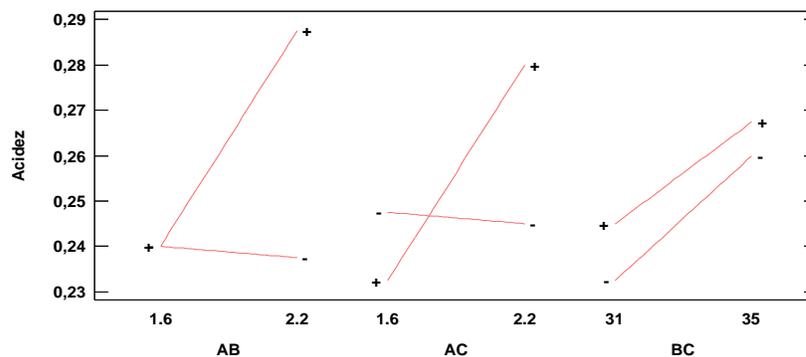


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.13: Efectos principales con relación al factor acidez

Según la figura 4.13, se puede observar que los factores (A, B y C) no influyen significativamente sobre la variable respuesta porcentaje de acidez cuando estos se encuentran tanto en nivel bajo como nivel alto (1,6-2,2) %; ya que los valores de acidez oscilan entre (0,24-0,26) %.

En la figura 4.14, se observa las interacciones de los factores levadura-tiempo de fermentación (AB), levadura-porcentaje de harina de arroz (AC) y temperatura de fermentación-porcentaje de harina de arroz (BC).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.14: Interacciones de los factores con relación al factor acidez

Según la figura 4.14, se puede observar que el valor de acidez para la interacción AC se ve afectado cuando el porcentaje de levadura se encuentra en nivel superior e inferior entre (1,6-2,2) %, presentando variación en el porcentaje de acidez (ácido láctico) de manera que influye significativamente en la variable respuesta. Así mismo, para la interacción AB el valor de acidez varía cuando el factor C se encuentra en su nivel superior e inferior. Finalmente, para la interacción BC se observa que el tiempo de fermentación no influye en la acidez; pero cuando el porcentaje de harina de arroz se encuentra en nivel superior e inferior influye levemente en la variable acidez.

4.3.2 Variable respuesta contenido de humedad en el pan tipo molde con harina de arroz y trigo

En la tabla 4.12, se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza de diseño 2^3 del programa estadístico STATGRAPHICS Centurión XVI para Windows en el proceso de dosificación y fermentación del pan tipo molde con harina de arroz y trigo, donde la variable contenido de humedad de datos extraídos Anexo F (tabla F.6).

Tabla 4.12

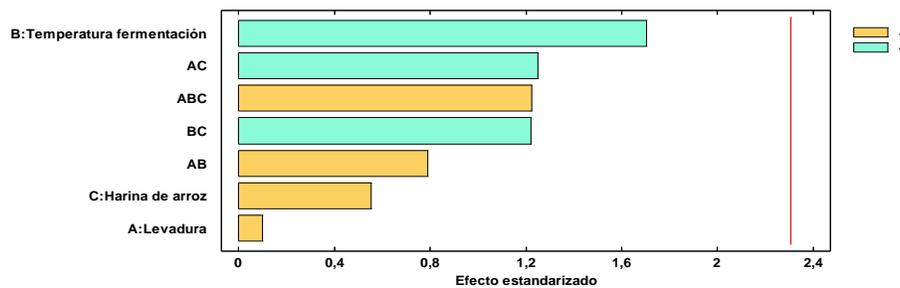
Análisis de varianza en función de la variable porcentaje de humedad

Fuente de varianza FV	Suma de Cuadrados SC	Grados de libertad GL	Cuadrado Medio CM	Ftab	Fcal
A:Levadura	0,117306	1	0,117306	0,01	5,32
B:Temperatura fermentación	33,379500	1	33,379500	2,90	5,32
C:Harina de arroz	3,525010	1	3,525010	0,31	5,32
AB	7,195810	1	7,195810	0,62	5,32
AC	17,998800	1	17,998800	1,56	5,32
BC	17,160300	1	17,160300	1,49	5,32
ABC	17,284800	1	17,284800	1,50	5,32
Error total	92,130300	8	11,516300		
Total (corr.)	188,792000	15			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.12, según el análisis de varianza se observa que los factores: (A, B y C) e interacciones (AB, AC, BC y ABC) no existe diferencia significativa debido a que $F_{cal} < F_{tab}$; por lo tanto, se acepta la hipótesis planteada y se puede afirmar que estos factores e interacciones no son significativos en la etapa de fermentación en función de la variable contenido de humedad del pan tipo molde con harina de arroz y trigo para un nivel de significancia $\alpha = 0.05$.

En la figura 4.15, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en función de la variable porcentaje de humedad. En consecuencia, el nivel de significancia de los factores e interacciones se determina con la línea vertical de referencia con valor de (2,306), de tal manera si las barras exceden la línea de referencia indican que son significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

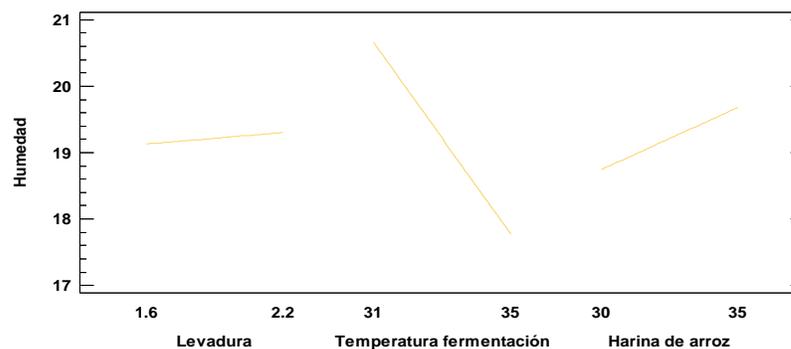


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.15: Diagrama Pareto estandarizada para el contenido de humedad

Según la figura 4.15, se puede observar los valores absolutos de los efectos estandarizados en forma decreciente; donde los factores A (porcentaje de levadura), B (temperatura de fermentación), C (porcentaje de harina de arroz) e interacciones AC (porcentaje de levadura-porcentaje de harina de arroz), ABC (porcentaje de levadura-temperatura de fermentación-porcentaje de harina de arroz), BC (tiempo de fermentación-porcentaje de harina de arroz) y AB (porcentaje de levadura-temperatura de fermentación) y no sobrepasan la línea de referencia, por tanto, no son estadísticamente significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$

En la figura 4.16, se muestra los efectos principales de los siguientes factores porcentaje de levadura (A), tiempo de fermentación (B) y porcentaje de harina de arroz con relación al contenido de humedad.

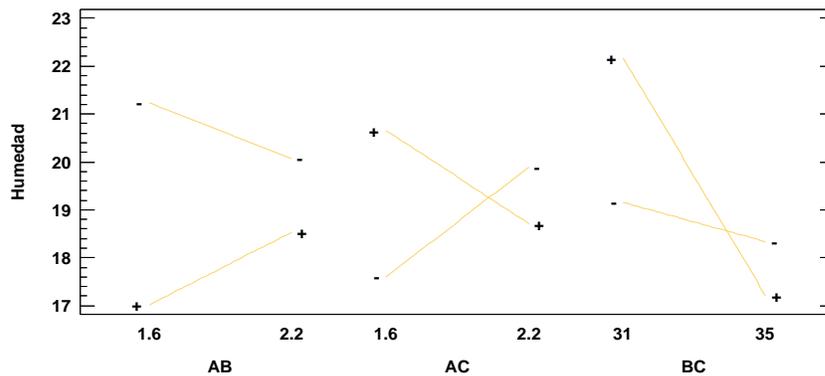


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.16: Efectos principales con relación al contenido de humedad

Según la figura 4.16, se puede observar que el factor B (temperatura de fermentación) influye significativamente sobre la variable respuesta contenido de humedad para un rango de (31-35) °C, por tanto, para un nivel superior de factor B existe mayor contenido de humedad; en comparación con los factores A (porcentaje de levadura) y C (harina de arroz) ya que no influyen significativamente sobre el contenido de humedad tanto para un nivel superior e inferior de estos factores.

En la figura 4.17, se observa las interacciones de los factores porcentaje de levadura-tiempo de fermentación (AB), porcentaje de levadura-porcentaje de harina de arroz (AC) y temperatura de fermentación-porcentaje de harina de arroz (BC).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.17: Interacciones de los factores con relación al contenido de humedad

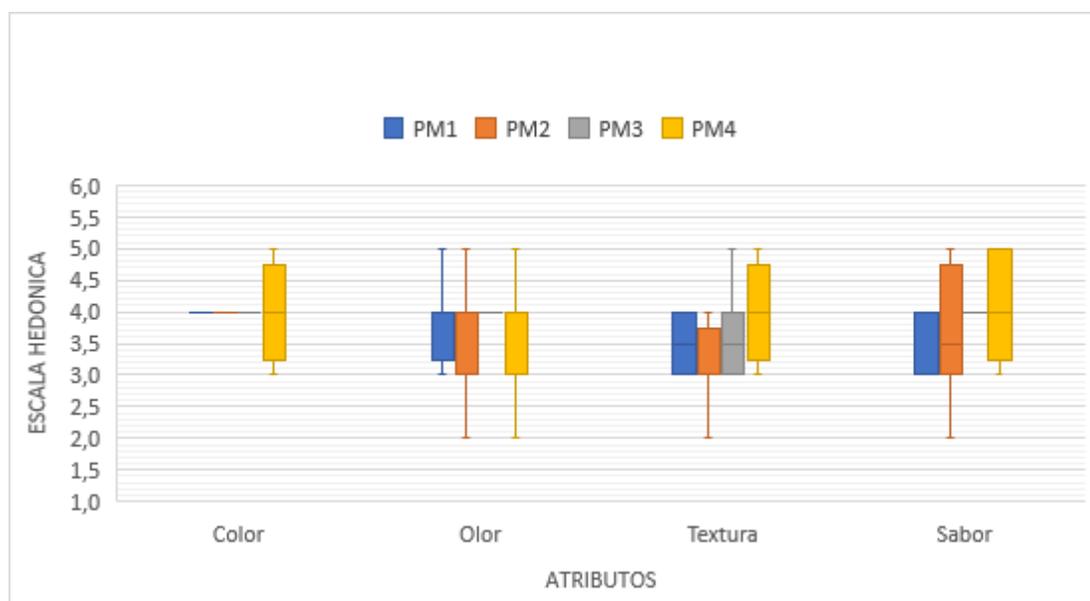
Según la figura 4.17, se puede observar que el valor del contenido de humedad para la interacción AC se ve afectado cuando el porcentaje de levadura se encuentra en nivel alto y bajo entre (1,6-2,2 %), presentando variación en el porcentaje de humedad, de manera que influye significativamente en la variable respuesta. Así mismo, para la interacción BC el valor del porcentaje de humedad varia cuando la temperatura de fermentación se encuentra en su nivel alto y bajo entre (31-35°C). Finalmente, para la interacción AB se observa que el porcentaje de levadura no influye ya que no interactúan las variables cuando se encuentra en nivel superior e inferior.

4.3.3 Evaluación sensorial de pruebas del diseño experimental de pan tipo molde con harina de arroz y trigo

Para realizar la evaluación sensorial de las ocho pruebas experimentales de pan tipo molde con harina de arroz y trigo, se procedió a evaluar las pruebas en función de la variable porcentaje de harina de arroz (C) de su nivel superior e inferior. Con la finalidad de complementar el diseño experimental y corroborar los efectos de los factores tomados en cuenta; así mismo, obtener la prueba ideal para aplicar el diseño experimental en la etapa de horneado.

4.3.3.1 Estadístico caja y bigote de pruebas del diseño experimental de pan tipo molde con harina de arroz y trigo nivel inferior

En la figura 4.18, se muestran los estadísticos de caja y bigote en función de los atributos color, olor, textura y sabor.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.18: Caja y bigote de las pruebas experimentales de pan tipo molde con harina de arroz y trigo nivel inferior

En la figura 4.18, se puede observar que los resultados de las medianas en función de los atributos evaluados como ser: color 4,0 (PM1); 4,0 (PM2); 4,5 (PM3) y 4,5 (PM4); olor 4,0 (PM1); 4,0 (PM2); 3,5 (PM3) y 4,5 (PM4); textura 3,5 (PM1); 3,0 (PM2); 3,5 (PM3); 4,0 (PM4) y sabor 3,5 (PM1); 4,5 (PM4); 4,0 (PM3) y 4,0 (PM4).

Realizado el análisis estadístico de varianza no existe diferencia significativa para los atributos color, olor y sabor; sin embargo, si existe diferencia para el atributo textura para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.3.3.1.1 Estadísticos de Tukey para el atributo textura de pruebas del diseño experimental de pan tipo molde con harina de arroz y trigo

En la tabla 4.13, se prueban los resultados del análisis estadístico de Tukey de datos extraídos de Anexo C.8 (tabla C.8.4) para el atributo textura.

Tabla 4.13

Estadístico Tukey para el atributo textura

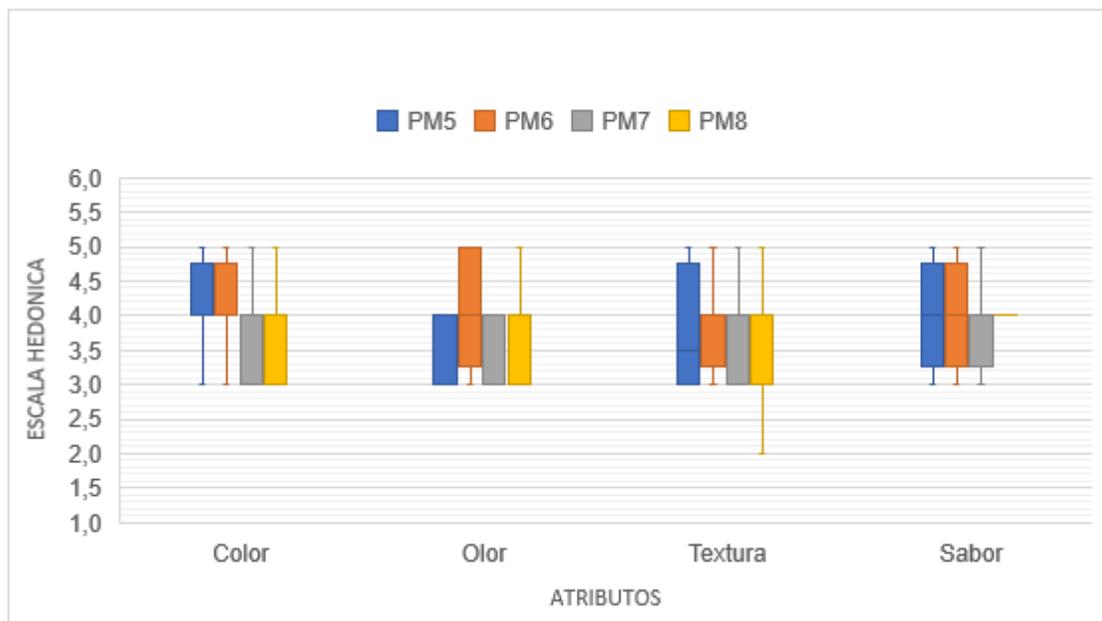
Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
PM3-PM4	0,4	0,6	No significativo
PM3-PM1	0,5	0,6	Significativo
PM3-PM2	0,9	0,6	Significativo
PM4-PM1	0,1	0,6	No significativo
PM4-PM2	0,5	0,6	Significativo
PM1-PM2	0,4	0,6	No significativo

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.13, se observa que existe diferencia estadística para el tratamiento PM3-PM4, PM3-PM1 y PM3-PM2. Sin embargo, para los tratamientos PM3-PM4, PM4-PM1, y PM1-PM2, no existe diferencia estadística para un nivel de nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.3.3.2 Estadístico caja y bigote de pruebas del diseño experimental de pan tipo molde con harina de arroz y trigo nivel superior

En la figura 4.19, se muestran los estadísticos de caja y bigote en función de los atributos color, olor, textura y sabor.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.19: Caja y bigote de pruebas experimentales de pan tipo molde con harina de arroz y trigo nivel superior

En la figura 4.19, se puede observar que los resultados de las medianas en función de los atributos evaluados como ser: color 3,5 (PM5); 5,0 (PM6); 4,0 (PM7) y 3,0 (PM8); olor 3,5 (PM5); 5,0 (PM6); 3,5 (PM7) y 3,0 (PM7); textura 3,0 (PM5); 4,5 (PM6); 4,5 (PM7) y 3,5 (PM8) y sabor 4,5 (PM5); 4,0 (PM6); 4,0 (PM7) y 4,0 (PM8).

Realizando el análisis estadístico de varianza no existe diferencia significativa para los atributos color, sabor y textura; sin embargo, si existe diferencia para el atributo olor para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.3.3.2.1 Estadísticos de Tukey para el atributo olor en pruebas del diseño experimental de pan tipo molde con harina de arroz y trigo

En la tabla 4.14, se prueban los resultados del análisis estadístico de Tukey de datos extraídos de Anexo C.11 (tabla C.11.4), para el atributo olor.

Tabla 4.14

Estadístico Tukey para el atributo olor

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
PM6-PM7	0,5	0,3	Significativo
PM6-PM5	0,5	0,3	Significativo
PM6-PM8	0,6	0,3	Significativo
PM7-PM5	4,1	0,3	Significativo
PM7-PM8	4,1	0,3	Significativo
PM5-PM8	4,1	0,3	Significativo

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.14, se observa que existe diferencia estadística para el tratamiento PM6-PM7, PM6-PM5, PM6-PM8, PM7-PM5, PM7-PM8 y PM5-PM8 para un nivel de nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.3.4 Comparación de muestra ideal con pruebas del diseño experimental de nivel superior e inferior de pan tipo molde con harina de arroz y trigo

Realizada la evaluación sensorial y el análisis estadístico de las ocho muestras del diseño experimental de pan tipo molde con harina de arroz, donde la muestra PM3 del nivel inferior y PM6 presentaron una masa de panificación semi pesada, corteza semi blanda y agrietada; en comparación con la muestra ideal P1 (23,3%) presentó masa de panificación más liviana, corteza blanda y semi agrietada. Así mismo, se pudo observar que durante el proceso de elaboración de la muestra PM6 (35%) y PM3 (30%) presentaron mayor facilidad de manejo y elasticidad durante todo el proceso. Sin embargo, se tomó la muestra PM3 por presentar un adecuado porcentaje de harina para el proceso (30%), con el fin de obtener un pan molde enriquecido.

Por tales motivos, en función de las medianas y la preferencia de los jueces al finalizar la evaluación sensorial se procedió a elegir la muestra PM3 como la muestra final del diseño experimental.

4.4 Diseño factorial 2² en la etapa de horneado del pan tipo molde con harina de arroz y trigo

En la tabla 4.15, se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza de diseño 2² del programa estadístico STATGRAPHICS Centurión XVI para Windows en el proceso de fermentación del pan tipo molde con harina de arroz, donde la variable contenido de humedad de datos extraídos Anexo E (tabla E.3).

Tabla 4.15

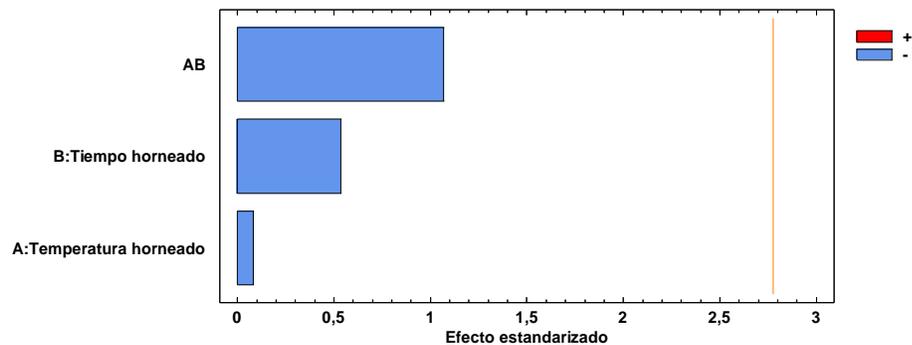
Análisis de varianza en función a la variable contenido de humedad

Fuente de variación FV	Suma de Cuadrados SC	Grados de libertad GL	Cuadrado Medio CM	Fcal	Ftab
A: Temperatura horneado	0,032283	1	0,032283	0,01	7,71
B: Tiempo horneado	1,448060	1	1,448060	0,29	7,71
AB	5,767430	1	5,767430	1,14	7,71
Error total	20,152000	4	5,037990		
Total (corr.)	27,399700	7			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.15, según el análisis de varianza se observa que para los factores: (A y B) e interacción (AB) no existe diferencia significativa debido a que $F_{cal} < F_{tab}$; por lo tanto, se acepta la hipótesis planteada y se puede afirmar que estos factores e interacción no son significativos en la etapa de horneado en función de la variable contenido de humedad del pan tipo molde con harina de arroz para un nivel de significancia $\alpha = 0.05$.

En la figura 4.20, se muestra los resultados del análisis de varianza del diagrama de Pareto estandarizada para contenido de humedad de los factores tomados en cuenta para el diseño experimental los cuales están ordenados de mayor a menor, datos extraídos del anexo G, para probar la significancia estadística de los efectos, por tanto, se puede evidenciar que no son significativos en el proceso de elaboración del pan tipo molde con harina de arroz y trigo.

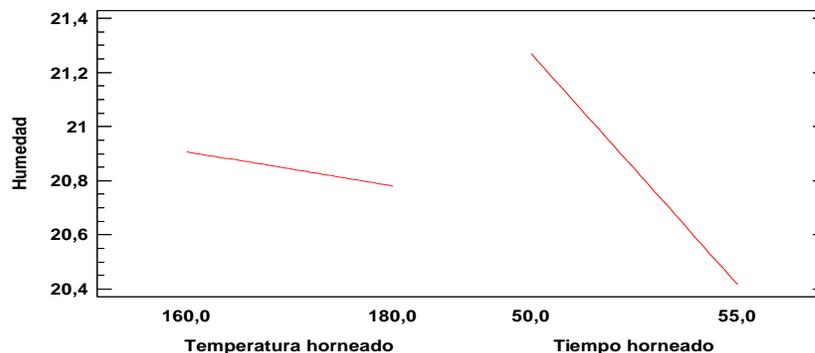


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.20: Diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de humedad

En la figura 4.20, se puede observar los valores absolutos según los resultados del diagrama de Pareto estandarizada para el contenido de humedad en forma decreciente, donde los factores: temperatura de horneado (A), tiempo de horneado (B) y la interacción temperatura de horneado-tiempo de horneado (AB), no son estadísticamente significativos debido a que ninguna de las barras de los factores sobre pasa la línea vertical de referencia para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

En la figura 4.21, se puede observar los efectos principales de los siguientes factores: temperatura de horneado (A), tiempo de horneado (B) y la interacción temperatura de horneado-tiempo de horneado (AB), con relación al contenido de humedad del pan tipo molde con harina de arroz.

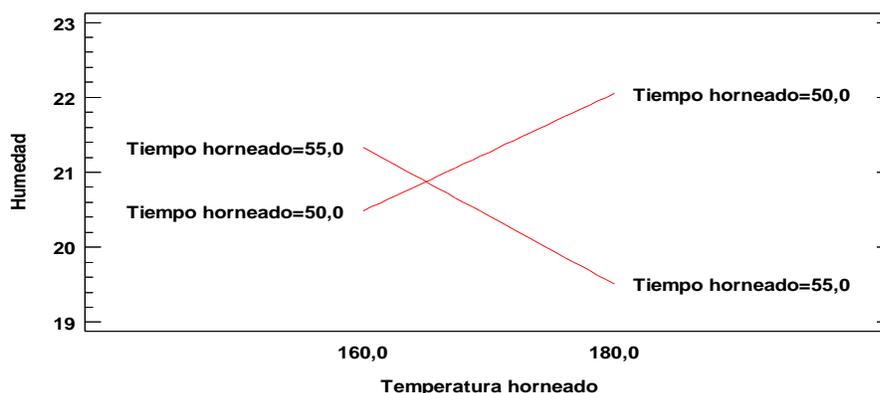


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.21: Efecto principales para el contenido de humedad del pan tipo molde con harina de arroz y trigo

En la figura 4.21, se observa que los factores: temperatura de horneado (A) influye levemente sobre la variable respuesta porcentaje de humedad para un rango de (160-180°C). Sin embargo, el factor tiempo de horneado (B) influye significativamente sobre la variable respuesta porcentaje de humedad para un rango de (50-55°C).

En la figura 4.22, se observa las interacciones de los factores: temperatura de horneado (A) y tiempo de horneado (B).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.22: Interacciones de los factores con relación al contenido de humedad del pan tipo molde con harina de arroz y trigo

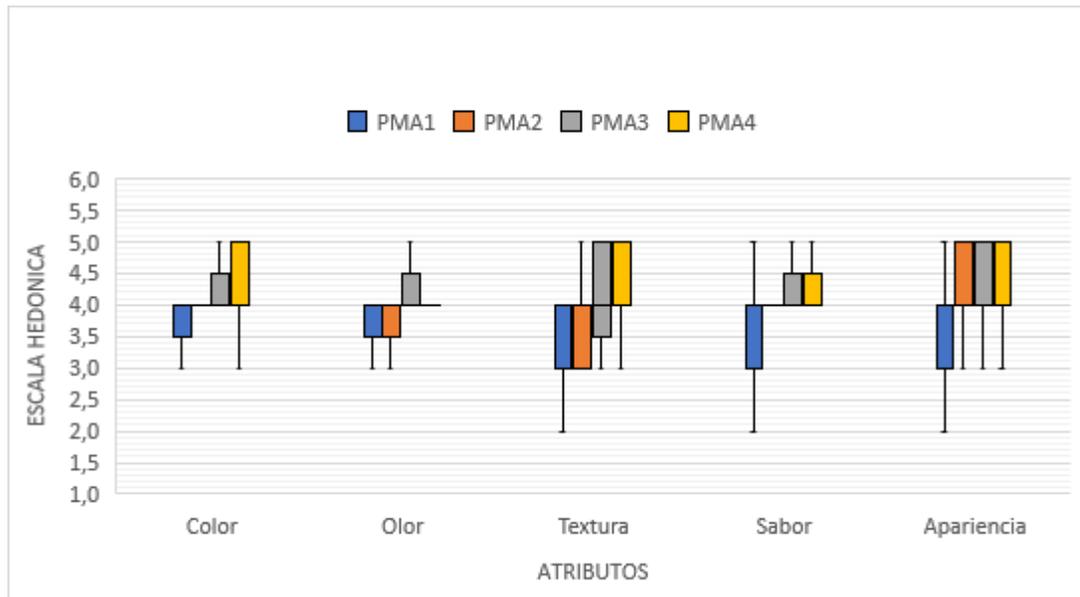
En la figura 4.22, se puede observar que la interacción (AB) inciden significativamente, debido a que los factores de las variables interaccionan entre sí, cuando la temperatura de horneado se encuentra en (180°C) se observa un cambio de contenido de humedad cuando el tiempo de horneado se encuentra en su nivel superior (55 min) y nivel inferior (50 min).

4.4.1 Evaluación sensorial de pruebas experimentales en el horneado de pan tipo molde con harina de arroz y trigo

Para realizar la evaluación sensorial de las cuatro pruebas experimentales en el horneado de pan tipo molde con harina de arroz, con escala hedónica de cinco puntos en las que se valoraron los atributos; color, olor, textura, sabor y apariencia. Con la finalidad de complementar el diseño experimental y corroborar los efectos de los factores tomados en cuenta; así mismo, obtener la muestra final de pan tipo molde con harina de arroz y trigo.

4.4.1.1 Estadístico caja y bigote de las pruebas experimentales en el horneado de pan tipo molde con harina de arroz y trigo

En la figura 4.23, se muestran los estadísticos de caja y bigote en función de los atributos color, olor, textura, sabor y apariencia.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.23: Caja y bigote de las pruebas experimentales en el horneado

En la figura 4.23, se puede observar que los resultados de las medianas en función de los atributos evaluados como ser: color 3,0 (PMA1); 3,5 (PMA2), 4,0 (PMA3) y 4,0 (PMA4); olor 3,0 (PMA1); 3,0 (PMA2); 5,0 (PMA3) y 4,0 (PMA4); textura 3,0 (PMA1); 3,0 (PMA4); 5,0 (PMA3) y 4,0 (PMA4); sabor 4,0 (PMA1); 3,0 (PMA2); 4,0 (PMA3) y 4,0 (PMA4) y apariencia 3,0 (PMA1); 4,0 (PMA2); 4,0 (PMA3) y 3,0 (PMA4).

Realizando el análisis estadístico de varianza no existe diferencia significativa para los atributos color, olor, sabor y apariencia; sin embargo, si existe diferencia para el atributo textura para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.4.1.1.1 Estadísticos de Tukey para el atributo textura de pruebas experimentales de pan tipo molde con harina de arroz y trigo

En la tabla 4.16, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey de datos extraídos de Anexo C.16 (tabla C.16.4), para el atributo textura.

Tabla 4.16

Estadístico Tukey para el atributo textura

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significancia
PMA4-PMA3	0,07	0,6	No significativo
PMA4-PMA2	0,60	0,6	Significativo
PMA4-PMA1	0,87	0,6	Significativo
PMA3-PMA2	0,53	0,6	No significativo
PMA3-PMA1	0,80	0,6	Significativo
PMA2-PMA1	0,27	0,6	No significativo

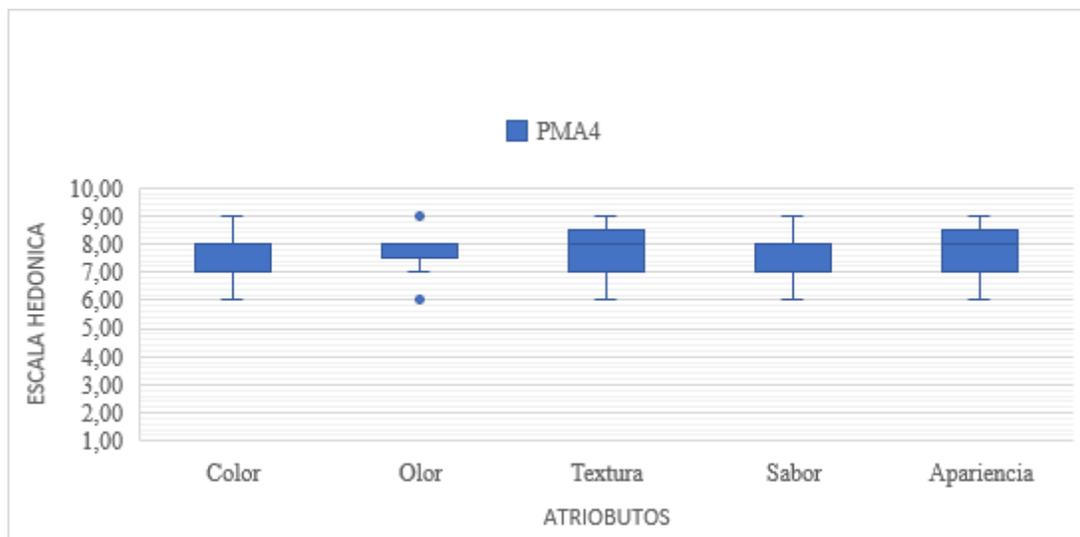
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.16, se observa que existe diferencia estadística para el tratamiento PMA4-PMA2, PMA4-PMA1 y PM3-PM1. Sin embargo, para los tratamientos PMA4-PMA3, PMA3-PMA2, y PMA2-PMA1, no existe diferencia estadística para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

Por tanto, los niveles de los factores e interacciones analizados en el diseño factorial influyen de manera leve sobre el atributo textura y no así en los atributos color, olor, sabor y apariencia de las muestras evaluadas. Así mismo, tomando en cuenta la preferencia de los jueces y en función de las medianas se procedió a tomar en cuenta la muestra PMA4 como prueba final.

4.5 Estadístico de caja y bigote para muestra final de pan molde con harina de arroz y trigo

En la figura 4.24, se muestran los estadísticos de caja y bigote de datos extraídos de Anexo C (tabla C.19) para el atributo: color, olor, textura, sabor y apariencia.



Fuente: Elaboración propia

Figura: 4.24: Caja y Bigote para muestra final de pan tipo molde con harina de arroz y trigo

Según la figura 4.24, se puede observar que los resultados de las medianas en función de los atributos evaluados como ser: color (8,00), olor (8,00), textura (8,00) sabor (7,89) y apariencia (8,00).

4.6 Caracterización del producto terminado

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

4.6.1 Análisis fisicoquímico del producto terminado

En la tabla 4.17, se detallan los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del producto terminado de datos extraídos (Anexo A) y realizados en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID).

Tabla 4.17*Análisis fisicoquímico del producto terminado*

Parámetros	Unidad	Resultado
Cenizas	%	2,92
Fibra	%	1,92
Grasa	%	3,97
Hidratos de carbono	%	49,34
Humedad	%	34,14
Proteína total (Nx6,25)	%	7,71
Valor energético	Kcal/100g	263,93

Fuente: CEANID, 2021

En la tabla 4.17, se puede observar los resultados del análisis fisicoquímico del producto terminado que presenta: cenizas 2,92%, fibra 1,92%, grasa 3,97 %, hidratos de carbono 49,34 %, humedad 34,14%, proteína total (Nx6,25) 7,71% y valor energético 263,93 Kcal/100.

4.6.2 Análisis microbiológico del producto terminado

En la tabla 4.18, se detallan los resultados obtenidos del análisis microbiológico del producto terminado de datos extraídos del (Anexo A) y realizados en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID).

Tabla 4.18*Análisis microbiológico del producto terminado*

Microorganismos	Resultados	Unidad
Coliformes totales	$<1,0 \times 10^1$	UFC/g
Escherichia Coli	$<1,0 \times 10^1$	UFC/g
Mohos y levaduras	$9,7 \times 10^2$	UFC/g

Fuente: (CEANID)

En la tabla 4.18, se puede observar los resultados obtenidos del análisis microbiológico del producto terminado que presenta: Coliformes totales $<1,0 \times 10^1$, Escherichiacoli $<1,0 \times 10^1$ UFC/g, Mohos y Levaduras $9,7 \times 10^2$ UFC/g.

4.7. Control del contenido de humedad, pH y acidez durante el almacenamiento del pan tipo molde con harina de arroz y trigo

Para llevar a cabo el control de porcentaje de humedad, pH y acidez (ácido láctico) durante el almacenamiento del pan molde; se realizó en base a la muestra final (PMA4) de pan molde donde se elaboraron dos muestras; PP envasada en envases de polietileno y EP envasada en envases de polipropileno; para lo cual, se realizó el control diario de las muestras exceptuando feriados y fines de semana.

4.7.1 Control del contenido de humedad del pan tipo molde con harina de arroz y trigo durante el almacenamiento

En la tabla 4.19, se muestran los resultados obtenidos de la variación del porcentaje de humedad del pan tipo molde con harina de arroz y trigo envasado en envases de polipropileno (PP) y en envases de polietileno (EP); durante los 5 días de almacenamiento.

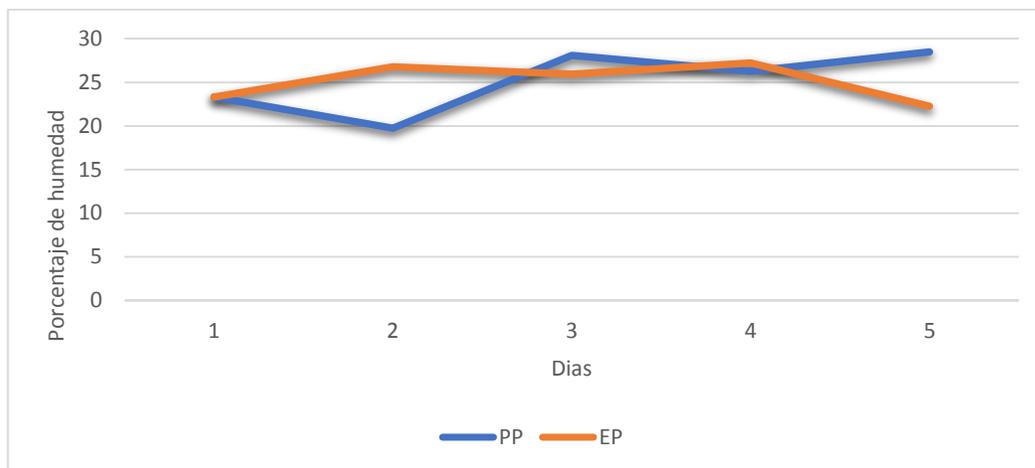
Tabla 4.19

Control de humedad del pan tipo molde con harina de arroz y trigo durante el almacenamiento

Tiempo (días)	Humedad (Porcentaje de agua) %	
	Envases de polipropileno (PP)	Envases de polietileno (EP)
1	23,30	23,31
2	19,74	26,76
3	28,09	25,95
4	26,25	27,22
5	28,48	22,26

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.25, se muestra el control del porcentaje de humedad en el pan tipo molde con harina de arroz y trigo durante el tiempo de almacenamiento y en base a la tabla 4.19.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.25: Control del contenido de humedad del pan tipo molde con harina de arroz y trigo durante el tiempo de almacenamiento

En la figura 4.25, se puede observar que las muestras PP y EP presentan un contenido de humedad inicial 23,31%; transcurrido los tres días de almacenamiento la prueba PP tiene un aumento en el contenido de humedad con un valor 28,09%. Sin embargo, la muestra EP disminuye en el contenido de humedad con un valor 25,95%. Al finalizar el control durante los cinco días la muestra PP tiene un aumento en el contenido de humedad con un valor 28,48%; sin embargo, la muestra EP tiene una disminución en su contenido de humedad alcanzando un valor 22,26%.

4.7.2 Control de pH del pan tipo con harina de arroz y trigo molde durante el almacenamiento

En la tabla 4.20, se muestran los resultados obtenidos de la variación de pH del pan tipo molde envasado en bolsas de polipropileno (PP) y envases de polietileno (EP); durante los 5 días de almacenamiento.

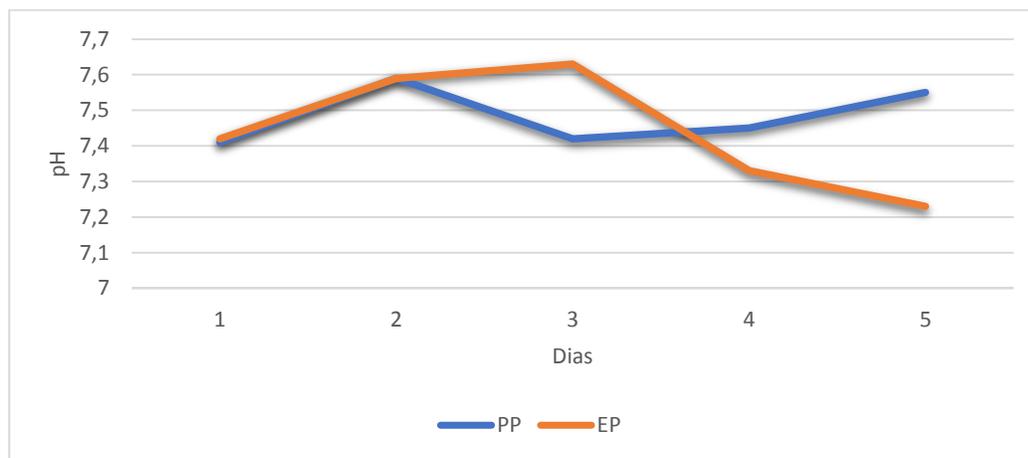
Tabla 4.20

Control de pH del pan tipo molde con harina de arroz y trigo, durante el almacenamiento

Tiempo (días)	pH	
	Envases de polipropileno (PP)	Envases de polietileno (EP)
1	7,41	7,42
2	7,59	7,59
3	7,42	7,63
4	7,45	7,33
5	7,55	7,23

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.26, se muestra el control del pH en el pan tipo molde con harina de arroz y trigo durante el tiempo de almacenamiento en base a la tabla 4.20.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.26: *Control de variación de pH del pan tipo molde con harina de arroz y trigo durante el tiempo de almacenamiento*

En la figura 4.26, se puede observar que la muestra PP presenta un pH inicial 7,41 y la muestra EP presenta un pH inicial 7,42; así mismo, transcurrido los dos días de almacenamiento ambas pruebas presentan un aumento de pH 7,59. Sin embargo, a partir del tercer día de almacenamiento presentan una fluctuación del pH. Al finalizar el control durante los cinco días de almacenamiento la muestra PP tiene un aumento de pH 7,55 y la muestra EP tiene una disminución de pH 7,23.

4.7.3 Control del porcentaje de acidez del pan tipo molde con harina de arroz y trigo, durante el almacenamiento

En la tabla 4.21, se muestran los resultados obtenidos de la variación del porcentaje de acidez del pan tipo molde con harina de arroz (expresado en ácido láctico) envasado en envases de polipropileno (PP) y en envases de polietileno (EP); durante los 5 días de almacenamiento.

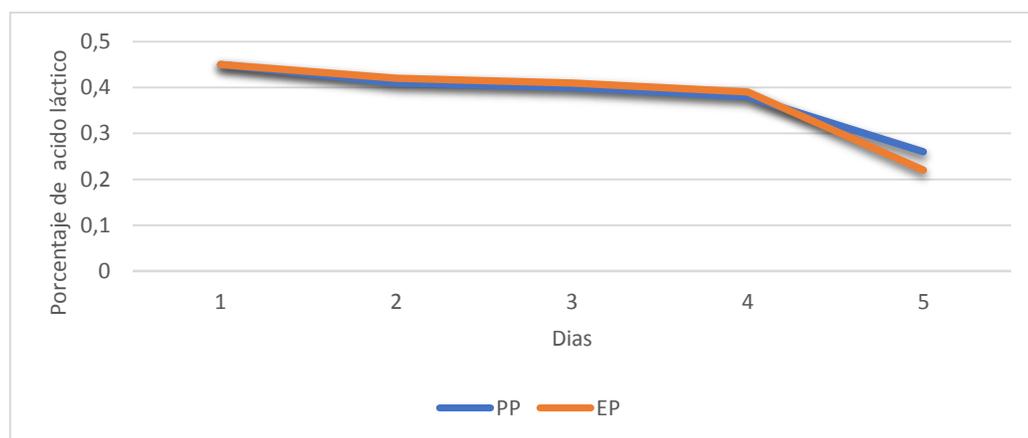
Tabla 4.21

Control del porcentaje de acidez del pan tipo molde con harina de arroz y trigo, durante el almacenamiento

Tiempo (días)	Porcentaje de acidez (Expresado en ácido láctico)	
	Envases de polipropileno (PP)	Envases de polietileno (EP)
1	0,26	0,26
2	0,25	0,26
3	0,25	0,25
4	0,23	0,24
5	0,16	0,13

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.27, se muestra el control del porcentaje de acidez en el pan tipo molde con harina de arroz y trigo, durante el tiempo de almacenamiento en base a la tabla 4.21.



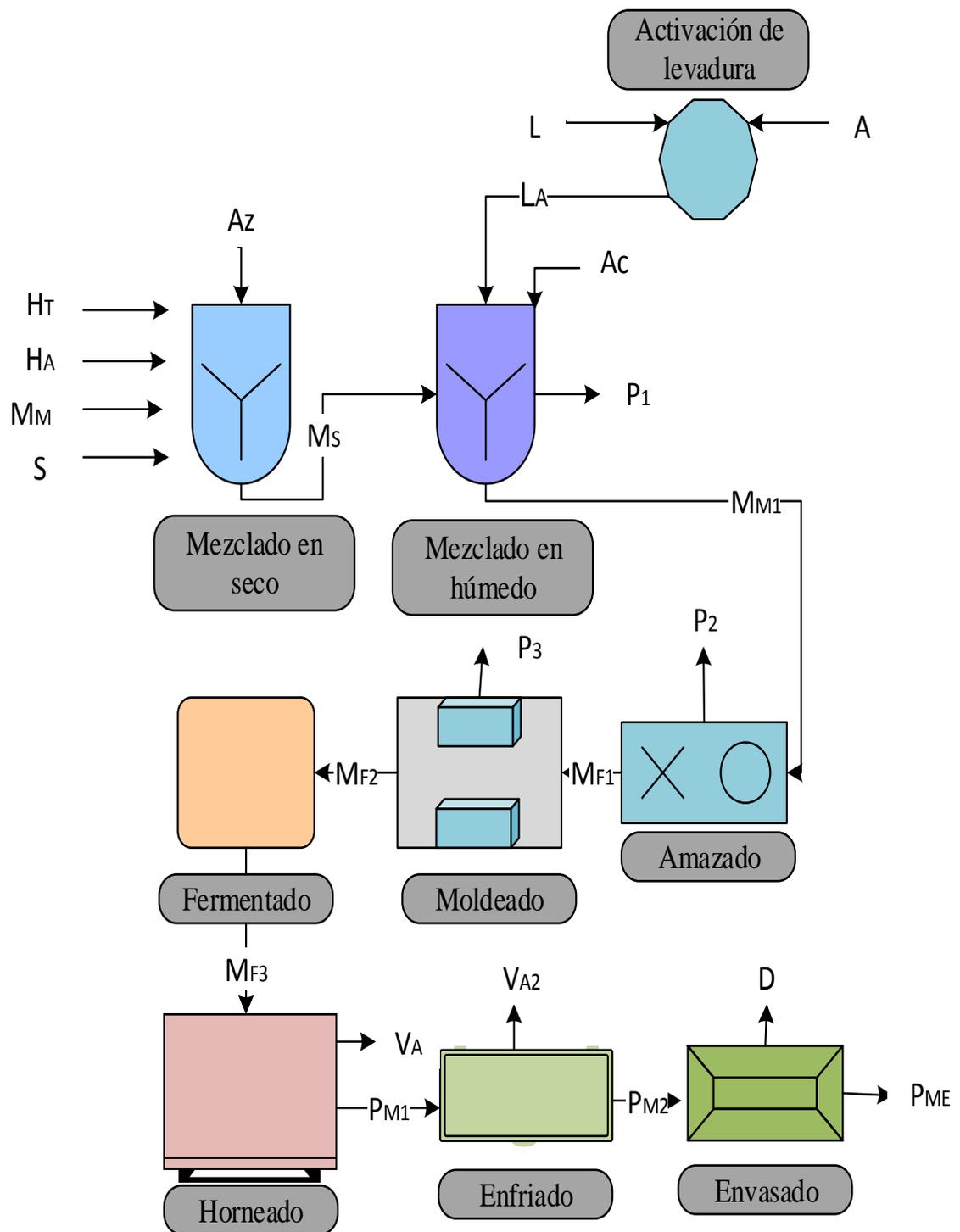
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.27: Control de acidez del pan tipo molde con harina de arroz y trigo, durante el tiempo de almacenamiento

En la figura 4.27, se puede observar que las pruebas PP y EP presentan un valor de acidez inicial 0,26%, transcurrido tres días de almacenamiento las pruebas PP y EP tienen una disminución de acidez con un valor 0,25%. Al finalizar el control durante los cinco días de almacenamiento la muestra PP tiene una disminución con un valor de 0,16% y la muestra EP tiene una disminución con un valor de 0,13%.

4.8 Balance de materia para la elaboración de pan tipo molde con harina de arroz y trigo

En la figura 4.28, se muestra el balance de materia general para el proceso de elaboración de pan tipo molde con harina de arroz y trigo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.28: Balance de materia general para el proceso de elaboración de pan tipo molde con harina de arroz y trigo

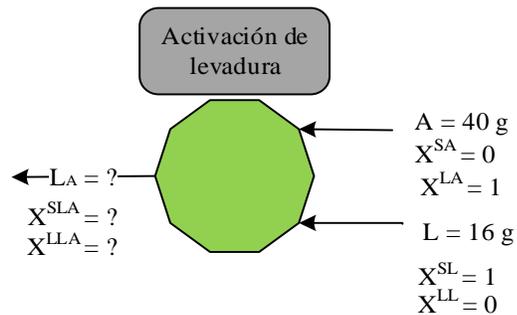
Donde:**H_T:** Harina de trigo (g)**H_A:** Harina de arroz (g)**A_Z:** Azúcar (g)**M_M:** Mejorador de masa (g)**S:** Sal (g)**L:** Levadura (g)**A:** Agua (g)**L_A:** Levadura activada (g)**P₁:** Pérdida uno en la mezcla

Húmeda (g)

M_S: Mezcla seca (g)**A_C:** Aceite (g)**M_{M1}:** Mezcla húmeda (g)**P₂:** Pérdida 2 en el amasado (g)**M_{F1}:** Masa total 1 en el amasado (g)**M_{F2}:** Masa total 2 en el moldeado (g)**M_{F3}:** Masa total 3 en el fermentado (g)**V_A:** Vapor de agua (g)**P_{M1}:** Pan molde 1 en el horneado (g)**V_{A1}:** Vapor de agua 1 en el horneado (g)**V_{A2}:** Vapor de agua 2 en el enfriado (g)**P_{M2}:** Pan molde 2 en el enfriado (g)**D:** Descarte (g)**P_{ME}:** Pan molde envasado (g)

4.8.1 Balance de materia para la activación de la levadura

En la figura 4.29, se muestra el diagrama de activación de la levadura para realizar el balance de materia correspondiente.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.29: Activación de la levadura

Balance general de materia para activación de levadura:

$$L + A = L_A$$

Ecuación 4.1

Donde:

X^{SA} = Fracción sólidos solubles del agua

X^{LA} = Fracción líquido del agua

X^{SL} = Fracción sólidos solubles de la levadura

X^{LL} = Fracción líquido de la levadura

X^{SLA} = Fracción sólidos solubles de la levadura activada

X^{SLLA} = Fracción líquido de la levadura activada

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

$$L * X^{SL} + A * X^{SA} = L_A * X^{SLA}$$

$$L * X^{SL} + A * X^{SA} = L_A * X^{SLA}$$

$$L * X^{SL} = L_A * X^{SLA}$$

Ecuación 4.2

Remplazando ecuación (4.1) en ecuación (4.2) para hallar la fracción sólida de la levadura activada:

$$L * X^{SL} = (L + A) * X^{SLA} \quad \text{Ecuación 4.3}$$

$$X^{SLA} = \frac{L * X^{SL}}{L + A} = \frac{16 \text{ g} * 1}{16 \text{ g} + 40 \text{ g}} \rightarrow X^{SLA} = 0,285 \text{ de sólidos solubles de la levadura activada}$$

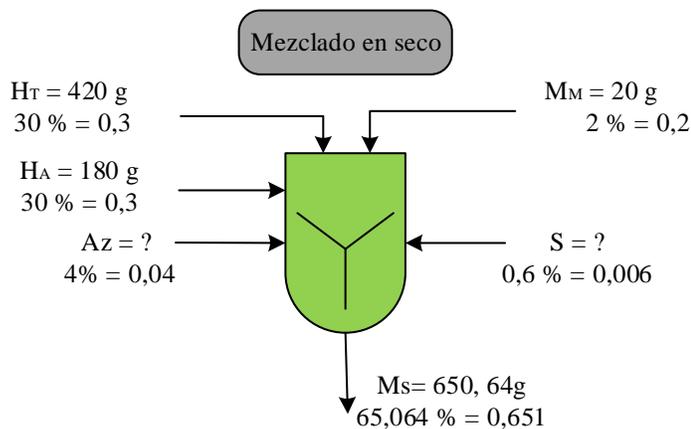
Para calcular la cantidad de levadura activada (LA), se utiliza la ecuación (4.1):

$$L + A = L_A$$

$$L_A = 40 \text{ g} + 16 \text{ g} \rightarrow L_A = 56 \text{ g de levadura activada}$$

4.8.2 Balance de materia en la etapa de mezclado en seco

En la figura 4.30, se muestra el diagrama para la etapa de mezclado en seco para realizar el balance de materia correspondiente:



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.30: Mezclado en seco

Para el cálculo de A_Z (azúcar), se tomó en cuenta los porcentajes de rendimiento en la etapa de mezclado en seco:

$$A_Z = M_S * (0,04) \quad \text{Ecuación 4.4}$$

$$A_Z = 650,64 \text{ g} * (0,04)$$

$$A_Z = 26,64 \text{ g de azúcar}$$

Para el cálculo de S (sal), se tomó en cuenta los porcentajes de rendimiento en la etapa de mezclado en seco:

$$S = M_S * (0,009)$$

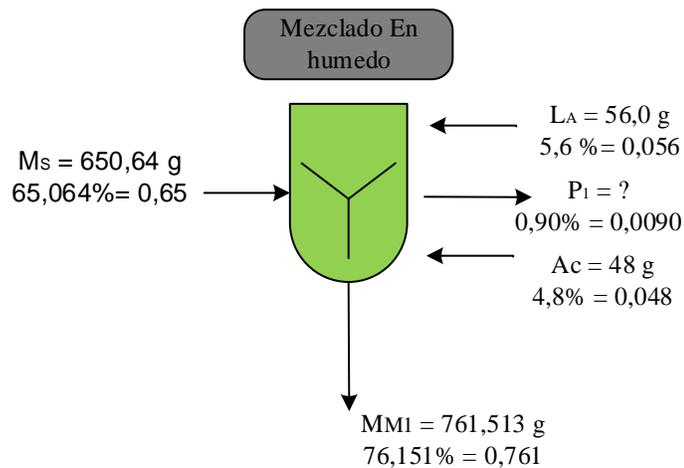
Ecuación 4.5

$$S = 650,64 \text{ g} * (0,006)$$

$$S = 4,0 \text{ g de sal}$$

4.8.3 Balance de materia en la etapa de mezclado en húmedo

En la figura 4.31, se muestra el diagrama para la etapa de mezclado en húmedo para realizar el balance de materia correspondiente:



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.31: Mezclado en húmedo

Para el cálculo de P1 (pérdida) en la etapa de mezclado en húmedo, se tomó en cuenta los porcentajes de rendimiento en la etapa de mezclado:

$$P_1 = M_{M1} * (0,0090)$$

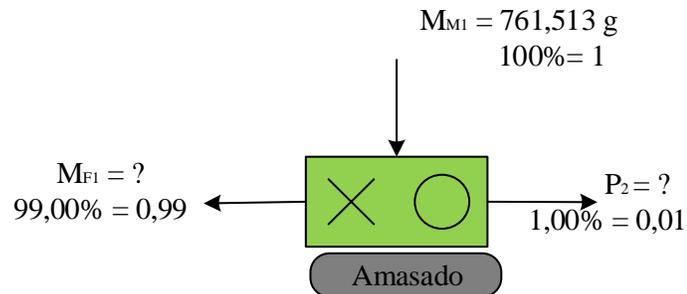
Ecuación 4.6

$$P_1 = 761,513 \text{ g} * (0,0090)$$

$P_1 = 6,85$ g de pérdida en el mezclado en húmedo

4.8.4 Balance de materia en la etapa de amasado

En la figura 4.32, se muestra el diagrama para la etapa de amasado para realizar el balance de materia correspondiente:



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.32: Amasado

Para el cálculo de P_2 (pérdida) en la etapa de amasado, se tomó en cuenta los porcentajes de rendimiento en la etapa de amasado:

$$P_2 = M_{M1} * (0,01) \quad \text{Ecuación 4.7}$$

$$P_2 = 761,513 \text{ g} * (0,01)$$

$$P_2 = 7,615 \text{ g de pérdida de restos de masa}$$

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

$$M_{F1} = M_{M1} * (0,99) \quad \text{Ecuación 4.8}$$

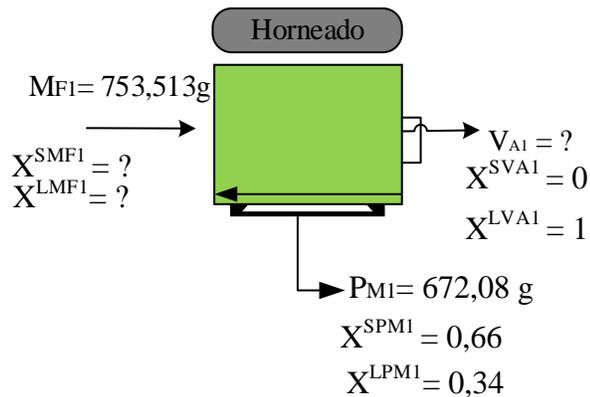
$$M_{F1} = 761,513 \text{ g} * (0,99)$$

$$M_{F1} = 753,898 \text{ g}$$

- ◆ 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 se considera despreciable.

4.8.5 Balance de materia parcial en la etapa de horneado

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



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.33: Horneado

Balance general en la etapa de horneado del pan molde:

$$M_{F1} = V_{A1} + P_{M1}$$

Ecuación 4.9

Donde:

X^{SMF1} = Fracción sólidos solubles de la masa final

X^{LMF1} = Fracción líquido de la masa final

X^{SVA1} = Fracción sólidos solubles del agua evaporada

X^{LVA1} = Fracción líquido del agua evaporada

X^{SPM1} = Fracción sólidos solubles del pan

X^{LPM1} = Fracción líquido del pan

Para el cálculo del agua evaporada (V_{A1}) durante la etapa de horneado se tomó la ecuación 4.9:

$$M_{F1} = V_{A1} + P_{M1} \quad \text{Ecuación 4.9}$$

Despejando VA en base a la ecuación 4.9:

$$V_{A1} = M_{F1} - P_{M1} \quad \text{Ecuación 4.10}$$

$$V_{A1} = 753,898 \text{ g} - 672,08 \text{ g}$$

$$V_{A1} = 81,818 \text{ g de Vapor de agua después del horneado}$$

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

$$M_{F1} * X^{LMF1} = V_{A1} * X^{LVA1} + P_{M1} * X^{LPM1} \quad \text{Ecuación 4.11}$$

$$X^{LMF1} = \frac{V_{A1} * X^{LVA1} + P_{M1} * X^{LPM1}}{M_{F1}} = \frac{81,818 * 1 + 672,08 * 0,34}{753,898} \longrightarrow X^{LMF1} = 0,41$$

Para determinar la fracción solida de la masa que entra al horno:

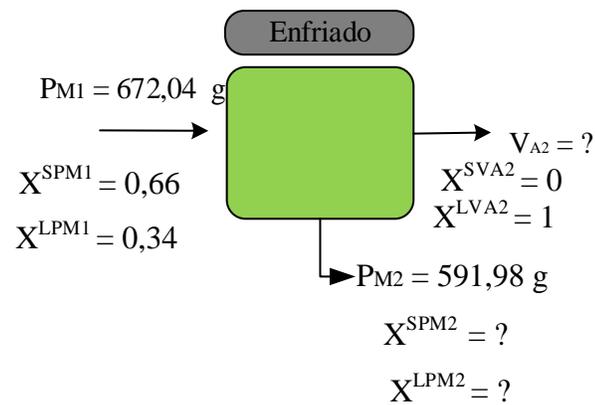
$$\text{Así mismo:} \quad X^{LMF1} + X^{SMF1} = 1 \quad \text{Ecuación 4.12}$$

$$\text{Entonces:} \quad X^{SMF1} = 1 - X^{LMF1} \quad \text{Ecuación 4.13}$$

$$\text{Por tanto:} \quad X^{SMF1} = 1 - 0,41 \longrightarrow X^{SMF1} = 0,59$$

4.8.6 Balance de materia en la etapa de enfriado

En la figura 4.34, se muestra el diagrama para la etapa de enfriado del pan molde para realizar el balance de materia correspondiente:



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.34: *Enfriado*

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

$$P_{M1} = V_{A2} + P_{M2}$$

Ecuación 4.14

Donde:

X^{SPM1} = Fracción sólidos solubles del pan molde en el horneado

X^{LPM1} = Fracción líquido del pan molde en el horneado

X^{SVA2} = Fracción sólidos solubles del agua evaporada en el enfriado

X^{LVA2} = Fracción líquido del agua evaporada en el enfriado

X^{SPM2} = Fracción sólidos solubles de pan molde en el enfriado

X^{LPM2} = Fracción líquido de pan molde en el enfriado

Para el cálculo del agua evaporada (V_{A2}) durante el enfriado del pan molde se tomó en cuenta la ecuación 4.14:

$$P_{M1} = V_{A2} + P_{M2} \quad \text{Ecuación 4.14}$$

Despejando V_{A2} de la ecuación 4.14:

$$V_{A2} = P_{M1} - P_{M2} \quad \text{Ecuación 4.15}$$

$$V_{A2} = 672,08 \text{ g} - 591,98 \text{ g}$$

$$V_{A2} = 80,10 \text{ g}$$

Para hallar la humedad del pan molde (X^{LPM2}) después del enfriado, se realizó el balance por componente en líquido (agua) en base a la ecuación 4.16:

$$P_{M1} * X^{LPM1} = V_{A2} * X^{LVA2} + P_{M2} * X^{LPM2} \quad \text{Ecuación 4.16}$$

$$X^{LPM2} = \frac{P_{M1} * X^{LPM1} - V_{A2} * X^{LVA2}}{P_{M2}} = \frac{672,08 * 0,34 - 80,10 * 1}{591,98} \rightarrow X^{LPM2} = 0,25$$

Para determinar la fracción sólida del pan molde después del enfriado:

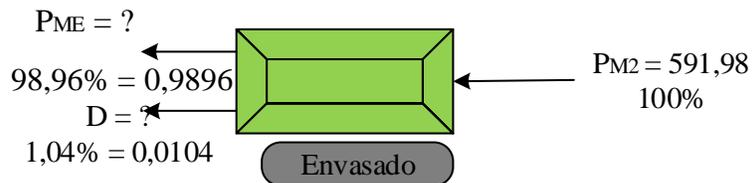
$$\text{Así mismo:} \quad X^{LPM2} + X^{SPM2} = 1 \quad \text{Ecuación 4.17}$$

$$\text{Entonces:} \quad X^{LPM2} = 1 - X^{SPM2} \quad \text{Ecuación 4.18}$$

$$\text{Por tanto:} \quad X^{LPM2} = 1 - 0,25 \rightarrow X^{LPM2} = 0,75$$

4.8.7 Balance de materia en la etapa de envasado

En la figura 4.35, se muestra el diagrama para la etapa de envasado del pan molde para realizar el balance de materia correspondiente:



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.35: *Envasado*

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

$$P_{M2} = P_{ME} + D \quad \text{Ecuación 4.19}$$

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

$$P_{ME} = P_{M2} * (0,9896) \quad \text{Ecuación 4.20}$$

$$P_{ME} = 591,98 \text{ g} * (0,9896)$$

$$P_{ME} = 585,823 \text{ g pan molde envasado}$$

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

$$D = P_{M2} * (0,0104) \quad \text{Ecuación 4.21}$$

$$D = 591,98 \text{ g} * (0,0104)$$

$$D = 6,156 \text{ g de pérdida en la etapa de envasado}$$

Realizado el balance de materia para la elaboración de pan tipo molde con harina de arroz, se pudo obtener 585,823 g de pan tipo molde.

Realizando el rendimiento de todo el proceso para la elaboración de pan tipo molde con harina de arroz:

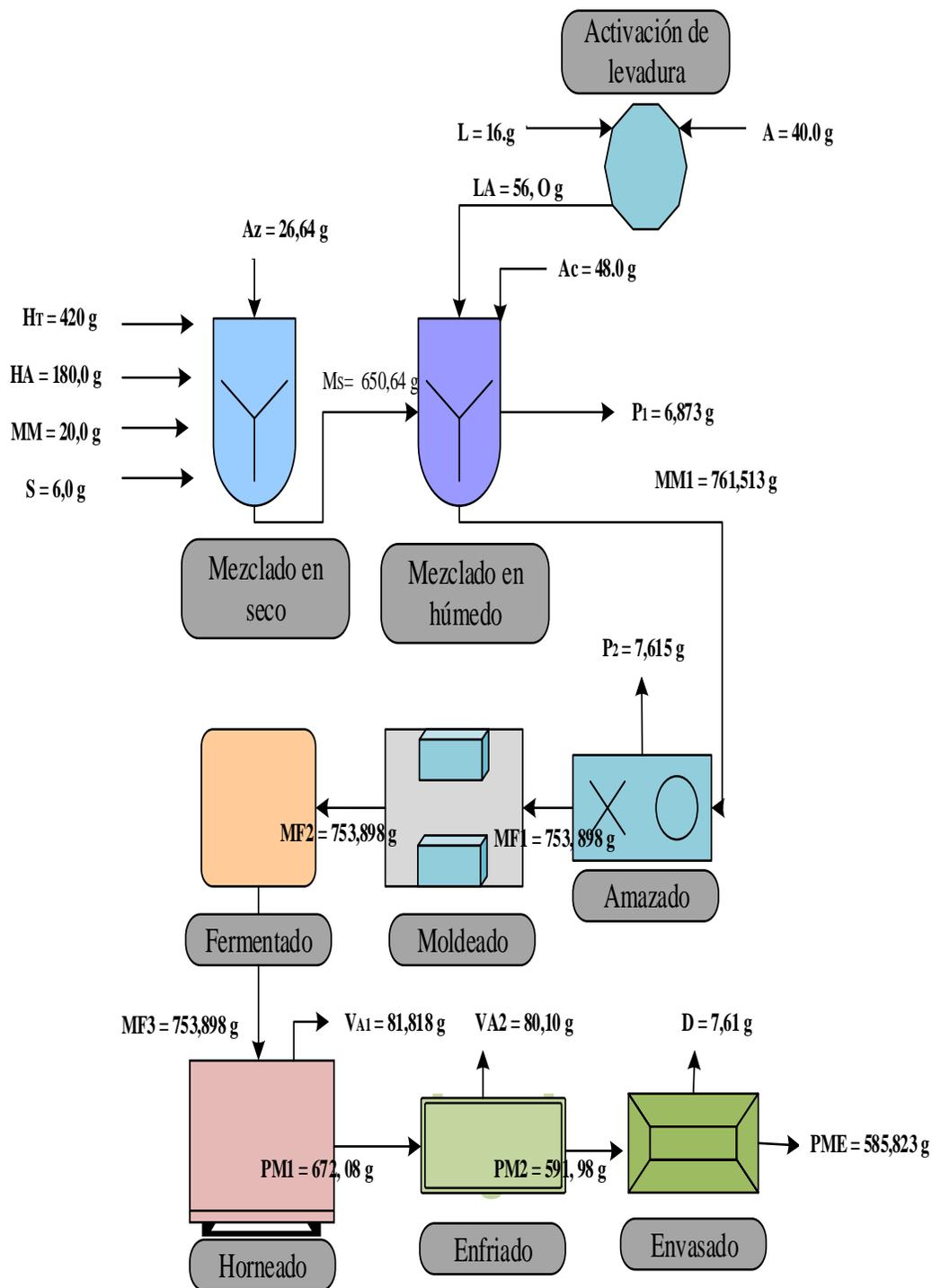
$$R = \frac{\text{Rendimiento}_{Real}}{\text{Rendimiento}_{Teorico}} * 100\%$$

$$R = \frac{585,823 \text{ g}}{(40,00 + 16,0 + 26,64 + 420,00 + 180,0 + 20,0 + 4,0) \text{ g}} * 100\%$$

$$R = 82,90 \%$$

4.8.8 Resumen del balance de materia para la elaboración de pan tipo molde con harina de arroz

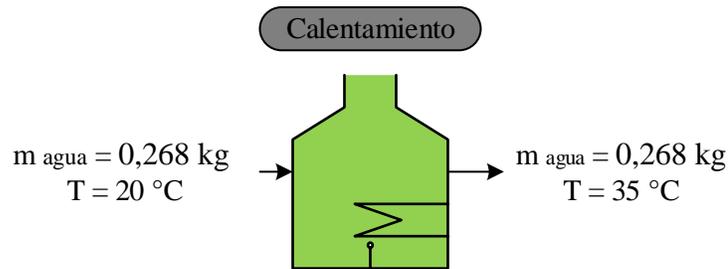
En la figura 4.36, se muestra el resumen de los resultados obtenidos del balance general de materia en el proceso de elaboración de pan tipo molde con harina de arroz. En base a 761,513 g de masa se obtuvo 585,823 g de pan tipo molde.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.36: Resumen del balance de materia

4.9 Balance de energía en el calentamiento del agua para la activación de la levadura

El balance de energía para el calentamiento del agua. En la figura 4.37, se prueba el diagrama para el balance de energía en el calentamiento de agua.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.37: *Calentamiento del agua*

Para calentar el agua para la activación de la levadura, se tomó en cuenta el calor necesario para calentar la olla y el calor necesario para calentar el agua a temperatura de 35 °C :

Para calcular el calor necesario para calentar el agua hasta 35 °C , se utilizó la ecuación 4.22:

$$Q_{\text{agua}} = m_{\text{agua}} * C_{p \text{ agua}} * \Delta T + m_{\text{agua}} * \lambda \quad \text{Ecuación 4.22}$$

Donde:

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

m_{agua} = masa del agua (0,268 kg)

λ = landa de vaporización del agua (538,86 kcal/kg) (Perry, 1991)

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

ΔT = ($T_f - T_i$) variación de la temperatura en el calentamiento del agua ($35 - 20$) °C

Remplazando datos en la ecuación 4.22:

$$Q_{\text{agua}} = 0,268 \text{ kg} * 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } \text{°C}} * (35 - 20) \text{ °C} + 0,268 * 538,86 \text{ kcal/kg}$$

$$Q_{\text{agua}} = 148,43 \text{ kcal}$$

Para calcular el calor necesario para calentar la olla hasta 35°C, se utilizó la ecuación 4.23, según (Lewis, 1993):

$$Q_{\text{olla}} = m_{\text{olla}} * C_{p \text{ olla}} * \Delta T \quad \text{Ecuación 4.23}$$

Donde:

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

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

$C_{p \text{ olla}}$ = capacidad calórica de la olla (0,22 kcal/kg °C)

$\Delta T = (T_f - T_i)$ variación de temperatura en el calentamiento (35 - 20) °C

Remplazando datos en la ecuación 4.23:

$$Q_{\text{olla}} = 0,56 \text{ kg} * 0,22 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} * (35 - 20) ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{olla}} = 1,84 \text{ kcal}$$

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

$$Q_T = \Sigma Q_i \quad \text{Ecuación 4.24}$$

Donde:

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

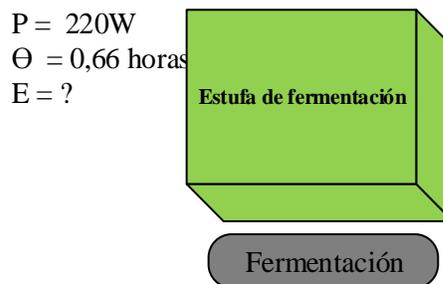
ΣQ_i = suma de calores involucrados en el proceso

Remplazando datos en la ecuación 4.23:

$$Q_{T.C} = 1,84 \text{ kcal} + 148,43 \text{ kcal} \quad \longrightarrow \quad Q_{T.C} = 166,9 \text{ kcal}$$

4.9.1 Balance de energía para la etapa de fermentación de la masa de pan tipo molde con harina de arroz y trigo

Para la etapa de fermentación de la masa del pan tipo molde con harina de arroz y trigo se utilizó una estufa con potencia de 220 W durante 0,66 horas. En la figura 4.38, se muestra el diagrama para determinar la energía eléctrica requerida para la incubadora en la etapa de fermentación.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.38: Fermentación

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

$$E = P * \Theta \quad \text{Ecuación 4.25}$$

Donde:

E = Energía eléctrica (W/h)

P = Potencia (W)

Θ = Tiempo (horas)

Así mismo: $1 \text{ kcal/h} = 1,163 \text{ W} \longrightarrow$ Por tanto: $220 \text{ W} \rightarrow 255,86 \text{ kcal/h}$

Remplazando datos en la ecuación 4.25 para hallar la energía eléctrica requerida.

$$E = 255,86 \text{ kcal/h} * 0,66 \text{ h}$$

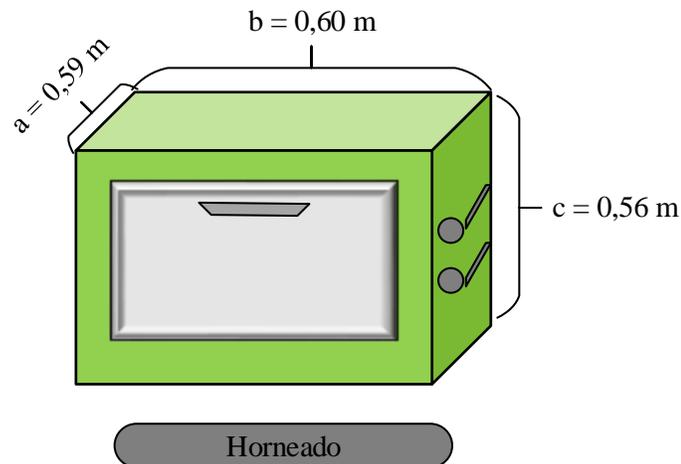
$$E = 459,67 \text{ kcal}$$

La cantidad de energía eléctrica requerida en la incubadora para llevar a cabo la fermentación durante 0,66 horas es de 459,67 kcal para 0,753898 kg de masa para pan molde.

4.9.2 Balance de energía para el horneado del pan tipo molde con harina de arroz y trigo

El balance de energía para el horneado del pan tipo molde con harina de arroz y trigo se realizó para 753,898 g de masa obtenida en el proceso.

Para realizar el balance de energía en el horneado del pan tipo molde con harina de arroz y trigo, 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 tipo molde con harina de arroz y trigo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.39: *Horneado*

Donde:

- a = Ancho del horno

- b = Base del horno
- c = Altura del horno

4.9.3 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 4.26 y posteriormente la masa del aire en base a la ecuación de la densidad (ecuación 4.27):

$$V = a * b * c \quad \text{Ecuación 4.26}$$

Donde:

V = volumen de aire (m³)

a = Ancho del horno (m)

b = Base del horno (m)

c = Altura del horno (m)

Remplazando datos en la ecuación 4.26 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 ecuación 4.27:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Ecuación 4.27}$$

Donde:

ρ = Densidad del aire (1,2 kg/m³) (Lewis, 1993):

m = Masa del aire (kg)

V = Volumen del aire (m^3)

Despejando m_{aire} y reemplazando datos en la ecuación 4.27:

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

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

Para determinar el calor del aire se utilizará a la ecuación 28 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 180°C :

$$Q_{\text{aire}} = m_{\text{aire}} * C_{p \text{ aire}} * \Delta T \quad \text{Ecuación 4.28}$$

Donde:

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

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

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

$\Delta T = (T_f - T_i)$ variación de la temperatura en el horno (180 - 20) $^\circ\text{C}$

Reemplazando datos en la ecuación 4.28:

$$Q_{\text{aire}} = 0,24 \text{ kg} * 0,24 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} * (180 - 20) ^\circ\text{C} \longrightarrow Q_{\text{aire}} = 9,22 \text{ kcal}$$

4.9.4 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 4.29:

$$Q_{\text{molde}} = m_{\text{molde}} * C_{p \text{ molde}} * \Delta T \quad \text{Ecuación 4.29}$$

Donde:

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

$m_{\text{molde}} = \text{Masa del molde para pan (0,168 kg)}$

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

$\Delta T = (T_f - T_i) \text{ variación de temperatura (180 - 20) } ^\circ\text{C}$

Remplazando datos en la ecuación 4.29:

$$Q_{\text{molde}} = 0,168 \text{ kg} * 0,12 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} * (180 - 20) ^\circ\text{C} \quad Q_{\text{molde}} = 3,22 \text{ kcal}$$

4.9.5 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 ecuación 4.30:

$$C_{p\text{pan}} = X_W C_W + X_C C_C + X_P C_P + X_F C_F + X_A C_A \longrightarrow \text{Ecuación 4.30}$$

Donde:

$X_W, X_C, X_P, X_F, X_A = \text{fracciones de masa de los componentes del alimento}$

$C_W, C_C, C_P, C_F, C_A = \text{calores específicos de los componentes del alimento}$

Las capacidades caloríficas en función a la composición fisicoquímica de los alimentos, se detallan en la tabla 4.22.

Tabla 4.22

Capacidades caloríficas en función a la composición de los alimentos

Calor específico	Valor 1 KJ/Kg $^\circ\text{C}$	Valor 2 KJ/Kg $^\circ\text{C}$
C_W (agua)	4,18	4,18
C_C (carbohidratos)	1,40	1,22
C_P (proteína)	1,60	1,90
C_F (grasa)	1,70	1,90
C_A (ceniza)	0,80	-

Fuente: Lewis, 1993

En la tabla 4.23, se observa los resultados de la composición fisicoquímica del pan tipo molde con harina de arroz de datos extraídos de Anexo A.

Tabla 4.23**Resultados de la composición fisicoquímica del pan tipo molde**

Composición	Unidad	Valor
Cenizas	%	2,92
Materia grasa	%	3,97
Hidratos de carbono	%	49,34
Humedad	%	34,14
Proteína total	%	7,71

Fuente: CEANID, 2021

Remplazando datos en la ecuación 4.31 se determina el Cp del pan molde:

$$C_{p\text{pan}} = X_w C_w + X_c C_c + X_p C_p + X_f C_f + X_a C_a$$

$$C_{p\text{pan}} = 0,3414 * 0,9983512 + 0,4934 * 0,334376 + 0,0771 * 0,382144 + 0,039 * 0,406028 + 0,0292 * 0,191072$$

$$C_{p\text{pan}} = 0,56 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

Se determina el calor necesario para la cocción de la masa del pan molde en base a la ecuación 4.31:

$$Q_{\text{pan}} = m_{\text{pan}} * C_{p\text{pan}} * \Delta T + m_{\text{agua evap}} * \lambda \quad \text{Ecuación 4.31}$$

Donde:

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

m_{pan} = Masa del pan molde (0,98802kg)

λ = Landa de evaporización del agua (538,86 kcal/kg)

$C_{p\text{pan}}$ = Calor específico del pan (0,56 kcal/kg $^\circ\text{C}$)

$m_{\text{agua evap}}$ = masa del agua evaporada (0,10425 kg)

ΔT = (Tf - Ti) variación de temperatura (180 - 20) $^\circ\text{C}$

Remplazando datos en la ecuación 4.31:

$$Q_{\text{pan}} = 0,98802 \text{ kg} * 0,56 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} * (180 - 20) ^\circ\text{C} + 0,10425 \text{ kg} * 538,86 \text{ kcal/kg}$$

$$Q_{\text{pan}} = 143,66 \text{ kcal}$$

4.9.6 Balance de energía para evaporar el agua de la masa del pan tipo molde con harina de arroz y trigo

Para determinar el calor necesario para evaporar el agua de la masa del pan, se utilizó la ecuación 4.32:

$$Q_{\text{agua evap.}} = m_{\text{pan}} * X_{\text{pan}} * \lambda \quad \text{Ecuación 4.32}$$

Donde:

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

m_{pan} = masa del pan (0,98802 kg)

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

λ = Landa de evaporización del agua (538,86 kcal/kg)

Remplazando datos en la ecuación 4.32:

$$Q_{\text{agua evap.}} = 0,98802 \text{ kg} * 0,41 * 538,86 \text{ kcal/kg} \longrightarrow Q_{\text{agua evap.}} = 215,70 \text{ kcal}$$

4.9.7 Balance de energía para determinar la cantidad de calor total necesario en la elaboración del pan tipo molde con harina de arroz y trigo

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 4.33 (Valiente, 1986):

$$Q_T = \Sigma Q_i \quad \text{Ecuación 4.33}$$

Donde:

Q_T = Calor total necesario para llevar a cabo un proceso

ΣQ_i = suma de calores involucrados en el proceso

Remplazando datos en la ecuación 4.34:

$$Q_T = Q_{T.C} + Q_{\text{aire}} + Q_{\text{molde}} + Q_{\text{pan}} + Q_{\text{agua evap.}} + Q_E \quad \text{Ecuación 4.34}$$

Donde:

$$Q_T = 166,9 \text{ kcal} + 9,22 \text{ kcal} + 3,22 \text{ kcal} + 143,66 \text{ kcal} + 215,70 \text{ kcal} + 459,67 \text{ kcal}$$

$$Q_T = 998,37 \text{ kcal}$$

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- ✚ En base al análisis fisicoquímico en la harina de trigo prueba que la harina de trigo contiene: ceniza 0,34 %, fibra n.d, grasa 2,79 %, hidratos de carbono 77,63 %, humedad 9,11 %, proteína total 10,13 %, y valor energético 376,15 Kcal/100 g.
- ✚ En base al análisis fisicoquímico en la harina de arroz contiene: ceniza 0,62%, fibra n.d, grasa 1,85 %, hidratos de carbono 80,89%, humedad 9,43 %, proteína total 7,21 %, y valor energético 369,05 Kcal/100g.
- ✚ En base al análisis microbiológico en la harina de trigo contiene: Escherichiacoli $<1,0 \times 10^1$ UFC/g (* No se observa el desarrollo de colonias) y Mohos y levaduras $<1,0 \times 10^1$ UFC/g (*N os e observa el desarrollo de colonias).
- ✚ En base al análisis microbiológico en la harina de arroz contiene: Escherichiacoli $<1,0 \times 10^1$ UFC/g (* N o se observa el desarrollo de colonias) y mohos y levaduras $9,0 \times 10^2$ UFC/g
- ✚ Realizado la evaluación sensorial para las pruebas preliminares de pan tipo molde con harina de arroz y trigo y de acuerdo el análisis estadístico de varianza no existe diferencia significativa entre los atributos (color y sabor) de las pruebas evaluadas para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. Sin embargo, si existe diferencia significativa entre los atributos olor y textura de las pruebas evaluadas. En base a la preferencia de los jueces y en función de las medianas se tomó en cuenta la prueba P1.
- ✚ Aplicado el diseño experimental en la etapa de fermentación para la elaboración de pan tipo molde con harina de arroz y trigo, se puede establecer que las variables; porcentaje de levadura (A), temperatura de fermentación (B) y porcentaje de harina de arroz (C), no existe evidencia estadística significativa debido que $F_{cal} > F_{tab}$, por tanto, se acepta la hipótesis planteada, ya que no influyen en las variables respuestas porcentaje de humedad y acidez (ácido láctico).

- ✚ Realizado la evaluación sensorial de las pruebas experimentales de nivel bajo y alto (porcentaje de harina de arroz) se pudo evidenciar que existe diferencia significativa entre los atributos evaluados. Así mismo, en función de las medianas y tomando en cuenta la preferencia de los jueces se tomó en cuenta la muestra PM1 como la muestra final para el diseño experimental 2^2 en la etapa de horneado.
- ✚ Aplicado el diseño experimental 2^2 en la etapa de horneado se pudo concluir que los factores: Temperatura de horneado (A), Tiempo de horneado (B) e interacción de los factores tiempo-temperatura (AB) no estadísticamente significativo para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$ ya que $F_{cal} > F_{tab}$, por tanto, se acepta la hipótesis planteada; ya que no influyen en la variable respuesta porcentaje de humedad.
- ✚ Realizado el control de pH, porcentaje 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 23,31 % y disminuye levemente hasta 22,26%, así mismo el pH del pan molde inicia con un valor de 7,42 y disminuye a 7,23, mientras que, la acidez (ácido láctico) presente en el pan tipo con harina de arroz y trigo molde desciende significativamente entre un valor de (0,26 % - 0,13 %).
- ✚ Realizado el análisis fisicoquímico del pan tipo molde con harina de arroz y trigo se indica que presenta: ceniza 2,92 %, fibra 1,92 %, grasa 3,97 %, hidratos de carbono 49,34 %, humedad 34,14 %, proteína total 7,71 %, y valor energético 263,93 Kcal/100 g.
- ✚ Realizado el análisis microbiológico del pan tipo molde con harina de arroz y trigo indica que presenta: Coliformes totales $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g (* No se observa el desarrollo de colonias), Escherichia coli $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g (* No se observa el desarrollo de colonia) y mohos y levaduras $9,7 \times 10^2$ (*) UFC/g
- ✚ Realizado el balance de materia y energía se evidenció que a partir de 753,898 g de masa se obtiene 585,823 g de pan tipo molde con harina de arroz y trigo que es aproximadamente una unidad de pan. Así mismo, la cantidad total de calor y energía

eléctrica necesario para llevar a cabo la elaboración de pan tipo molde con harina de arroz y trigo es 998,37 kilocalorías.

5.2 Recomendaciones

- ✚ Se recomienda elaborar panes tipo molde incorporando diferentes harinas como ser: harina de centeno, harina de cebada, harina de maíz, entre otros; con la finalidad de enriquecer nutricionalmente el pan tipo molde que se brinda a la población tarijeña.
- ✚ Se recomienda realizar un estudio de la incorporación de conservantes al pan tipo molde con harina de arroz, con la finalidad de observar su influencia en la durabilidad del pan tipo molde brindando productos panificados de larga duración.
- ✚ Se recomienda la implementación de una planta piloto para la elaboración del pan tipo molde con harina de arroz y trigo y pueda incorporarse en el municipio de cercado del Departamento de Tarija para aprovechar la materia prima del arroz para beneficio de los productores de arroz de la zona de interés.
- ✚ Se recomienda la inversión de un horno rotatorio para el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos L.A.C.I.A con el fin de obtener un horneado homogéneo y para que los estudiantes puedan experimentar el manejo del mismo.

