

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El pan al ser un alimento de consumo masivo, debe brindar al consumidor un producto de calidad y con mayor valor nutricional, por lo que es importante crear nuevas variedades de harinas para enriquecerlo y darle un valor agregado que marque diferencia. La sustitución parcial de harina de trigo con harinas de cultivos andinos, especialmente quinua, permitirá mejorar el valor nutritivo del pan y de otros productos elaborados a partir de este pseudocereal y de esta manera reducir costos por importaciones de trigo (FAO, 2012). Uno de los principales alimentos de la canasta familiar en Bolivia, es el pan ya que forma base de la alimentación de todas las familias bolivianas por su bajo precio, fácil elaboración y sobre todo por sus características nutricionales que aportan a la dieta cotidiana (Castañeda, 2016).

En Bolivia no se le da la debida importancia al “pan”. Alimento humilde y casi olvidado entre las aromáticas páginas de los recetarios, afortunadamente en otros países y en algunos sectores reducidos, el pan ha vuelto a ser protagonista. Así, los consumidores se han vuelto exigentes y quieren un pan sabroso con aportes nutricionales beneficiosos para la salud. Su denominación varía según las regiones: pan corriente, de batalla, marraqueta, kauka, de queso, mestizo, chama, sarnitas, pan de villa, pan de mesa, colisas, chamillo, khaspa, integral, pan dulce, torta, cuernitos, etc. (Ortubé, 2015).

La quinua puede ser usada en comidas de muchas formas: puede ser hervida o cocida, tostada, preparada de forma similar a las palomitas de maíz; además, sus semillas pueden ser maceradas y convertidas en harina para ser usada en una variedad de productos. En la actualidad el desarrollo de nuevos productos alimenticios ha utilizado como base la sustitución de sémola de trigo por pseudocereales que ayuden a incrementar su valor nutricional, o mejorar su digestibilidad, buscando atender a sectores de la población con intolerancias alimentarias (intolerancia al gluten). La harina de quinua son una materia prima potencial que ofrece beneficios tecnológicos y nutricionales, los cuales dependen de la cantidad, composición, conformación, propiedades físicas y funcionales de las proteínas que contiene (SCIELO, 2015).

Se debe promover su uso, pues, además de su alto valor nutricional, cuenta con un excelente potencial de producción. Está en constante evolución en lo que se refiere a los alimentos, y concretamente en el caso del pan, más tarde se empieza a reforzar el pan con otros nutrientes, como la leche en polvo, con vitaminas o minerales u otros alimentos que actúan como saborizantes (Díaz, 2011).

En Tarija hay aproximadamente cien panaderías que satisfacen el gusto de los tarijeños con panes variados como el francés, cortaditos, cuernitos, dobladitos, entre otros aún más especiales como el pan negro, pan de miga, pan de avena. Entre los panes más famosos de este tipo están: San Lorenzeño, de La Victoria y de Lajas (Montaño, 2019).

1.2 Justificación

- ❖ Actualmente se observa que los consumidores se inclinan por mejorar su dieta alimenticia con alimentos naturales ricos en componentes nutricionales. En esta razón se ve conveniente ofertar un producto enriquecido con harina de quinua para coadyuvar el aporte nutricional para niños, adolescentes, personas mayores de la provincia de Cercado.
- ❖ El pan es un alimento que evoluciona en función a las necesidades de la sociedad, para tal efecto se debe tomar en cuenta el tipo de harina que se utiliza, para mejorar la composición nutricional del pan común complementando parcialmente a la harina de trigo con la adición de harina de quinua y leche en polvo, con el fin de ofrecer un pan especial a la población para su mejor aprovechamiento.
- ❖ La harina de trigo es el ingrediente mayoritario en la elaboración del pan en general, entre sus mayores componentes están el almidón y proteína, dando como resultado un producto con un gran aporte energético que, al ser enriquecida con harina de quinua pueda generar cambios importantes para aportar propiedades benéficas para la salud de los niños en desarrollo y personas mayores de la provincia de Cercado.

- ❖ Así mismo el presente trabajo de investigación pretende elaborar pan especial de leche enriquecido con harina de quinua con la finalidad de mejorar aún más el valor nutricional, incentivando al consumo de esta harina sin gluten, con alto contenido de aminoácidos esenciales y también fuente de fósforo, magnesio, entre otros, para el mercado local de la provincia de Cercado.

1.3 Objetivos

Los objetivos planteados en el trabajo de investigación son:

1.3.1 Objetivo general

Elaborar pan especial de leche enriquecido con harina de quinua, mediante el proceso de panificación, con la finalidad de obtener un producto de calidad nutricional para la provincia de Cercado.

1.3.2 Objetivos específicos

- ❖ Determinar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de las harinas de trigo, quinua, con la finalidad de establecer su composición.
- ❖ Realizar la evaluación sensorial a las pruebas preliminares de pan común para determinar la muestra con mayor aceptación, a seguir desarrollando.
- ❖ Determinar el porcentaje del sustituyente parcial más adecuado de la mezcla de harina de trigo, quinua y leche en polvo de modo que sea apta para el proceso de panificación y garantizar un producto de buena calidad.
- ❖ Realizar evaluación sensorial para determinar la muestra ideal de la formulación de mezclas de harina de trigo, quinua y leche en polvo.
- ❖ Aplicar diseño experimental en la dosificación para establecer las variables de control.
- ❖ Determinar el balance de materia de elaboración con la finalidad de establecer las cantidades de flujo másico a nivel experimental.
- ❖ Realizar evaluación sensorial del producto a elaborar con el propósito de analizar sus atributos organolépticos.

1.4 Objeto de estudio

Aplicación del proceso de panificación para la elaboración de pan especial de leche enriquecido con harina de quinua.

1.5 Campo de acción

El campo de acción utilizado para el trabajo de investigación serán los siguientes aspectos:

❖ **Espacial**

El campo espacial donde se realizó el presente trabajo de investigación, es en la provincia de Cercado del departamento de Tarija.

❖ **Temporal**

El campo temporal que fue desarrollado el presente trabajo de elaboración de pan especial de leche enriquecido con harina de quinua fue en la gestión 2022 – 2023.

❖ **Institucional**

La realización del presente trabajo de investigación fue en el Laboratorio De Taller De Alimentos (L.T.A.) y el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (L.A.C.I.A.); perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Juan Misael Saracho.

1.6 Planteamiento del problema

El pan es considerado un alimento muy habitual de consumo masivo y que la mayoría no cumple con la composición nutricional para mejorar la dieta de las personas, el tipo de harina que se utiliza se constituye un problema para la salud y obesidad en las personas. La utilización de harinas compuestas es importante para la elaboración de productos que ayudan a mejorar el aporte nutricional de la dieta alimentaria de las personas. Ante esta situación, el presente trabajo de investigación pretende elaborar pan especial de leche enriquecido con harina de quinua y de alguna manera contribuir

a mejorar el consumo de este producto que puede brindar una mayor cantidad de nutrientes en aminoácidos y micronutrientes en hierro, fósforo y magnesio.

Por lo tanto, la aplicación de la tecnología del proceso de panificación permite realizar mezclas de harina para obtener un pan especial de leche enriquecido con harina de quinua para las personas de la provincia de Cercado.

1.7 Formulación del problema

¿Se podrá elaborar pan especial de leche enriquecido con harina de quinua, mediante el proceso de panificación con la finalidad de obtener un producto de calidad para la provincia de Cercado?

1.8 Hipótesis

Aplicando el proceso de panificación, permitirá elaborar pan especial de leche enriquecido con harina de quinua, para obtener un producto de calidad nutricional para la población de la provincia de Cercado.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 Origen del pan de leche

Los verdaderos panes aparecieron muchos años atrás a.C. En el antiguo Egipto, el pan tenía tres funciones esenciales: comercial, gracias al desarrollo de las técnicas de panificación: social, porque se utilizaba para pagar los salarios; y espiritual, al servir de ofrenda a los dioses (Hernández y Majen, 2010). Según Farinango & Mora (2014), se considera un tipo de pan especial, y por ello suele llevar mayor variedad de ingredientes, denominado así porque lleva leche en cierta proporción. García (2018), indica que el pan de leche también es llamado pan brioche y se cree que el brioche proviene de una receta tradicional normanda al oeste de Francia.

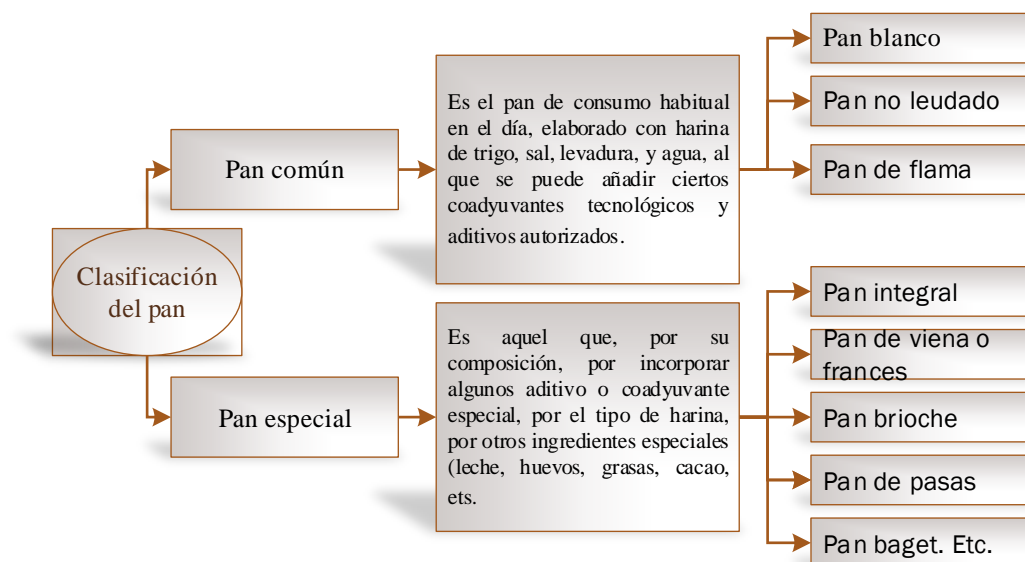
2.2 Definición del pan de manera general

Según Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (2012), el pan es un producto de consistencia esponjosa resultado de la cocción de una masa obtenida en condiciones higiénicas y técnicas adecuadas, por la mezcla de ingredientes inocuos como: harina de cereales, harinas integrales, leguminosas u otras harinas, sal, agua potable y otros, fermentada o no por la adición de levaduras activas adicionando o no aditivos alimentarios y otros ingredientes debidamente autorizados.

Según Organización de las Naciones Unidas (2006), para que un pan sea considerado de buena calidad debe alcanzar el volumen suficiente, el cual genera un aspecto atractivo, tanto en forma, como en color y una miga finamente porosa lo suficientemente suave para permitir una fácil masticación, pero al mismo tiempo, suficientemente firme para que se le pueda cortar en rebanadas.

2.3 Clasificación del pan en general

En la figura 2.1, se describe la clasificación del pan de manera general.



Fuente: Mesas & Alegre, 2002

Figura 2.1 Clasificación del pan en general

En base a la definición de Mesas & alegre (2002), explicado en la figura 2.1, conduce a un tipo de pan especial por los componentes utilizados en su elaboración.

2.4 Composición fisicoquímica del pan común

En la tabla 2.1, se observa la composición nutricional del pan común por 100g.

Tabla 2.1

Composición fisicoquímica del pan común

Composición	Unidades	Valor
Energía	Kcal	261,00
Carbohidratos	g	51,50
Almidón	g	41,80
Proteínas	g	8,50
Fibra	g	3,50
Grasas	g	2,60
Hierro	mg	1,60
Vitamina B2	mg	0,06
Colesterol	mg	0,00

Fuente: Hernández & Majen, 2010

2.4.1 Características físicas del pan en general

La superficie: Un excelente pan debe tener tres características importantes para tener una buena corteza: color, apariencia de la superficie y crocancia. Se consideran en el pan son: dimensiones, volumen, apariencia, color y la forma de la corteza son valoradas con técnicas descriptivas (Barajas et. al, 2007).

Las características internas del pan están limitadas normalmente al tamaño, número y distribución de los alveolos en la miga. La miga variará de acuerdo a la variedad de pan, cada alveolo está rodeado por una red de hebras conectadas entre sí, señal de que la masa ha sido mezclada y fermentada de forma correcta (Lascano, 2010).

2.4.2 Propiedades nutricionales del pan en general

La diferencia fundamental entre el pan blanco y el integral está, en cuanto a los aspectos nutricionales se refiere, en que éste ofrece más fibra, vitaminas, minerales, ácidos grasos, antioxidantes y unas proteínas más completas, en tanto que el blanco tiene más hidratos de carbono y unas proteínas de inferior valor biológico. Pero tampoco conviene considerar este aspecto como fundamental, porque no sólo nos alimentamos de pan y el resto de los alimentos, en general, cubren las posibles deficiencias que pueden encontrarse en unos u otros panes (Diaz, 2011). En la tabla 2.2, se observa la comparación de composición nutricional del pan común y pan integral, contenido de energía y nutrientes por cada 100 g de pan.

Tabla 2.2

Composición nutricional pan común y pan integral

Composición	Unidad	Pan común	Pan integral
		valor	Valor
Proteínas	g	8,50	7,00
Carbohidratos	g	51,50	38,00
Fibra	g	3,50	7,50
Lípidos	g	2,61	5,05
Vitamina B1	mg	0,09	0,36
VitaminaB2	mg	0,06	0,09
Energía	Kcal/100g	261,00	221,00

Fuente: Hernández & Majen, 2010

2.5 Aplicación del pan común para el consumo del ser humano

El pan ayuda a equilibrar la alimentación, independientemente del cereal con el que se han elaborado, son ricos en hidratos de carbono y fundamentalmente energéticos, su contenido en proteínas es bastante uniforme, difieren más en el contenido graso y son muy diferentes en su composición en minerales. La diferencia fundamental entre el pan común y el integral está, en cuanto a los aspectos nutricionales se refiere, cada pan tiene sus singularidades (Díaz, 2011).

2.6 Caracterización de la harina de trigo y quinua utilizadas en la elaboración de pan especial de leche enriquecido con harina de quinua

La caracterización de las materias primas permitirá establecer los atributos de cada una de ellas para la elaboración de pan especial de leche enriquecido con harina de quinua.

2.6.1 Harina de trigo 000

La harina es un producto que se obtiene de la molienda y el cernido del trigo, después de separados la cascara, el afrecho y el germen. Es de color marfil, fina y muy suave al tacto (semilla reducida a polvo) (Callejo, 2002). Se prefiere la harina de trigo para la obtención de un pan esponjoso, ya que al ser mezclada con agua y bajo condiciones apropiadas de trabajo mecánico origina una masa elástica y cohesiva. Esto se debe a la existencia del gluten (Rodríguez, 2006).

Las proteínas en la harina de trigo, son los componentes más importantes, debido a que son las encargadas de formar la red gluten dando propiedades de viscosidad y elasticidad a la masa. El gluten es la porción proteica que otorga las características panificables debido a que tiene la capacidad de ligar los ingredientes a la harina durante el proceso de panificación, es capaz de encapsular el gas carbónico, propio de la fermentación, producido por la acción enzimática de las levaduras sobre los azúcares, dando lugar a la formación de la miga en los productos de panificación (Vega, 2009).

2.6.1.1 Composición fisicoquímica de la harina de trigo

En la tabla 2.3, se observa la composición fisicoquímica de la harina de trigo.

Tabla 2.3

Composición fisicoquímica de la harina de trigo

Composición	Unidades	Valor
Glúcidos	%	74 – 76
Prótidos	%	9 – 11
Lípidos	%	1 – 2
Agua	%	13 – 16
Minerales	%	1 - 2

Fuente: Giovanni, 1991

De acuerdo al contenido de proteína al trigo se puede clasificar en:

- **Harina fuerte (000):** estos poseen un elevado contenido de proteína de calidad, la cual es capaz producir panes de gran volumen y con miga de estructura adecuada (Barajas *et al.*, 2007)
- **Harina débil (0000):** estos se caracterizan por un bajo contenido en proteínas produciendo panes de poco volumen, siendo más útiles para la obtención de tortas y galletas (Ferrerías, 2009).

La harina de trigo es la más extendida para la elaboración de pan, pero existen numerosos subtipos dependiendo principalmente de su contenido en proteínas y de la capacidad de estas para formar gluten, pero también en función de si las masas resultantes son más o menos tenaces o extensibles. De una forma muy genérica podríamos decir que los panes más voluminosos requieren de harinas de fuerza (contenidos de proteína en torno al 13%) y alta calidad del gluten, capaces de soportar su estructura y retener el gas que se genera durante la fermentación. También se recurrirá a este tipo de harina cuando en la masa estén presentes otros ingredientes como grasa, azúcares, frutos secos (Interempresas, 2015).

2.6.2 Harina de quinua blanca

La quinua es un pseudocereal que pertenece a la familia de las Quenopodiáceas, mientras que todos los cereales son de la familia de las Gramíneas. Pero por su alto contenido de carbohidratos, principalmente de almidón entre (50- 60) % hace que se emplee como un cereal, sin embargo, el contenido de grasa y proteína es mayor que en

los cereales (Tapia, 2000). La harina de quinua blanca es un alimento que se obtiene al moler el grano de quinua blanca, es la más reconocida y la que más se comercializa, entre sus variedades o eco tipos de quinua están: la roja, la negra, la rosada, etc. No existe mucha diferencia entre ellas en cuanto a las propiedades nutritivas pero cada una tiene su sabor y textura característico (Pérez, 2021).

La proteína de quinua carece de gluten, lo que dificulta su uso en la panificación, sin embargo, la quinua contiene un 16% de proteína, en comparación a cereales de uso común, Una proteína es biológicamente completa, cuando contiene todos los aminoácidos esenciales, en una cantidad igual o superior a la establecida para cada aminoácido en una proteína de referencia (FAO, 1985). Las harinas de quinua son una materia prima potencial, debido a su buen contenido de proteína, almidón y otros componentes, también ofrece beneficios tecnológicos y nutricionales, los cuales dependen de la cantidad, composición, conformación, propiedades físicas y funcionales de las proteínas que contiene (Hernández, 2015).

2.6.2.1 Composición fisicoquímica de la harina de quinua blanca

En la tabla 2.4, se observa la composición fisicoquímica de la harina de quinua blanca.

Tabla 2.4.

Composición química de los granos de quinua

Composición	unidad	Valor
Proteína	%	16,30
Grasa	%	4,70
Carbohidratos	%	76,20
Fibra cruda	%	4,50
Cenizas	%	2,80
Valor energético	Kcal/100g	399,00

Fuente: Romo et al, 2006

La harina de quinua se puede utilizar para la elaboración de diversos productos de panificación, desde panes hasta panetones, para esto se realiza una sustitución parcial de harina de trigo por harina de quinua. No se puede elaborar un pan de sólo harina de quinua con las formulaciones tradicionales, según la FAO (2000) en base a las diferentes pruebas en la zona andina, han demostrado la factibilidad de adicionar

10, 15, 20 y máximo 40% de harina de quinua en la elaboración de pan y un 40% máximo en pastas, 60% en bizcochos y 70% en galletas. Esto quiere decir que en cualquier formulación de pan se puede sustituir harina de trigo parcialmente por harina de quinua, para no modificar su apariencia. Si se quiere hacer un pan con sólo harina de quinua se debe hacer una formulación y procesamiento especial (Cordero, 2012).

2.6.2.2 Valor nutritivo de la harina de quinua

La quinua constituye uno de los principales componentes de la dieta alimentaria de la familia de los Andes, es la fuente natural de proteína vegetal económica y de alto valor nutritivo por la combinación de una mayor proporción de aminoácidos esenciales. El valor calórico es mayor que otras cereales, tanto en grano y en harina, que lo caracteriza como un alimento apropiado para zonas y épocas frías (Arroyave & Esguerra, 2006). En la tabla 2.5, se proporcionan las cantidades de los aminoácidos según el patrón establecido por la FAO (2006).

Tabla 2.5

Contenido de aminoácidos esenciales en gramos de quinua

Aminoácido	Unidad	Valor
Arginina	g	6,76
Fenilalanina	g	4,05
Histidina	g	2,00
Isoleucina	g	7,05
Leucina	g	6,83
Lisina	g	7,36
Metionina	g	2,20
Treonina	g	4,51
Triptófano	g	1,30
Valina	g	3,38

Fuente: FAO, 2006

2.7 Caracterización de los insumos alimentarios en la elaboración de pan especial de leche enriquecido con harina de quinua

Los insumos utilizados tienen funciones específicas que ayudan al desarrollo de las características en la elaboración del pan especial de leche enriquecido con harina de quinua, se detallan a continuación:

2.7.1 Leche en polvo

Se considera a la leche como un ingrediente mejorador y enriquecedor del pan manteniendo la calidad del pan y le da una textura suave. La proteína y azúcar de la leche (lactosa) añade más color y dulzura a los productos horneados que el agua. La leche entera añade grasa, lo que a su vez crea un sabor más agradable (Conty, 2018).

2.7.1.1 Composición de la leche en polvo

En la tabla 2.6, se detalla la composición de la leche en polvo.

Tabla 2.6.

Composición porcentual de la leche en polvo

Composición	Unidad	Valor
Proteína	%	26,50
Grasa	%	26,70
Humedad	%	2,30
Minerales totales	%	6,00
Lactosa	%	38,00
Valor energético	Calorías/100g	498,20

Fuente: Dairy, 2017

Según Dairy (2017) la leche en polvo también contiene pequeñas cantidades de diversas enzimas. Del total de proteínas de la leche, alrededor del 80 % es caseína y el 20 % es proteína de suero lácteo.

La leche líquida puede reemplazar total o parcialmente el contenido de agua de la receta, existen mejoradores con sólidos lácteos que reemplazan el uso de la leche, motivo por lo cual muchas panaderías utilizan leche en polvo. Esto se escala en el proceso de producción, lo cual es muy difícil de hacer en un entorno de horneado ajetreado. Se puede agregar entre un 2% a 8% de leche en polvo por el peso total de harina utilizada para ver el beneficio de usar leche en la masa (Conty, 2018).

2.7.2 Levadura seca

Conocida también como granulada, es similar a la levadura fresca excepto que esta levadura pasa por un proceso de secado hasta tener un producto granulado antes de ser comercializada. Se caracteriza por tener una humedad del 6% al 8%. Comercialmente

se la vende en varias presentaciones y en paquetes herméticamente sellados. Lo principal es que es necesario prehidratarla a una temperatura de 36°C por un tiempo aproximado de 20 minutos antes de ser utilizada (Vera, 2012). Los microorganismos unicelulares que tienen por objeto alimentarse del almidón y de los azúcares existentes en la harina. Este proceso metabólico da lugar a la fermentación alcohólica cuyo resultado es etanol, dióxido de carbono (CO₂) en forma de gas. El gas liberado hace que la masa del pan se hinche, aumentando de volumen. El alcohol etílico se evapora durante el horneado del pan, debido a las temperaturas alcanzadas en su interior. Una especie en particular es la responsable de causar la fermentación del pan, se trata de la *Saccharomyces cerevisiae*, esta levadura es igualmente la causante de la fermentación del vino y de la cerveza. (Guillermo & Concepción, 2016).

2.7.3 Azúcar blanca

Según Guillermo & Concepción (2016), la más utilizada es la sacarosa que encontramos en la caña de azúcar. Hay varios tipos de refinamiento y de estos refinamientos salen diferentes azúcares como granulada, impalpable, molida, negra, rubia, etc. Ayuda en la preparación al momento de activar las levaduras y en el sabor del pan. Dependiendo de la dosis de grasa y azúcar la velocidad de fermentación puede aumentar o disminuir (Flecha, 2017).

2.7.4 Sal

Según Guillermo & Concepción, (2016), señalan que 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. Además, es importante porque hace la masa más tenaz, actúa como regulador de la fermentación, tiene además un ligero efecto fungicida, su presencia en el pan permite alargar su vida comestible. Favorece la coloración de la corteza durante la cocción y aumenta la capacidad de retención de agua en el pan, la proporción de la sal a agregar será como máximo 2% sobre materia seca (Calvel, 1983).

2.7.5 Materia grasa (Aceite vegetal)

El término grasa se utiliza en forma genérica, para definir: grasas, mantecas (vegetal y animal) y aceites, aunque las distintas clases de grasas comúnmente usadas pueden diferir bastante en cuanto a consistencia, punto de fusión (temperatura a la que se derrite) y otras propiedades físicas, todas están compuestas de carbono, hidrógeno y oxígeno (Vera, 2012). La grasa mejora la textura, el volumen, la uniformidad de la miga, aumenta el valor nutricional, ayuda a conservar la frescura y suavidad del pan al disminuir la pérdida de humedad (Sandoval & Aguirre, 2011).

Para esta aplicación, la función primaria de la manteca o aceite es la lubricación. Durante el proceso la manteca o aceite facilita la expansión de la masa y mejora el manejo y moldeado de ésta (M.A, 2012). La materia grasa que se utilizó en el presente trabajo de investigación es el aceite vegetal.

2.7.6 Agua

Es el segundo componente mayoritario de la masa y es el que hace posible el amasado de la harina activando los mecanismos de formación de la masa. El agua hidrata la harina facilitando la formación del gluten, con ello y con el trabajo mecánico del amasado se le confieren a la masa sus características plásticas: la cohesión, la elasticidad, la plasticidad y la tenacidad o nervio (Calvel, 1983). Permite la fermentación, lo que contribuye en la formación de la miga y genera el volumen del pan, además, interviene en las reacciones químicas que se desarrollan a lo largo de la panificación. La presencia de agua en la masa es necesaria para el desarrollo de las levaduras que han de llevar a cabo la fermentación del pan (Delcour & Hoseney, 2010).

2.8 Tipo de proceso tecnológico en la elaboración del pan

El pan se obtiene a partir del proceso de panificación: conjunto de procesos tecnológicos y bioquímicos que tienen lugar en la fermentación de la masa de pan. Se compone de los siguientes pasos: amasado, fermentación, cocción, maduración y Envejecimiento (UCM, 2016).

2.9 Descripción del método de proceso seleccionado para la elaboración de pan especial de leche enriquecido con harina de quinua

El proceso de panificación que será utilizado para la elaboración de pan especial de leche enriquecido con harina de quinua a nivel experimental.

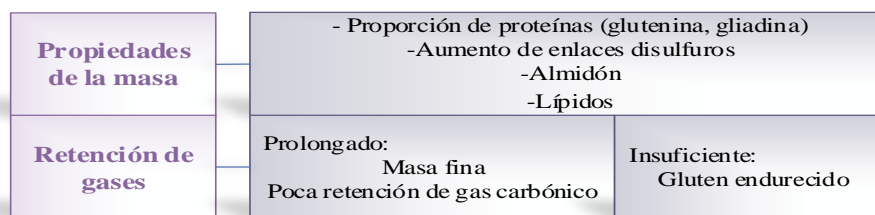
2.9.1 Pesado

Guillermo & Concepción (2016), asumen se realiza el pesado de la materia prima e insumo de acuerdo a la cantidad (orden de producción) y la formación de cada tipo de pan. Calaveras (1996), manifiesta que ya es una norma en todas las panaderías el realizar un pesaje de todas las materias primas para garantizar una regularidad en la masa.

2.9.2 Amasado

El amasado constituye la base de la elaboración de la masa. Su papel es en primer lugar el de mezclar los ingredientes que la componen y de asegurar seguidamente sobre esa mezcla un trabajo mecánico hasta que proporcione una masa coherente homogénea y lisa que se desprenda bien de las paredes de la amasadora (Flecha, 2017).

Mediante el amasado se consigue la distribución homogénea de los ingredientes, facilitando la absorción de agua y, con ello, la hidratación de las proteínas y la gelatinización del almidón. Además, facilita la retención de aire y se desarrollan las características plásticas del pan. La capacidad de la harina para formar la masa viene determinada por las proteínas, el almidón y los lípidos (UCM, 2016). En la figura 2.2, se observa la importancia del amasado y la facilitación de la misma en la elaboración del pan en general.



Fuente: UCM, 2016

Figura 2.2 Importancia del amasado

2.9.2.1 Formación de la masa durante el amasado

El agua los absorbe el almidón. Es por lo que se deduce desde el punto de vista cualitativo, que la proteína tiene mayor importancia que el almidón. Esta hidratación se efectúa de la forma siguiente: en cada una de las partículas de proteína se reparte el agua proporcionalmente hasta que está perfectamente hidratada. A causa de esta humedad se vuelve pegajosa en el exterior, de modo que dos partículas se pegan una a otra formando el gluten. Esta acción es provocada por la acción de vaivén de la amasadora (Flecha, 2017).

El gluten pues está compuesto por dos fracciones proteicas: las gluteninas y las gliadinas las primeras van a ser responsables de la tenacidad, mientras que las gliadinas lo son de la extensibilidad. La proteína forma una red de gluten en las que se encuentra el almidón ligeramente hinchado y el agua libre, que se hallan en solución el azúcar de la harina y la sal. La interacción de los enlaces da lugar a una red elástica y extensible, impermeable a los gases, lo que permite la retención del anhídrido carbónico y la hinchazón de la masa, con la alveolización precisa que esponjará al producto cocido. Además, la hidratación sufrida por gluten y almidón proporcionan la blandura necesaria del producto cocido (Flecha, 2017).

2.9.3 Fermentación de la masa después del amasado

Según UCM (2016), está mediada por dos tipos de microorganismos que son:

- *Saccharomyces cerevisiae*
- Bacterias ácidas

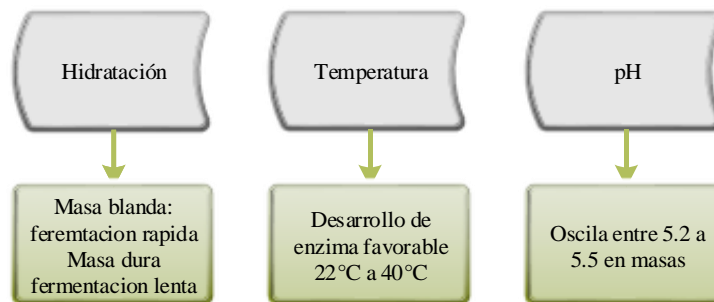
La fermentación permite el desarrollo de la fermentación alcohólica en el interior de la masa, y con ello la formación de aromas naturales que conjuntamente con los aportados durante la fermentación final, van a dotar al pan de un sabor, aroma y conservación excelentes (Flecha, 2017).

Después de un primer periodo de relajación tras el amasado, el gluten empieza a adquirir tenacidad, mostrándose más elástico y menos extensible. La masa adquiere volumen en función de la temperatura, cantidad de levadura y tiempo de fermentación,

se muestra más seca al tacto, lo que permite su manipulación. Durante la primera fermentación se genera la mayor parte del sabor del pan. La producción de ácidos orgánicos durante la fermentación es muy importante para el desarrollo del sabor del pan. No sólo contribuye al sabor, sino que también tiene el efecto de reforzar la estructura de la masa (Flecha, 2017).

2.9.3.1 Factores propios de la masa

Los factores propios de la masa que se controla en la etapa de fermentación se observan en la figura 2.3.



Fuente: Flecha, 2017

Figura 2.3 Factores de control en fermentación de la masa

2.9.4 División de la masa

La división tiene por objetivo fraccionar, la masa en pequeñas porciones o piezas. Un cortador de masa bien de plástico o de metal, una balanza y unas manos hábiles son todo lo necesario para cumplir esta labor dicha operación ha de ser lo más rápida para que la masa no se pegue a los platos de la balanza y al mismo tiempo evitar que la masa fermente demasiado (Flecha, 2017).

2.9.5 Cocción de la masa

Es la fase que cierra el ciclo del proceso de elaboración del pan y se considera una de las etapas claves, ya que de una buena cocción obtendremos un pan con un conjunto de cualidades organolépticas que definirán su calidad final. Una cocción mal regulada o llevada a cabo en condiciones desfavorables de temperatura, tiempo y humedad puede echar a perder todo el trabajo que meticulosamente antes se había realizado. La cocción

transforma la masa fermentada en pan y es a partir de ahí cuando este alimento se convierte en digerible por el cuerpo humano. La cocción del pan resulta del intercambio calorífico entre el calor del horno y la masa (Flecha, 2017). En el transcurso de esta etapa la masa sufre numerosas transformaciones que cabe reagrupar en tres importantes etapas, lo cual se detalla en la figura 2.4.



Fuente: Flecha, 2017

Figura 2.4 Las tres etapas importantes de cocción en la masa

2.9.6 Conservación del pan en general

Se considera conservación del pan al periodo en el que este mantiene las características que lo hacen apetecible para el consumidor, es decir, corteza, miga flexible y una serie de propiedades organolépticas que en un conjunto dotan al pan de una textura, sabor y aromas propios de un producto fresco. Durante la conservación del pan tiene tendencia a igualar su humedad con la del medio en que se encuentra. Esto favorece su ablandamiento en zonas geográficas húmedas y su secado y pérdida de humedad en zonas y ambientes secos (Flecha, 2017).

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.1 Desarrollo de la parte experimental

El presente trabajo de investigación y parte experimental de “elaboración de pan especial de leche enriquecido con harina de quinua” se realiza en el Laboratorio de Taller de Alimentos (LTA) y Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA), perteneciente a la Carrera de Ingeniería de Alimentos de la Facultad de Ciencias y Tecnologías de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

3.2 Tipo de intervención experimental

Según Gómez & Taracena (2014), la intervención-investigación significa una posición de implicación; en general. En el presente trabajo de investigación se utiliza la metodología a nivel experimental para los siguientes análisis:

- Análisis fisicoquímico, minerales y microbiológico de la harina de trigo y de quinua.
- Análisis sensorial para caracterizar las propiedades organolépticas.
- Análisis de fisicoquímico del pan especial en el proceso.
- Análisis del diseño factorial 2^3 para la etapa de dosificación del pan especial de leche enriquecido con harina de quinua.
- Operacionalización de las variables para la elaboración de pan especial.

3.2.1 Experimento

El término experimento puede tener al menos dos acepciones, una general y otra particular. La general se refiere a “tomar una acción” y después observar las consecuencias. La acepción particular que va más de acuerdo con un sentido científico del término, “un estudio de investigación en el que se manipulan una o más variables independientes (Babbie, 1979).

3.3. Tipo de investigación

Rodríguez (2005). “Una de las cualidades esenciales del ser humano es su tendencia a comprender y explicar el mundo que le rodea y buscar el sentido de las cosas” (Pág,19). El presente trabajo de investigación se centrará en la investigación experimental.

3.3.1 Investigación experimental

El método empleado en la investigación experimental posee una unidad conceptual y operativa, no tiene por objeto el plantear grandes teorías globales, por lo general, se apoya en conocimientos validados experimentalmente y que en su momento se daban como verdaderos, pero que a la luz de nuevos descubrimientos dentro de su área o próximos a ella, llevan a plantear nuevas hipótesis que deben ser, a su vez validadas experimentalmente (Cegarra, 2004). Se presenta mediante la manipulación de una variable experimental no comprobada, en condiciones muy controlada. El experimento es una situación provocada por el investigador para introducir determinadas variables de estudio manipuladas por él, para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas (Rodríguez, 2005).

3.4 Paradigma

Conjunto de premisas teóricas y metodológicas que determinan la investigación científica concreta, el cual se plasma en la práctica científica en una etapa dada. Constituye el fundamento de la elección de los problemas y un modelo para cumplir las tareas de investigación (Rosenthal, 1981). Constituye no un simple modelo, a modo de "copia", "patrón" o "muestra" de algo que es real, sino, mucho más que eso: un paradigma es un modelo ejemplar, es decir, perfecto de tal modo que se ha de considerar digno de ser seguido e imitado (Ferrater, 1994).

3.4.1 Paradigma positivista

El paradigma positivista se califica de cuantitativo, empírico – analítico, racionalista, sistemático gerencial y científico tecnológico. Por tanto, el paradigma positivista sustentará a la investigación que tenga como objetivo comprobar una hipótesis por medios estadísticos (Ricoy, 2006). Así mismo Segundo (2022) dice que es un modelo de investigación científica que se basa en la formulación de hipótesis juzga como válido los hechos que pueden ser captados por los sentidos y sometidos a verificaciones cuantitativas.

3.5 Enfoque cuantitativo

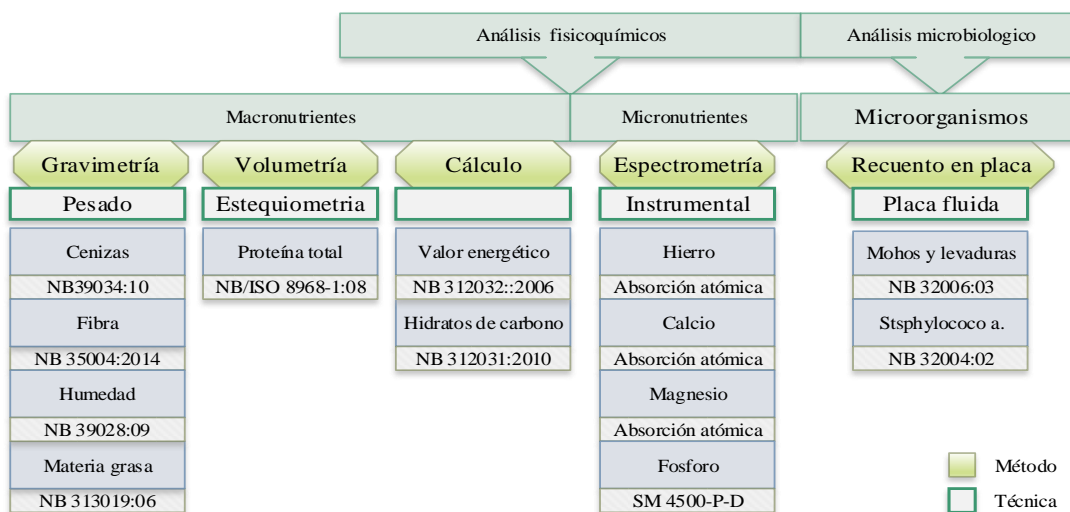
El enfoque cuantitativo que es un conjunto de procesos, es secuencial y probatorio. El orden es riguroso, aunque desde luego, podemos redefinir alguna fase. Parte de una idea que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se traza un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos (Hernández et al, 2003).

3.6 Métodos técnicas e instrumentos

El método científico es un procedimiento que se aplica al ciclo entero de la investigación, independientemente del tema de estudio. Este método impone un orden tanto a las actividades que realiza el investigador como a los conocimientos que se obtienen, además de orientar la investigación, paso a paso, hacia un fin en un proceso (Gutiérrez, 1998). Las técnicas son las estrategias empleadas para recabar la información y así construir el conocimiento de lo que se investiga, además propone normas para ordenar las etapas del proceso de investigación, de igual modo, proporciona instrumentos de recolección, medición, análisis de datos, y aporta a la ciencia los medios para aplicar el método. (Martínez, 2013).

3.6.1 Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la harina de trigo y quinua

En la figura 3.1, se detallan los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de las harinas de trigo Graciela y quinua blanca que se realizaron en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID); perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Juan Misael Saracho.

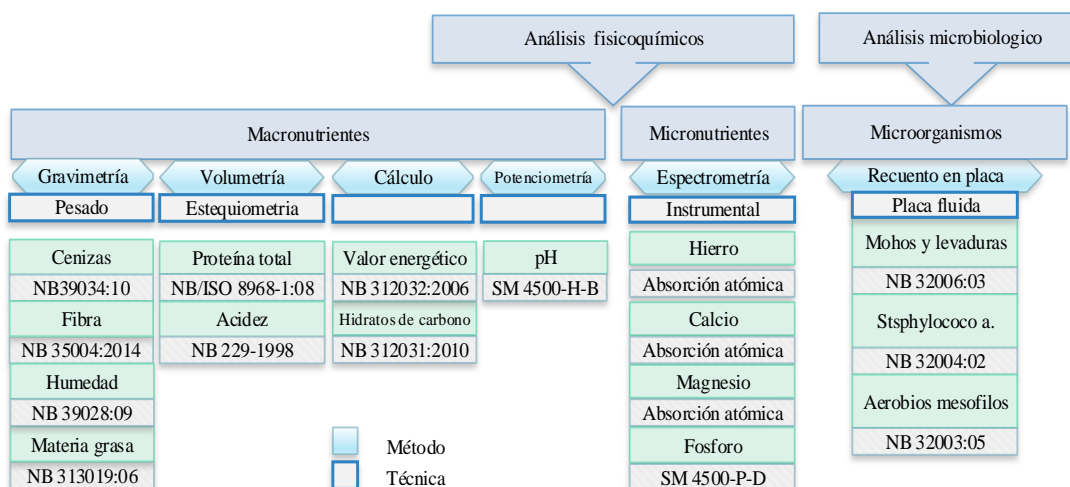


Fuente: CEANID, 2023

Figura 3.1 Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la harina de trigo y quinua

3.6.1.2 Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el pan especial de leche enriquecido con harina de quinua

En la figura 3.2, se detallan los análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados al pan especial de leche enriquecido con harina de quinua en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Juan Misael Saracho.

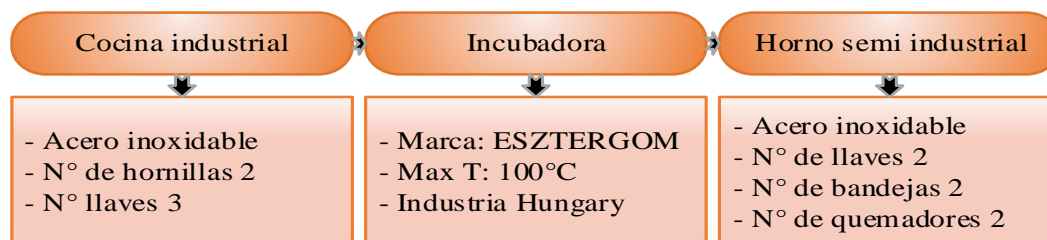


Fuente: CEANID, 2023

Figura 3.2 Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el pan especial de leche enriquecido con harina de quinua

3.6.2 Equipos utilizados en el proceso de elaboración de pan especial

En la figura 3.3, se describen los equipos que se utilizaron para el desarrollo de la parte experimental del trabajo de investigación de elaboración de pan especial de leche enriquecido con harina de quinua (Anexo G).

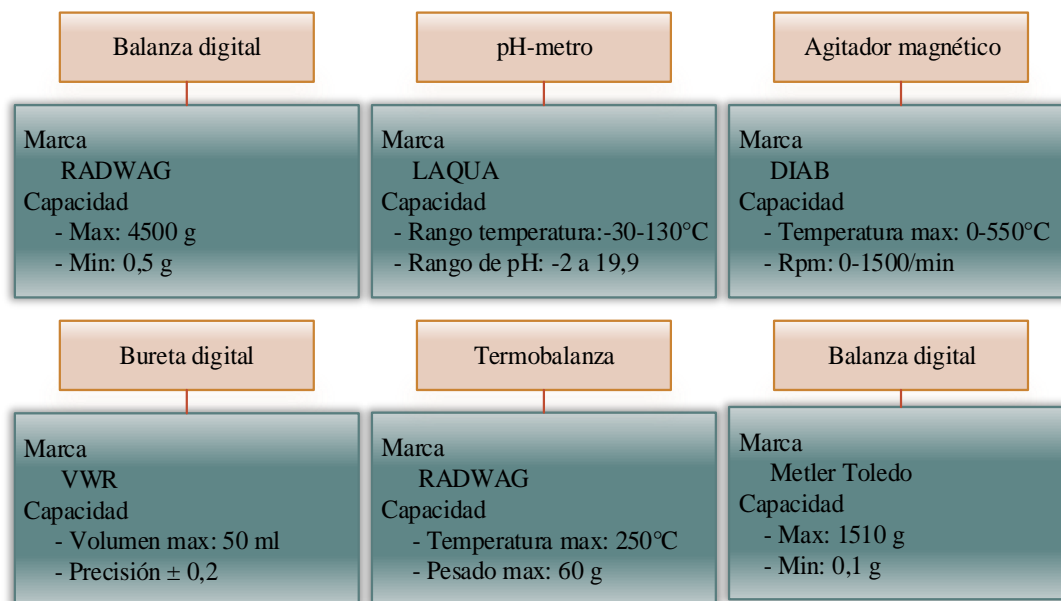


Fuente: Elaboración propia

Figura 3.3 Descripción de equipos utilizados en el proceso

3.6.3 Instrumentos de laboratorio utilizados en el proceso de elaboración de pan especial

En la figura 3.4, se describen los instrumentos de laboratorio que se utilizaron en el presente trabajo de investigación (Anexo G).



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.4 Instrumentos de laboratorio utilizados en el proceso

3.6.4 Material de laboratorio utilizados en el proceso de elaboración de pan especial

Se detallan los materiales de laboratorio (Anexo G). utilizados en el presente trabajo de investigación, que se encuentran en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA).

- Matraz aforado: Material de vidrio, 250 ml.
- Matraz Erlenmeyer: Material de vidrio, 250 ml.
- Vaso precipitado: Material de vidrio, 100 ml.
- Probeta: Material de vidrio, 100 ml.
- Pipeta. Material de vidrio, 10 ml.
- Termómetro de alcohol: Material de vidrio, (10-200) °C.
- Termómetro de mercurio. Material de vidrio, (10 – 100) °C.
- Espátula: Material de acero inoxidable, pequeño.
- Mortero con mazo: Material de porcelana, mediano.

3.6.5 Utensilios de cocina utilizados en el proceso de elaboración de pan especial

Los utensilios (Anexo G) utilizados en el presente trabajo de investigación, que se encuentran en el Laboratorio Taller de Alimentos (LTA), son:

- Olla de acero inoxidable, mediano
- Fuente de acero inoxidable, mediano
- Fuente de plástico (PVC), mediano
- Cucharas de acero oxidable
- Jarras de plástico, 500 ml
- Cuchillo con cierra
- Vasos de plástico (PS),
- Rejillas de acero inoxidable
- Bolsas de plástico (PP)
- Repasadores de tela de algodón
- Bandejas de aluminio para pan

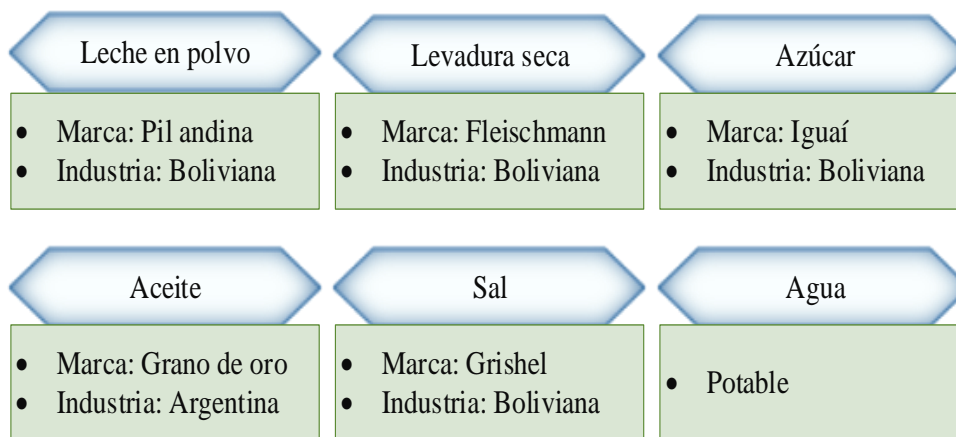
3.6.6 Reactivos químicos utilizados en el proceso de elaboración de pan especial

Los reactivos químicos utilizados en la determinación de acidez del presente trabajo de investigación (Anexo G), se encuentran en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA).

- Solución NaOH0 con concentración de 1 N, 50 ml
- Fenolftaleína líquida con concentración del 0,1 %, 50 ml

3.6.7 Insumos alimentarios utilizados en el proceso de elaboración de pan especial

La figura 3.5, describe los insumos alimentarios utilizados en la elaboración de pan especial de leche enriquecido con harina de quinua.

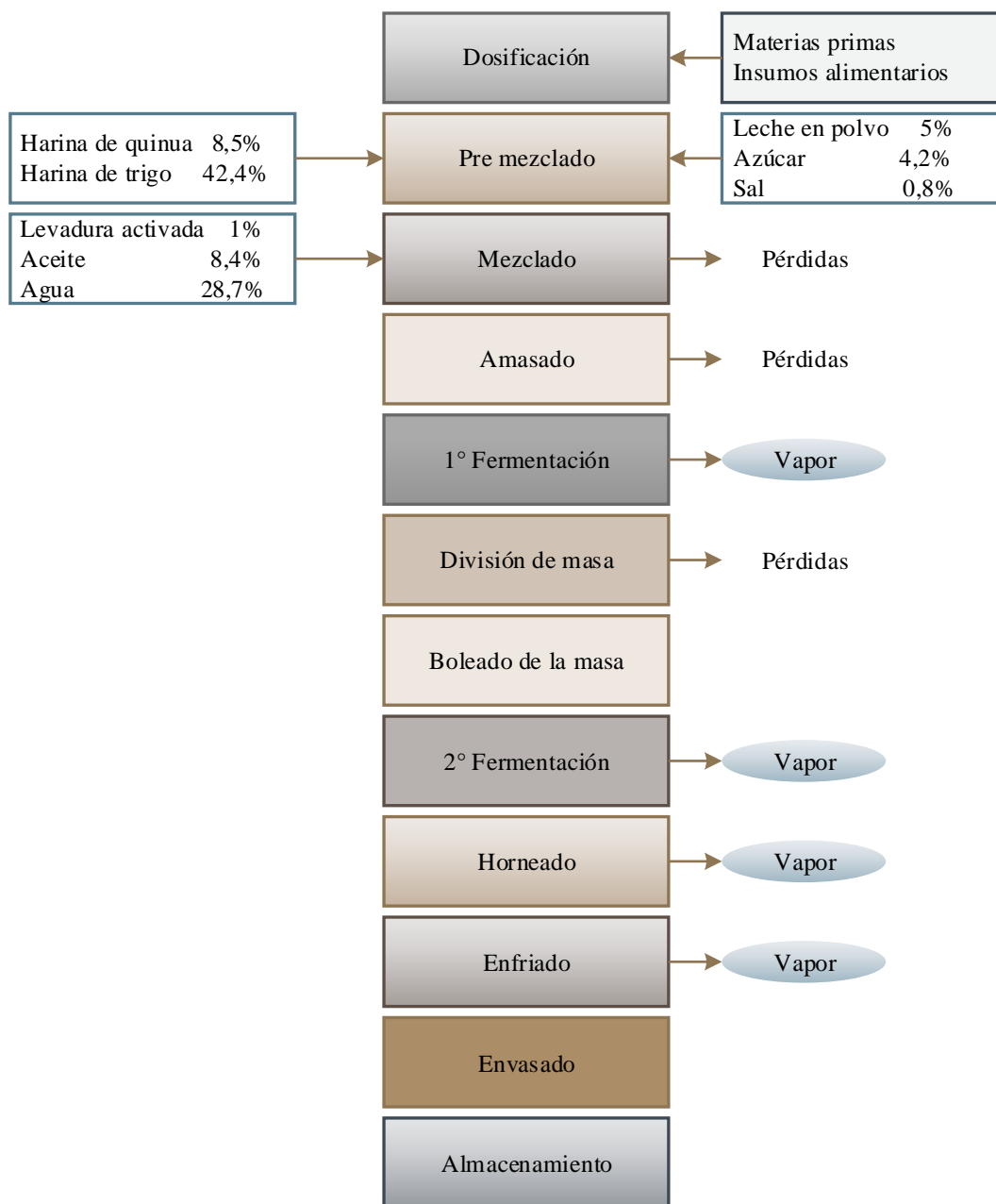


Fuente: Elaboración propia

Figura 3.5 Descripción de los insumos alimentario utilizados en el proceso

3.7 Diagrama del proceso de elaboración de pan especial

En la figura 3.6, se muestra el diagrama de flujo utilizado en la elaboración de pan especial de leche enriquecido con harina de quinua.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.6 Diagrama de elaboración de pan especial de leche enriquecido con harina de quinua

3.7.1 Descripción del diagrama para el proceso de elaboración de pan especial

Las operaciones implicadas en la elaboración del pan especial de leche enriquecido con harina de quinua, se describen a continuación:

3.7.1.1 Dosificación

Las materias primas e insumos alimentarios adquiridas en el mercado local de la ciudad de Tarija, son pesadas en recipientes de plástico de baja densidad, como se muestra en la figura 3.7.

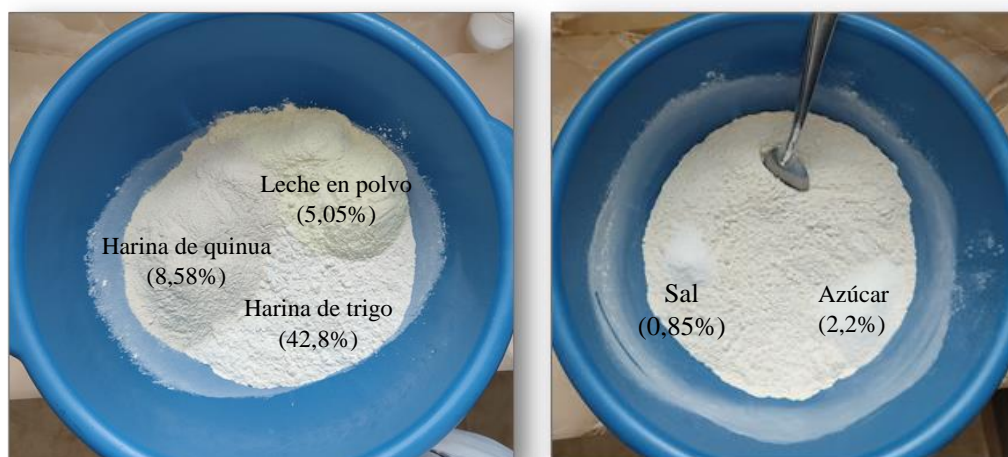


Fuente: Elaboración propia

Figura 3.7 Dosificación de materias primas e insumos alimentarios

3.7.1.2 Pre-mezclado

En una fuente de plástico rígido se realiza el pre-mezclado, colocando los ingredientes solidos: 42,4% harina de trigo Graciela, 8,5% harina de quinua, 5% leche en polvo, 2,2% azúcar y 0,8% sal y con la ayuda de una cuchara se procede a mezclar de modo que el movimiento de la mezcla sea uniforme, para dar lugar al siguiente paso. Como se muestra en la figura 3.8.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.8 Pre-mezclado de ingredientes en polvo

3.7.1.3 Mezclado

En el mezclado (figura 3.9) se procede a realizar la adición de la levadura seca previamente activada, 8,4% aceite y 18,7% de agua a temperada a 38°C con el fin de facilitar la integración de toda la mezcla y distribución homogénea.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.9 Adición de insumos alimentarios líquidos

- a) **Activación de la levadura:** Previamente al pre mezclado, se debe considerar el tiempo de activación de la levadura seca (figura 3.10). En un vaso de plástico se colocan el 10% de agua a temperada a 38°C con 2% de azúcar y con una cuchara se procede a mezclar. Por último, se añade el 1% de levadura seca y se mezcla, dando paso a la activación de la levadura por 8 min.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.10 Activación de la levadura seca

Se procede a realizar el mezclado de forma manual con movimientos envolventes por un tiempo de 3 min, con el fin de lograr la distribución homogénea de las materias primas e insumos alimentarios, obteniendo así la masa. En la figura 3.11, se muestra el mezclado y formado de la masa.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.11 Mezclado y formación de la masa

3.7.1.4 Amasado

El amasado se realiza de forma manual sobre una mesa de acero inoxidable, con la finalidad de homogenizar e hidratar todos los componentes de la masa y para su formación se realiza movimientos envolventes presionando y estirando de forma repetida por un tiempo de 10 min, como se muestra en la figura 3.12.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.12 Amasado de la masa

3.7.1.5 Primera fermentación de la masa

Para la etapa de fermentación, se coloca la masa en una fuente de acero inoxidable, y se introduce en la incubadora (equipo utilizado con el fin de dar un ambiente de humedad controlado) a una temperatura de 35 °C por un tiempo de 30 min. En estas condiciones la masa aumenta el doble de su volumen debido al gas carbónico generado por las levaduras transformando los almidones en azúcares y alcoholes. En la figura 3.13, se muestra la primera fermentación de la masa.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.13 Primera fermentación de la masa

3.7.1.6 División de la masa

Luego de la etapa de fermentación, se coloca la masa sobre la mesa de acero inoxidable, y se ejerce presión con las manos como se muestra en la figura 3.14, reduciendo de esa manera el volumen obtenido durante la etapa de fermentación. Luego se procede a dividir la masa, con la ayuda de la balanza se realiza el pesado de las porciones que deben tener aproximadamente 54g por masa.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.14 División de la masa

3.7.1.7 Boleado de la masa

Después de la división de la masa en porciones, se procede al boleado manual de la masa que consiste en dar forma esférica al pedazo de masa irregular con movimientos al apretarla redondeándolos. Las porciones fueron coladas en la bandeja de aluminio engrasada. Como se muestra en la figura 3.15.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.15 Boleado de la masa

3.7.1.8 Segunda fermentación de la masa

Los panes moldeados son llevados nuevamente a la incubadora a una temperatura de 35 °C por un tiempo de 30 min, donde la masa aumenta aproximadamente el doble de su tamaño. Como se muestra en la figura 3.16.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.16 Segunda fermentación del pan especial

3.7.1.9 Horneado

El horneado del pan se realiza en un horno semi industrial, que fue previamente precalentado a una temperatura de 150°C por 20 min. Cumplido el tiempo de la segunda fermentación se procede a llevar la bandeja de pan al horno de forma cuidadosa, es horneada a una temperatura de 160 °C por un tiempo de 28 min. En la figura 3.17, se muestra la etapa de horneado.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.17 Horneado del pan especial de leche

3.7.1.10 Enfriado

Concluido el tiempo de horneado, el enfriamiento se efectúa a temperatura ambiente de 25°C, colocando el pan sobre una rejilla de acero inoxidable, por un tiempo de 20 min, como se muestra en la figura 3.18.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.18 Enfriado del pan

3.7.1.11 Envasado

El envasado de los panes es en bolsas de polipropileno, con el fin de preservar el producto del medio que lo rodea, como se muestra en la figura 3.19.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.19 Envasado del pan especial

3.7.1.12 Almacenamiento

Se realiza el almacenamiento del pan envasado en un ambiente limpio, seco y fresco y no exponer al sol.

3.8 Evaluación sensorial

La evaluación sensorial es una disciplina desarrollada desde hace algunos años; nació durante la segunda guerra mundial. Donde se trabaja en base a paneles de degustadores, denominados jueces, que hacen uso de sus sentidos como herramienta de trabajo (Wittig, 2001). Mediante esta evaluación pueden clasificarse las materias primas y productos terminados, conocer que opina el consumidor sobre un determinado alimento, su aceptación o rechazo, así como su nivel de agrado, criterios estos que se tienen en cuenta en la formulación y desarrollo de los mismos (Espinosa, 2007). En la figura 3.20, se detallan las evaluaciones sensoriales realizadas en el presente trabajo de investigación.

Test	Evaluación sensorial	Codigo	Atributos	Escala hedónica
Tes 1	Selección de muestra preliminar de pan con harina de trigo	P02, P03, P04, P05, P12	Color, sabor, olor, textura, corteza	7 puntos
Test 2	Determinación de porcentaje de levadura en el pan de trigo	PS2, PS3, PS4, PI2, PI3, PI4	Formación de la miga, forma del pan, tamaño, olor	7 puntos
Test 3	Selección del tipo de harina de trigo	PF2, PG3, PSG4	Color, sabor, textura, corteza, formación de la miga	7 puntos
Test 4	Incorporación de harina de quinua en pan de trigo	PQ4, PQ5, PQ6	Color, sabor, olor, textura, corteza	7 puntos
Test 5	Selección de tipo de leche en muestra preliminar de pan enriquecido con harina de quinua	PL5, PL6	Color, sabor, olor, textura, corteza	7 puntos
Test 6	Diseño factorial del nivel superior	MP1, MP2, MP3, MP4	Color, sabor, textura, corteza, adhesividad	7 puntos
Test 7	Diseño factorial del nivel inferior	MP5, MP6, MP7, MP8	Color, sabor, textura, corteza, adhesividad	7 puntos
Test 8	Elección de muestra final de pan especial de leche enriquecido con harina de quinua	MP3, PL6, MP7	Apariencia, sabor, olor, textura, corteza	7 puntos
Test 9	Aceptabilidad del producto final de pan especial de leche enriquecido con harina de quinua	MPQL	Color, sabor, textura, aceptabilidad	7 puntos

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.20 Evaluaciones sensoriales en el presente trabajo de investigación

3.9 Diseño experimental

El objetivo fundamental de los diseños experimentales radica en el determinar si existe una diferencia significativa entre los diferentes tratamientos del experimento y en caso que la respuesta es afirmativa, cuál sería la magnitud de esta diferencia. Una segunda meta de los diseños experimentales es verificar la existencia de una tendencia derivado del análisis de los datos del experimento (Badii *et al.*, 2007).

3.9.1 Diseño factorial

Según Badii *et al.* (2007) indica el diseño factorial es aquel en el que el conjunto de tratamientos consiste en todas las combinaciones posibles de los niveles de varios factores (Pág. 311). Hurtado & Gómez, (2011) indican para poder estudiar la manera en que influye cada factor sobre la variable respuesta, es necesario elegir al menos dos niveles de prueba para cada uno de ellos (Pág. 9).

3.9.1.1 Diseño factorial 2³

Según Hurtado & Gómez (2011) cuando se tienen tres factores (A, B y C) y el número de niveles de prueba en cada uno de ellos son a, b y c, se puede construir el arreglo factorial $a \times b \times c$ que consiste de tratamientos o puntos experimentales (Pag, 10).

La inclusión de más factores al diseño de tratamientos aumenta la complejidad de los patrones de interacción entre los factores de tratamiento. El número de combinaciones de tratamientos aumenta tanto como se agregan factores al diseño, es decir, un diseño de tres factores con a niveles de A, b niveles de B y c niveles de C, tiene abc combinaciones (Kuehl, 2001).

3.9.1.2 Diseño factorial 2³ en el proceso de dosificación para la elaboración de pan especial

El diseño factorial aplicado en el trabajo de investigación para la elaboración de pan especial de leche enriquecido con harina de quinua, conformado por tres variables: cantidad de harina de quinua, harina de trigo y leche en polvo, que corresponde a las ecuaciones:

$$2^k$$

Ecuación 3.1

Donde:

2= número de niveles

k= número de variables

$$2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8 \text{ tratamientos diferentes}$$

Ecuación 3.2

En la tabla 3.1, se muestra los niveles de los factores (nivel superior y nivel inferior) aplicados en el proceso de dosificación.

Tabla 3.1*Niveles de variación de los factores para la dosificación*

Factores	Unidad	Símbolo	Nivel
Harina de quinua	%	A	2
Leche en polvo	%	B	2
Harina de trigo	%	C	2

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.2, se muestra la matriz experimental del diseño factorial aplicado en la etapa de dosificación para el proceso de elaboración de pan especial de leche enriquecido con harina de quinua.

Tabla 3.2*Matriz de diseño factorial aplicado en la etapa de dosificación*

Tratamiento	Variables			Interacción				Variable respuesta		
	A	B	C	AB	AC	BC	ABC	pH	Acidez	Humedad
(1)	-	-	-	+	+	+	-	Y _i	Y _i	Y _i
a	+	-	-	-	-	+	+	Y _i	Y _i	Y _i
b	-	+	-	-	+	-	+	Y _i	Y _i	Y _i
ab	+	+	-	+	-	-	-	Y _i	Y _i	Y _i
c	-	-	+	+	-	-	+	Y _i	Y _i	Y _i
ac	+	-	+	-	+	-	-	Y _i	Y _i	Y _i
bc	-	+	+	-	-	+	-	Y _i	Y _i	Y _i
abc	+	+	+	+	+	+	+	Y _i	Y _i	Y _i

Fuente: Elaboración propia

Donde (Y_i): variables respuestas

Y_i = pH del pan especial

Y_i = Contenido de humedad (%)

Y_i = Porcentaje de acidez (%) expresado como ácido láctico

3.10. Operacionalización de variables para la elaboración de pan especial

En la tala 3.3, se muestra la operacionalización de las variables para la elaboración de pan especial de leche enriquecido con harina de quinua.

Tabla 3.3.

Operacionalización de variables para la elaboración de pan especial

Hipótesis	Variable	Definición	Parámetros	Indicadores			
Aplicando el proceso de panificación, es posible elaborar pan especial de leche enriquecido con harina de quinua, para obtener un producto de calidad nutricional para la población de la provincia de Cercado.	Independiente	Proceso de panificación	Se conoce como masas a las realizadas a partir de levadura panadera (biológica) que experimentan una fermentación y una transformación de las materias primas (los azúcares en gas carbónico y alcohol etílico) (Castiblanco, 2020)	Dosificación	Cantidad	%	
					Acidez pH	%	
				Evaluación sensorial	Textura Corteza Sabor Color Olor	Escala hedónica	
	Dependiente	Pan especial de leche enriquecido con harina de quinua	Alimento con valor nutricional que aporta un excepcional equilibrio entre proteínas, grasas y carbohidratos.	Harina de trigo Harina de quinua		Ceniza	%
						Fibra	%
						Grasa	%
						Hidratos de carbono	%
						Humedad	%
						Proteína total	%
						Valor energético	%
						Mohos y levadura	UFC/g
						<i>Statphylococo aureus</i>	UFC/g
						Calcio	mg/100g
						Hierro	mg/100g
	Fosforo	mg/100g					
	Magnesio	mg/100g					

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización de la harina de trigo y harina de quinua

Para la caracterización de las de las harinas de trigo y quinua se toma en cuenta los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, que se detalla a continuación:

4.1.1 Análisis fisicoquímico de la harina de trigo

En la tabla 4.1, se indica los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la harina de trigo marca Graciela, datos extraídos del Anexo A.1.

Tabla 4.1

Análisis fisicoquímico de la harina de trigo Graciela

Parámetros	Unidad	Resultado
Ceniza	%	0,76
Fibra	%	1,37
Grasa	%	1,24
Hidratos de carbono	%	74,89
Humedad	%	11,74
Proteína total(Nx5,70)	%	10,00
Valor energético	Kcal/100g	350,70
Calcio	mg/100g	30,00
Hierro	mg/100g	32,40

Fuente: CEANID, 2023

En la tabla 4.1, se puede observar los resultados del análisis fisicoquímico de la harina de trigo Graciela, que presenta: ceniza 0,76%, fibra 1,37%, grasa 1,24%, hidratos de carbono 74,89%, humedad 11,74%, proteína total (Nx5,70) 10,00% y valor energético 350,72 Kcal/100g. También se puede observar los resultados de los minerales mayoritarios que contiene la harina de trigo, que presenta: calcio 30 mg/100g y hierro 32,4 mg/100g.

4.1.2 Análisis microbiológico de la harina de trigo

En la tabla 4.2, se indica los resultados obtenidos del análisis microbiológico de la harina de trigo Graciela de datos extraídos del Anexo A.1.

Tabla 4.2

Análisis microbiológico de la harina de trigo Graciela

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

Fuente: Elaboración propia

(*) = No se observa desarrollo de colonias

En la tabla 4.2, se puede observar los resultados del análisis microbiológico de la harina de trigo Graciela, que presenta: mohos y levaduras $7,0 \times 10^1$ UFC/g y *Staphylococo aureus* $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g.

4.1.3 Análisis fisicoquímico de la harina de quinua blanca

En la tabla 4.3, se indica los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la harina de quinua blanca de datos extraídos del Anexo A.2.

Tabla 4.3

Análisis fisicoquímico de la harina de quinua

Parámetros	Unidad	Resultado
Ceniza	%	2,01
Fibra	%	4,83
Grasa	%	8,01
Hidratos de carbono	%	63,03
Humedad	%	9,87
Proteína total (Nx6,25)	%	12,25
Valor energético	Kcal/100g	373,21
Magnesio	mg/100g	138,00
Fósforo	mg/100g	96,60

Fuente: CEANID, 2023

En la tabla 4.3, se puede observar los resultados del análisis fisicoquímico de la harina de quinua blanca que presenta: ceniza 2,01%, fibra 4,83%, grasa 8,01%, hidratos de carbono 63,03%, humedad 9,87%, proteína total (Nx6,25) 12,25% y valor energético 373,21 Kcal/100g. También se observan los resultados de los minerales mayoritarios que contiene la harina de quinua blanca que presenta: magnesio 138,0 mg/100g y fósforo 96,6 mg/100g.

4.1.4 Análisis microbiológico de la harina de quinua blanca

En la tabla 4.4, se indica los resultados obtenidos del análisis microbiológico de la harina de quinua blanca de datos extraídos del Anexo A.2.

Tabla 4.4

Análisis microbiológico de la harina de quinua

Microorganismos	Unidad	Resultado
Mohos y levadura	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$ (*)
<i>Staphylococo aureus</i>	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$ (*)

Fuente: CEANID, 2023

(*) = No se observa desarrollo de colonias

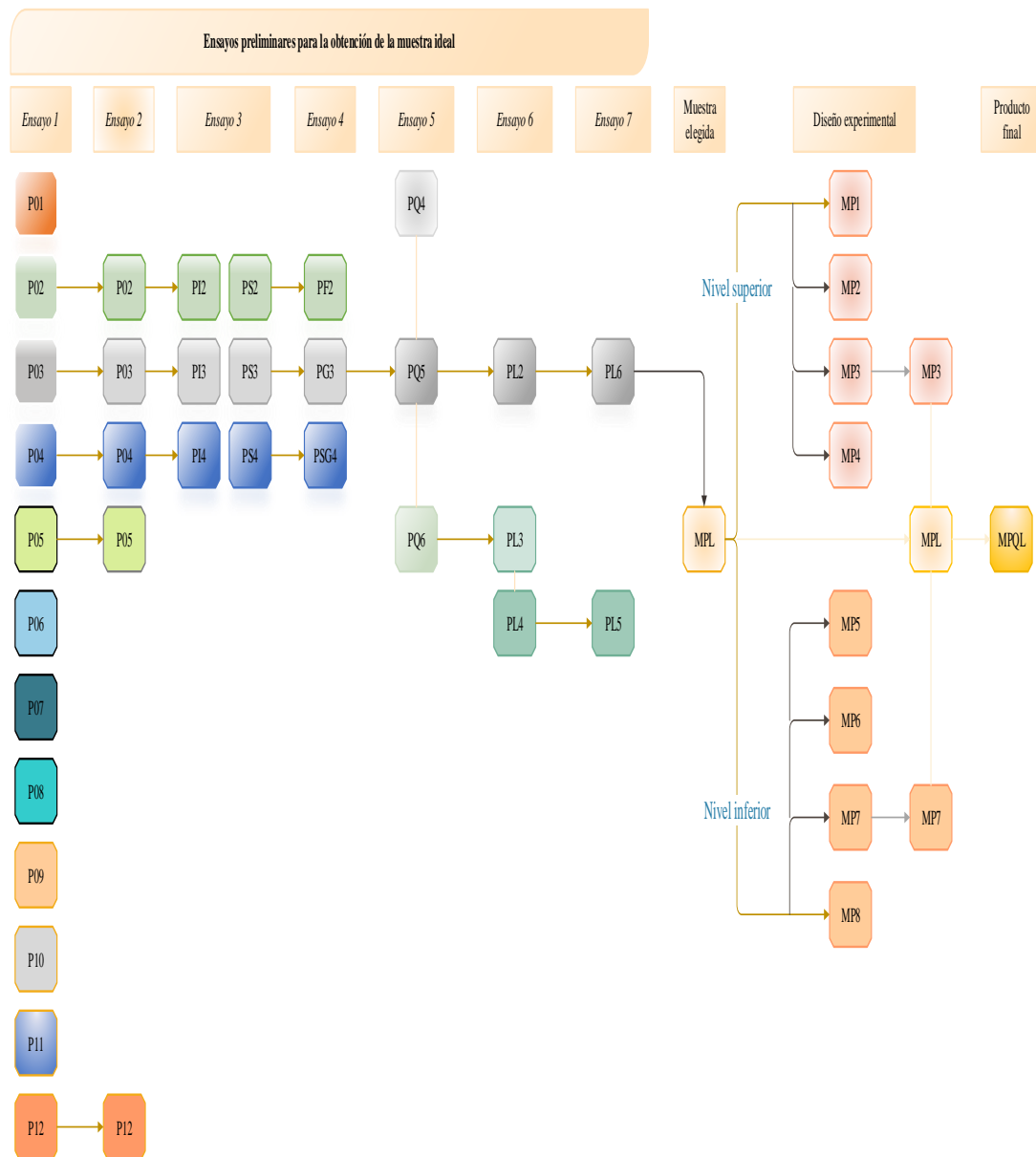
En la tabla 4.4, se puede observar los resultados del análisis microbiológico de la harina de quinua blanca, que presenta: mohos y levaduras $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g y *Staphylococo aureus* $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g.

4.2 Caracterización de las variables del proceso de elaboración del pan especial de leche enriquecido con harina de quinua

Para realizar la caracterización a nivel experimental de las variables del proceso de elaboración de pan especial de leche enriquecido con harina de quinua se toma en cuenta las pruebas preliminares de elaboración de pan común, con el fin de obtener la metodología para elaborar el pan especial de leche enriquecido con harina de quinua.

4.2.1 Desarrollo de ensayos preliminares para la elaboración de pan común

Para el desarrollo experimental del presente trabajo de investigación, inicialmente se tomaron en cuenta la elaboración de pan común a base de harina de trigo, levadura y agua; con el fin de mejorar la técnica y obtener la metodología del proceso de panificación. Para tal efecto, se realiza la modificación en la formulación de las pruebas preliminares para los siete ensayos (ensayo 1, ensayo 2, ensayo 3, ensayo 4, ensayo 5, ensayo 6 y ensayo 7), para obtener la muestra ideal de pan especial de leche enriquecido con harina de quinua, como se muestra en la figura 4.1.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.1 Ensayos preliminares para la obtención de la muestra ideal

4.2.2 Pruebas preliminares del pan común para el ensayo 1

A nivel experimental se utilizó el proceso y técnica de panificación (Flecha, 2016), para tal efecto se realiza doce muestras preliminares de pan común variando la dosificación en función de la tabla 4.5.

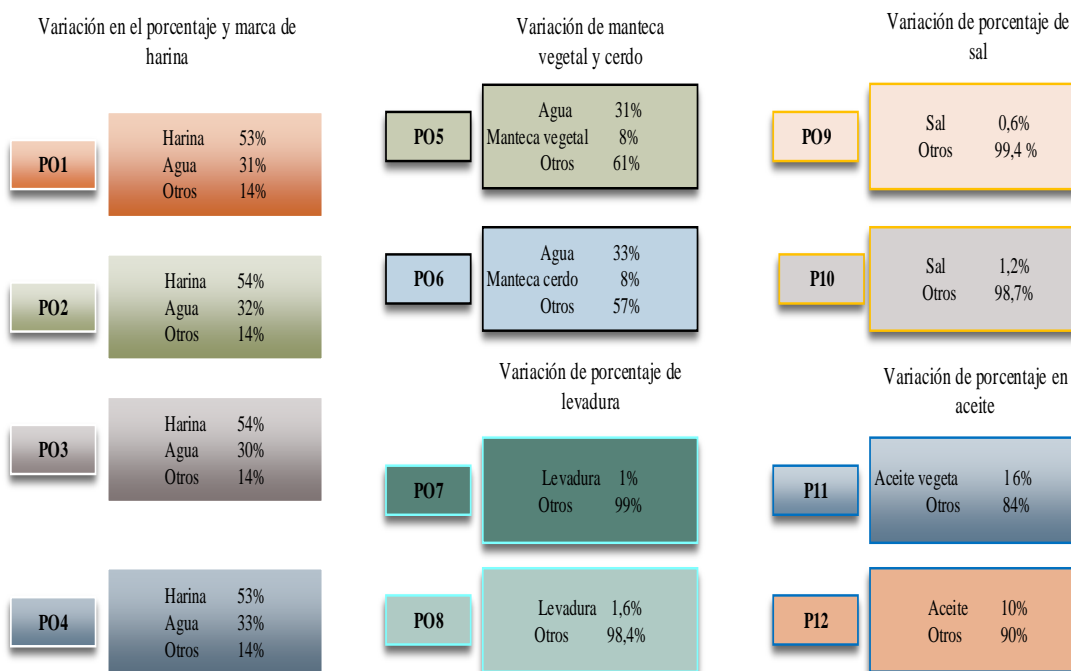
Tabla 4.5

Variación en la dosificación de pan común para el ensayo 1

Materia prima/insumos	Rango	Unidad
Harina de trigo	53,0 – 54,7	%
Levadura	1,0 – 1,2	%
Azúcar	4,0 – 4,5	%
Sal	0,6 – 1,2	%
Materia grasa	8,0 – 10,0	%
Agua	27,0 – 35,0	%

Fuente: Flecha, 2016

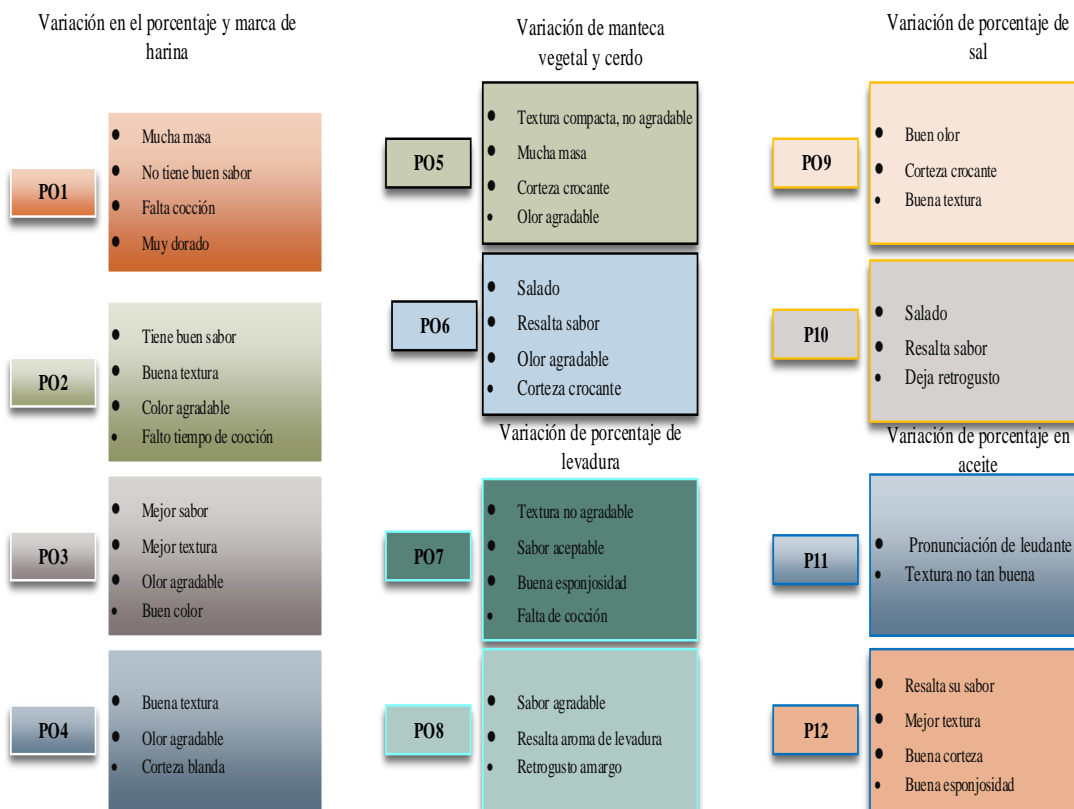
En base a la tabla 4.5, se realizan las formulaciones para las muestras del ensayo 1, variando el porcentaje de harina de trigo en P01, P02, P03 y P04, en las siguientes muestras P05 y P06 (manteca vegetal y cerdo), P07, P08 (porcentaje de levadura), P09, y P10 (porcentaje de sal), P11 y P12 porcentaje de aceite). En la figura 4.2, se detalla la variación en las formulaciones mencionadas.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.2 Variación porcentual de harina de trigo e insumos alimentarios en pan común para el ensayo 1

Las doce muestras elaboradas en función de la figura 4.2, son evaluadas de manera subjetiva por el personal del Laboratorio Taller de Alimentos y la valoración realizada se detalla en la figura 4.3.



Fuente: Elaboración propia

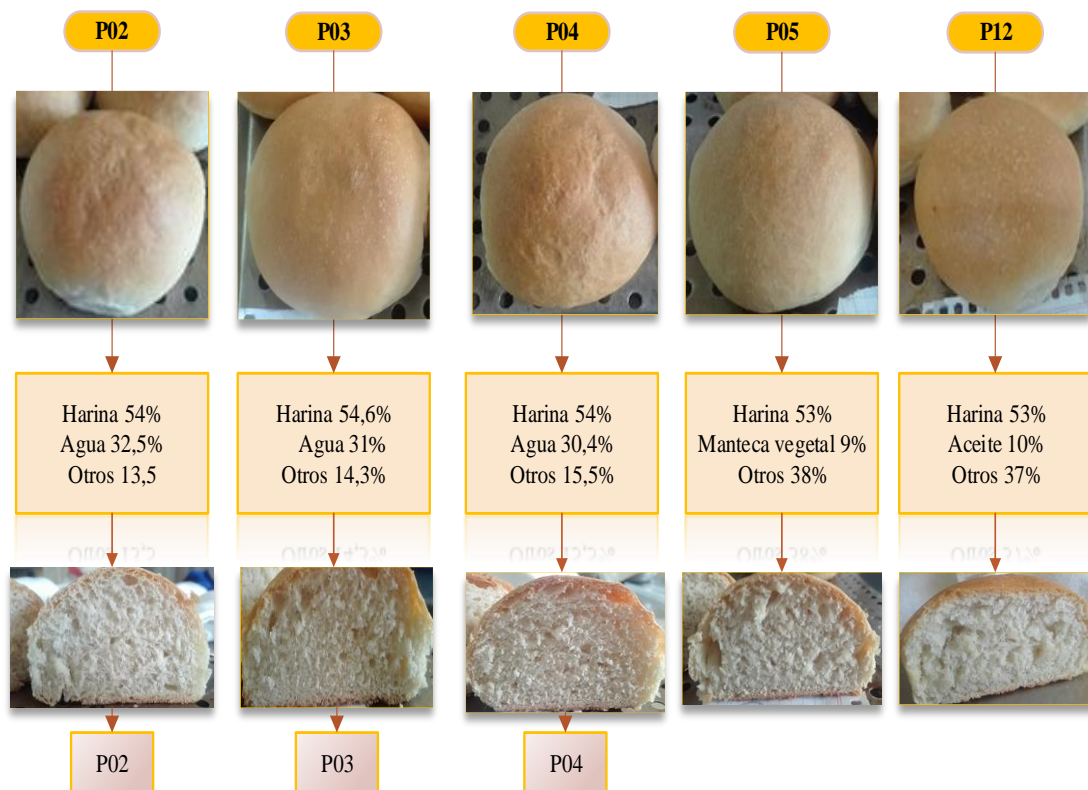
Figura 4.3 Valoración subjetiva de pan común para el ensayo 1

De acuerdo a la valoración realizada (figura 4.3), las muestras de mayor grado de aceptación fueron: P02, P03, P04, P05 y P12, por presentar buen sabor, textura esponjosa, olor agradable, corteza blanda; en comparación con las muestras P01, P06, P07, P08, P09, P10 y P11, que presentaron sabor no tan agradable, corteza crocante, pronunciación de leudante y textura gomosa.

4.2.3 Pruebas preliminares del pan común para el ensayo 2

En base a los resultados de la figura 4.3, las muestras P02 (harina Florencia), P03 (harina Graciela) y P04 (harina San Gabriel) fueron elaboradas con diferentes marcas de harina de trigo y las muestras P05 (manteca vegetal) y P12 (Aceite vegetal) variando

en el porcentaje de materia grasa, con la finalidad de mejorar la formulación del pan común que se muestran en la figura 4.4.



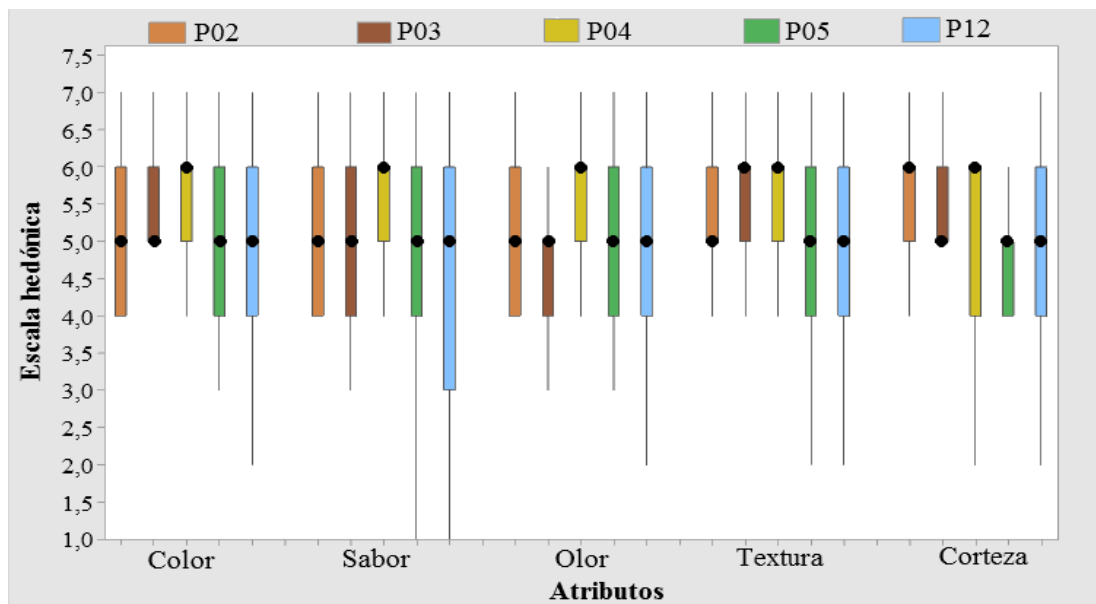
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.4 Variación en las formulaciones de pan común para el ensayo 2

En base a las muestras de la figura 4.4, se procede a realizar una evaluación sensorial con jueces no entrenados mediante la escala hedónica de siete puntos, en las que se valoraron los atributos color, sabor, olor, textura, corteza.

4.2.3.1 Estadístico de caja y bigote del pan común para el ensayo 2

En la figura 4.5, se muestra el estadístico de caja y bigote en pruebas del ensayo 2, datos que son extraídos del Anexo D, para los atributos de color (tabla D.1), sabor (tabla D.3), olor (tabla D.5), textura (tabla D.7), corteza (tabla D.9).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.5 Caja y bigote del pan común para el ensayo 2

Según la figura 4.5, se puede observar los resultados de las medianas en función de los atributos color 6,0 (P04), sabor 6,0 (P04), olor 6,0 (P04), textura 6,0 (P03; P04) y corteza 6,0 (P02; P12). Realizando el estadístico de varianza (Anexo D) no existe diferencia significativa entre los atributos para un nivel de significancia $\alpha=0,05$. Asimismo, en base a las observaciones en la evaluación sensorial se determina la preferencia de los jueces no entrenados por las muestras P02, P03 y P04.

4.2.3.2 Control fisicoquímico del pan común para el ensayo 2

Se realiza el control de parámetros fisicoquímicos para el ensayo 2, tomando en cuenta las muestras (P02, P03, P04, P05 y P12), con el fin de determinar los valores de pH, humedad y acidez (ácido láctico) del pan común.

4.2.3.2.1 Control de pH del pan común para el ensayo 2

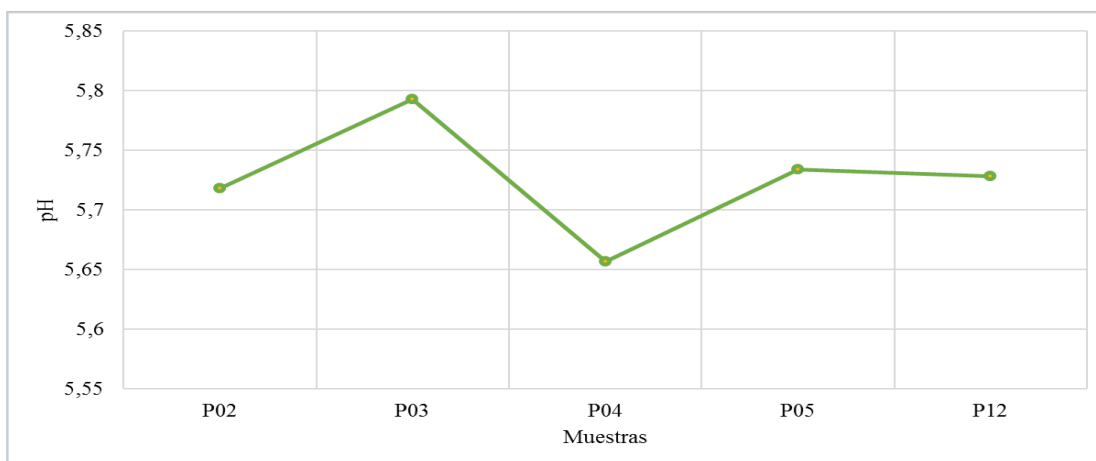
La tabla 4.6, muestra los resultados obtenidos de la variación de pH entre las muestras de pan común; utilizando la técnica detallada en el Anexo C.1.

Tabla 4.6*Variación de pH entre muestras de pan común para el ensayo 2*

Muestras	P02	P03	P04	P05	P12
pH	5,71	5,79	5,65	5,73	5,72

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.6, se muestran los resultados de pH en las cinco muestras de pan común para el ensayo 2, realizadas en base a la tabla 4.6.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.6 Control de pH en muestras de pan común para el ensayo 2

Según la figura 4.6, se puede observar que el pH en la muestra P04 (5,65) presenta una actividad mediana mente acida en su valor, en comparación a las muestras P03, P12 y P02 que presentan un pH que oscila entre (5,73 – 5,72), en cambio la muestra P03 (5,79) presenta un pH alto en su valor.

4.2.3.2.2 Control del contenido de humedad del pan común para el ensayo 2

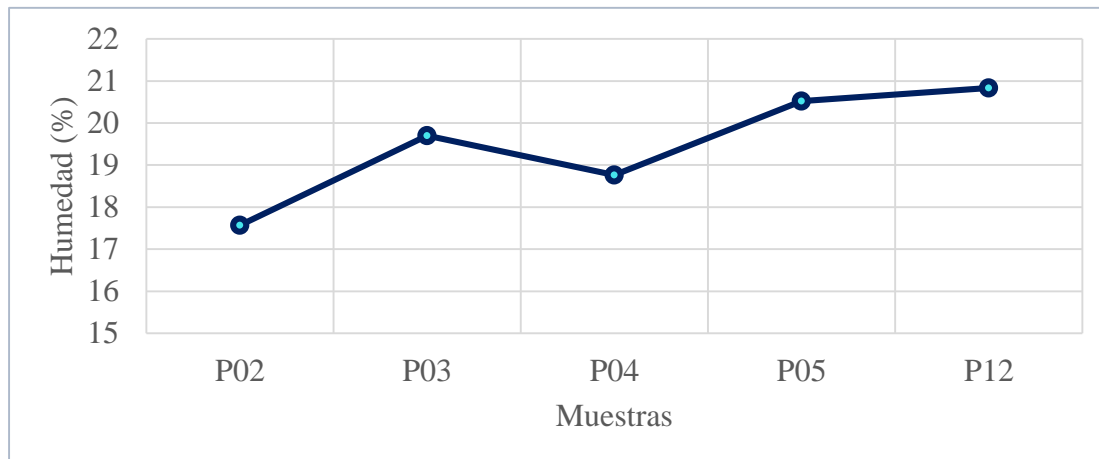
En la tabla 4.7, se muestran los resultados obtenidos del contenido de humedad entre las muestras del ensayo 2, donde se aplica el método de la termobalanza detallado en el Anexo C.3.

Tabla 4.7*Contenido de humedad en muestras de pan común para el ensayo 2*

Muestras	P02	P03	P04	P05	P12
Humedad	17,57	19,69	18,76	20,52	20,83

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.7, se muestran los resultados del contenido de humedad en las cinco muestras para el ensayo 2, realizadas en base a la tabla 4.7.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.7 Control de contenido de humedad del pan común para el ensayo 2

Según la figura 4.7, se puede observar que las muestras P12 (20,83%) y P05 (20,52%) presentan mayor contenido de humedad debido al contenido de agua y materia grasa en mayor proporción a comparación de las muestras P03 y P04 que el contenido de humedad oscila entre (19,69 - 18,76) %. Sin embargo, la muestra P02 (17,57%) presenta un bajo contenido de humedad, debido al bajo contenido de agua en su formulación.

4.2.3.2.3 Control de acidez (ácido láctico) del pan común para el ensayo 2

En la tabla 4.8, se muestran los resultados obtenidos de la variación de acidez (ácido láctico) entre las muestras del ensayo 2, utilizando la técnica detallado en el Anexo C.

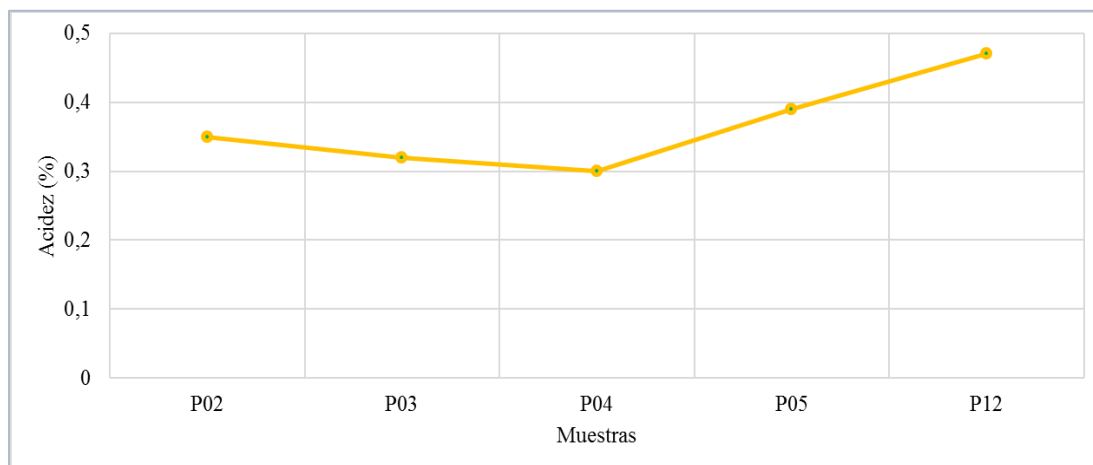
Tabla 4.8

Variación de acidez (ácido láctico) en prueba preliminar para el ensayo 2

Muestras	P02	P03	P04	P05	P12
Acidez	0,35	0,32	0,30	0,39	0,47

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.8, se muestran los resultados de acidez % (ácido láctico) en las cinco muestras para el ensayo 2, realizadas en base a la tabla 4.8.



Fuente: Elaboración propia

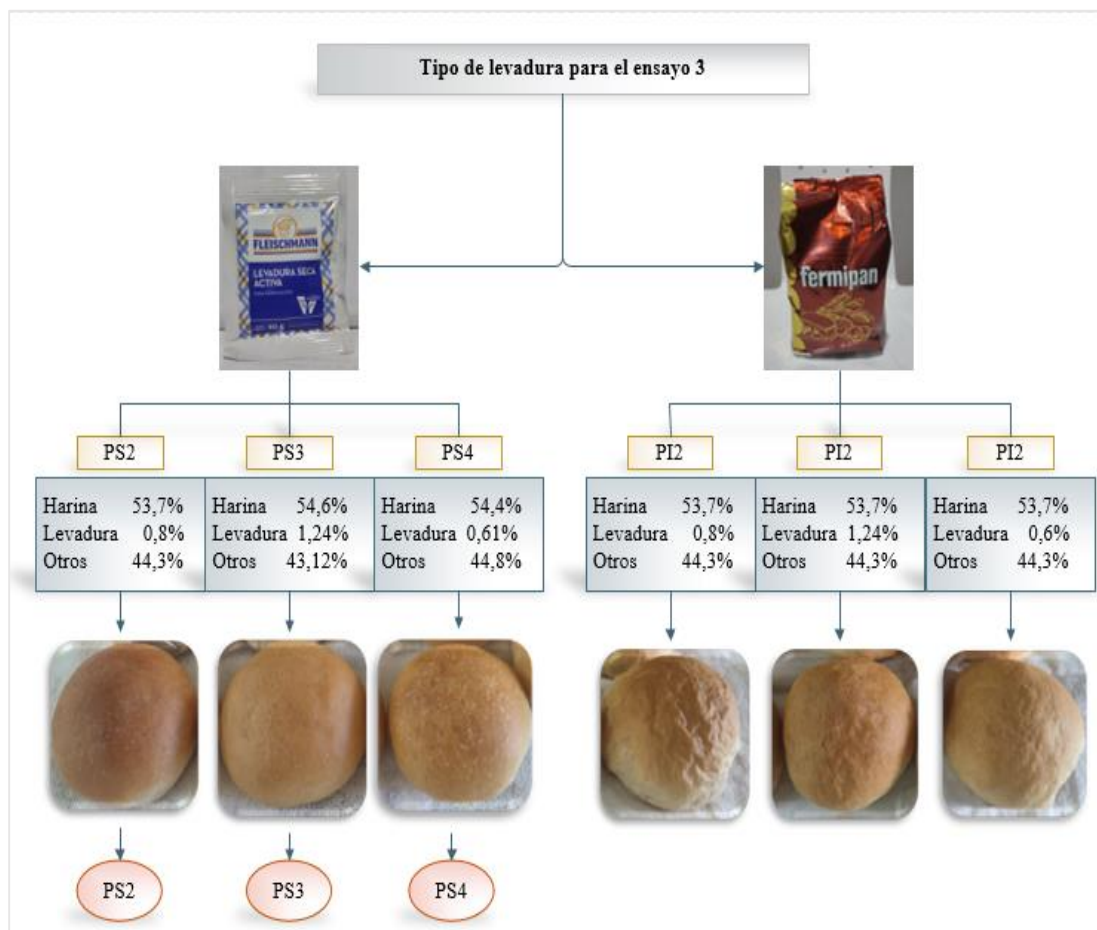
Figura 4.8 Control de acidez (ácido láctico) del pan común para el ensayo 2

Según la figura 4.8, se puede observar que la muestra P12 (0,47%) presenta un alto valor de acidez (ácido láctico) por el contenido de materia grasa (10%), en comparación con la muestra P05 (0,39%), sin embargo, las muestras P02 (0,35%), P03 (0,32%) y P04 (0,30%) presenta una ligera variación en la acidez (ácido láctico).

Realizado el control de los parámetros fisicoquímicos en las cinco muestras del ensayo 2, se considera según el valor de cada parámetro de control las muestras P04 (5,65), P03 (5,79) y P02 (5,71) por su valor de pH, P03 (19,69%), P04 (18,76%) y P02 (17,57%) en su contenido de humedad y P02 (0,35%), P03 (0,32%) y P04 (0,30%) por su valor de acidez (ácido láctico).

4.2.4 Pruebas preliminares para seleccionar el tipo de levadura del pan común para el ensayo 3

Para realizar la dosificación en el ensayo 3, se considera dos tipos de levadura (instantánea y seca) como se muestra en la figura 4.9, con la finalidad de identificar las diferencias que producen durante la elaboración del pan común en el tamaño, volumen y formación de miga, por tal razón se toma en cuenta las tres muestras (P02, P03, P04) y fueron recodificadas como (PS2, PS3, PS4) con levadura seca y (PI2, PI3 y PI4) con levadura instantánea.



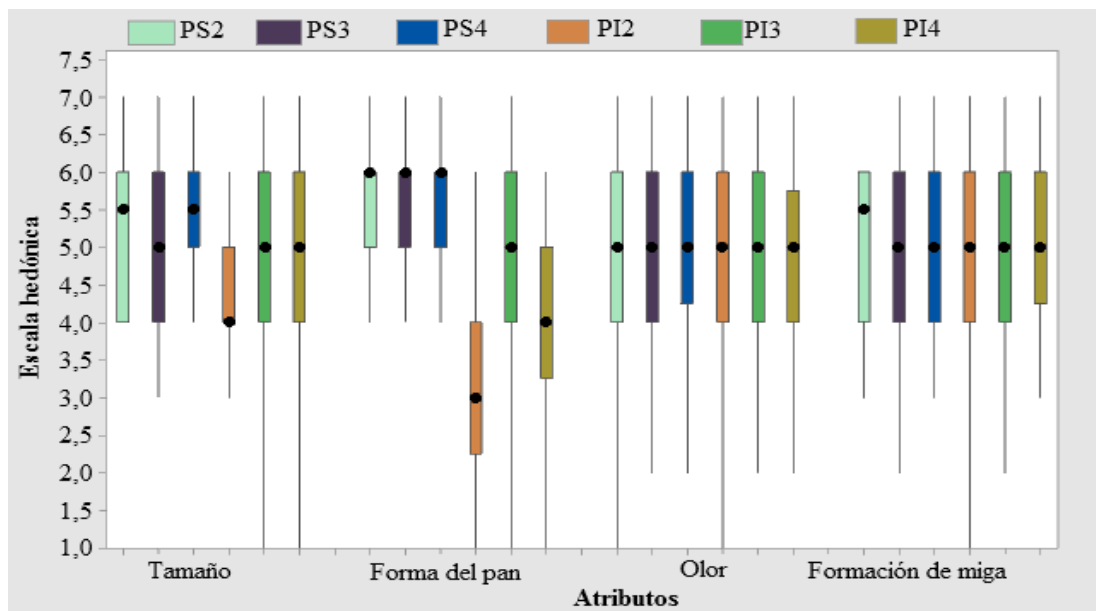
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.9 Tipo de levadura en el pan común para el ensayo 3

De acuerdo a la formulación de la figura 4.9, se realiza una evaluación sensorial con jueces no entrenados mediante una escala hedónica de siete puntos valorando los atributos; tamaño, forma del pan, olor, formación de miga, con el fin de seleccionar el tipo de levadura.

4.2.4.1 Estadístico de caja y bigote del pan común para el ensayo 3

La figura 4.10, muestra el estadístico de caja y bigote, datos extraídos del Anexo D, para los atributos tamaño (tabla D.11), forma del pan, (tabla D.13), olor (tabla D.16), y formación de miga (tabla D.18).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.10 Caja y bigote del pan común para el ensayo 3

Según la figura 4.10, se puede observar los resultados de las medianas en función de los atributos forma del pan 6,0 (PS2 - PS3 - PS4), forma de la miga 5,5 (PS2), tamaño 5,5 (PS4), olor 5,0 (PS4). Realizando el estadístico de varianza (Anexo D) solo existe diferencia significativa en el atributo forma del pan a un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

4.2.4.2 Estadístico de Tukey para el atributo de forma del pan común para el ensayo 3

En la tabla 4.9, se muestran los resultados del análisis estadístico a prueba de Tukey para el atributo forma del pan común para el ensayo 3.

Tabla 4.9

Estadístico de Tukey para atributo forma del pan común para el ensayo 3

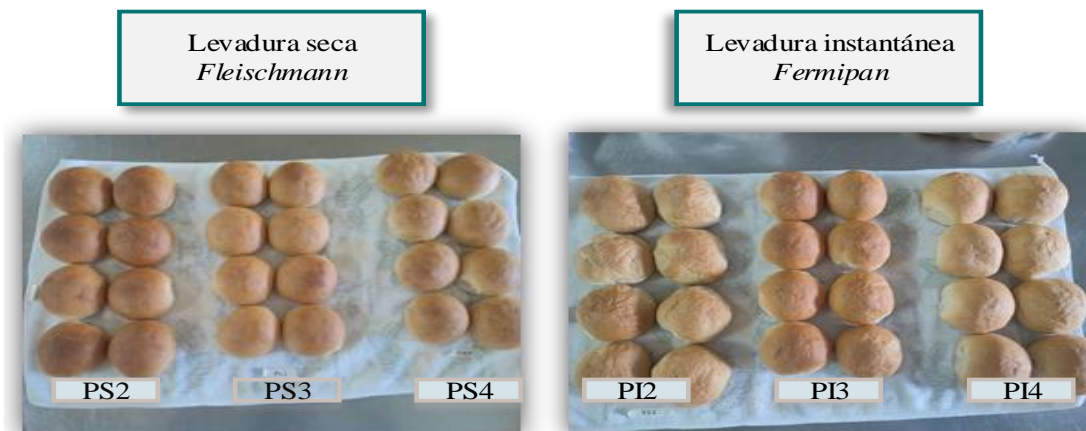
Factor	N	Mediana	Agrupación		
Forma del pan PS4	20	6,00	A		
Forma del pan PS3	20	6,00	A		
Forma del pan PS2	20	6,00	A		
Forma del pan PI3	20	5,00	A	B	
Forma del pan PI4	20	4,00		B	C
Forma del pan PI2	20	3,00			C

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.9, se puede observar que existe diferencia significativa entre las medianas de la muestra PS4 (6,00) y las muestras PI4, PI4 y PI2 que no comparten una mediana para un nivel de significancia $\alpha=0,05$. En tal sentido se observa estadísticamente que existe mayor preferencia por las muestras (PS4 – PS2 - PS3).

4.2.4.3 Parámetros físicos del pan común para el ensayo 3

En la figura 4.11, se observan las muestras obtenidas con la variación del tipo de levadura en el pan común, para tal efecto se realiza la determinación de los parámetros físicos; utilizando la balanza de precisión se puede determinar el peso total del pan común elaborado, y con el vernier se determina la altura y el diámetro.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.11 Variación del tipo de levadura en el pan común para el ensayo 3

En la tabla 4.10, se puede observar las ecuaciones que se aplica para la determinación de los parámetros físicos de radio, base y volumen del pan común para el ensayo 3.

Tabla 4.10

Ecuaciones para los parámetros físicos del tipo de levadura

Radio (cm)	base (cm)	Volumen (cm ³)	Promedio
$r = \frac{D}{2}$	$b = r * r * \pi$	$v = b * A$	$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots}{n}$
r = radio D= diámetro	b= base $\pi = 3,143$	v= volumen A= altura	n= número de muestras

Fuente: Ibicenca, 2017

En la tabla 4.11, se detallan los datos tomados de la (figura 4.11), para los parámetros físicos en la variación del tipo de levadura en el pan común para el ensayo 3.

Tabla 4.11

Datos de los parámetros físicos del pan común para el ensayo 3

Tipo de levadura	Muestra	Peso unidad de pan horneado (g)	Diámetro de pan (cm)	Altura de pan (cm)	Radio (cm)	Base (cm)	Volumen (cm) ³
Levadura seca (Fleischmann)	PS2	50,80	7,45	4,25	3,73	43,57	185,17
		50,20	7,52	4,50	3,76	44,39	199,76
		48,68	7,40	4,03	3,70	42,99	173,24
		50,39	7,00	4,10	3,95	48,99	200,87
		48,21	7,70	4,14	3,85	46,54	192,69
		51,15	8,07	4,34	4,03	51,12	221,87
		50,97	7,61	4,05	3,80	45,46	184,12
		49,49	7,82	4,04	3,91	48,00	193,94
	PS3	50,97	7,55	4,21	3,77	44,75	188,38
		50,48	7,61	4,02	3,80	45,46	182,75
		50,97	7,40	4,15	3,70	42,99	178,39
		50,26	7,45	4,02	3,72	43,57	175,15
		50,69	7,26	4,39	3,63	41,38	181,64
		50,84	7,50	4,10	3,75	44,16	181,04
		51,35	7,42	4,33	3,71	43,22	187,14
		51,00	7,27	4,22	3,63	41,49	175,09
	PS4	50,86	7,41	4,25	3,70	43,10	183,19
		52,28	7,21	4,15	3,60	40,81	169,35
		51,68	7,31	4,01	3,65	41,95	168,21
		51,51	7,47	4,04	3,73	43,80	176,97
		51,29	7,50	4,21	3,70	44,16	185,90
		52,30	7,33	4,15	3,66	42,18	175,04
		52,52	7,43	4,21	3,71	43,34	182,44
		51,07	7,56	4,27	3,78	44,87	191,58
Levadura instantánea (Fermipan)	PI2	49,29	7,23	3,76	3,61	41,03	154,29
		47,65	7,72	4,60	3,86	46,78	215,21
		49,33	8,02	4,72	4,01	50,49	238,32
		49,66	7,95	4,53	3,97	49,61	224,75
		49,14	7,84	4,07	3,92	48,25	196,38
		49,01	7,87	4,31	3,93	48,62	209,55
		49,19	8,02	4,47	4,01	50,49	225,70
		49,13	7,97	4,61	3,98	49,86	229,87
	PI3	49,54	7,50	4,98	3,70	44,16	219,90
		49,28	7,30	4,85	3,60	41,83	202,89
		49,49	7,71	4,92	3,85	46,66	229,59
		48,51	7,72	4,62	3,86	46,78	216,15
		48,59	7,27	4,24	3,63	41,49	175,92
		49,79	7,42	4,50	3,71	43,22	194,49
		49,77	7,37	4,93	3,68	42,64	210,21
		49,84	7,75	4,70	3,87	47,15	221,60
	PI4	48,41	8,24	4,64	4,12	53,30	247,31
		50,02	7,66	4,71	3,83	46,06	216,94
		49,84	7,96	4,90	3,98	49,74	243,72
		48,14	7,80	4,57	3,90	47,76	218,26
		49,34	8,04	4,80	4,02	50,74	243,57
		48,53	7,96	4,40	3,98	49,74	218,85
		46,49	7,95	4,65	3,97	49,61	230,70
		49,21	8,00	5,13	4,00	50,24	257,73

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.11, se puede observar los resultados de los parámetros físicos obtenidos mediante los cálculos realizados con las ecuaciones de la tabla 4.10. Así mismo se realiza el análisis de los promedios en los parámetros físicos de la variación del tipo de levadura, que se detallan en la tabla 4.12.

Tabla 4.12

Promedios de los resultados de la variación de dosificación de levadura

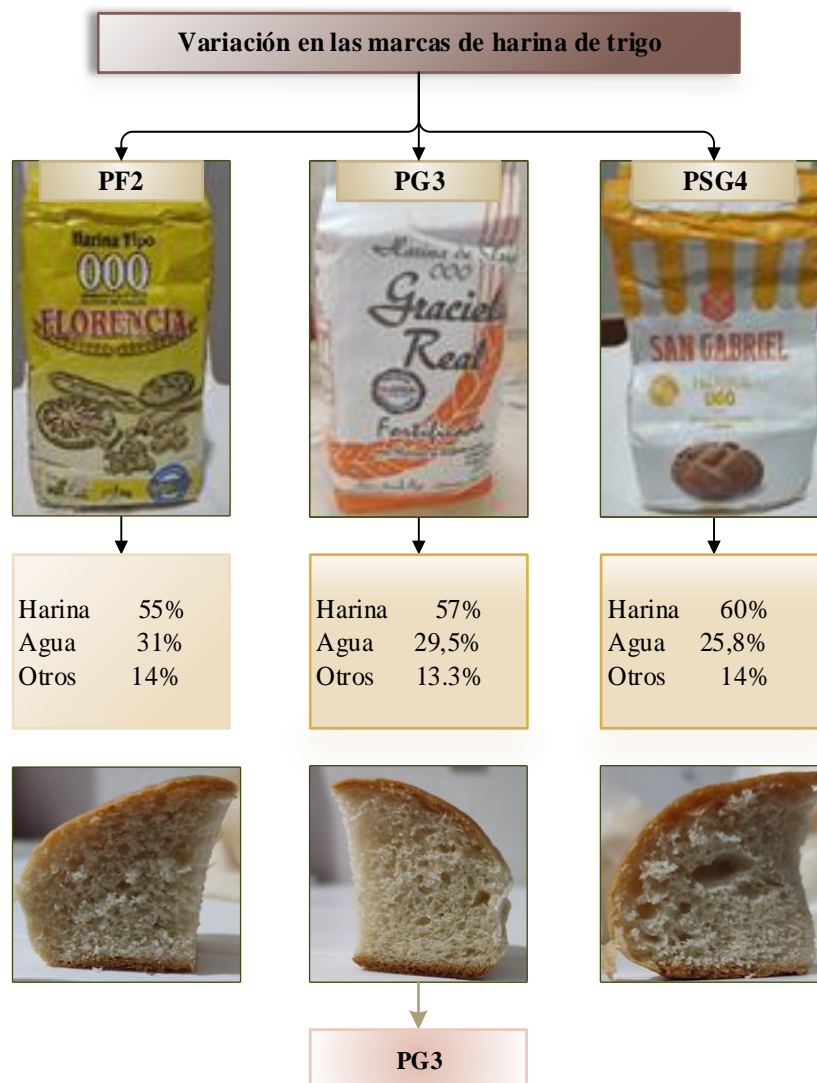
Tipo de levadura	Muestra	Peso de pan horneado (g)	Diámetro de pan (cm)	Altura de pan (cm)	Radio (cm)	Base (cm)	Volumen (cm ³)
Levadura seca (Fleischmann)	PS2	50,0	7,7	4,2	3,8	46,4	194,0
	PS3	50,8	7,4	4,2	3,7	43,4	181,2
	PS4	51,7	7,4	4,2	3,7	43,0	179,1
Levadura instantánea (Fermipan)	PI2	49,1	7,8	4,4	3,9	48,1	211,8
	PI3	49,4	7,5	4,7	3,8	44,2	208,8
	PI4	48,7	8,0	4,7	4,0	49,6	234,6

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.12, se puede observar los promedios obtenidos del análisis físico del pan común en las seis muestras, que indica que las tres muestras a base de la levadura instantánea (Fermipan) PI2, PI3 y PI4 ocupan un mayor volumen y altura, dando una apariencia no tan agradable; en comparación de las tres muestras a base de la levadura seca (Fleischman) PS2, PS3 y PS4 que ocupan menor volumen y altura, pero con una apariencia agradable. Por lo tanto, según las valoraciones en las observaciones de los jueces se determina mayor afinidad por las muestras PS2, PS3 y PS4. Así mismo, la levadura seleccionada fue de la marca Fleishmann.

4.2.5 Pruebas preliminares para la selección de marca de harina de trigo del pan común para el ensayo 4

Para realizar la dosificación en el ensayo 4, se tomaron en cuenta las tres muestras PS2, PS3 y PS4, y se las recodificaron como muestras PF2, PG3, PSG4, donde se realiza la variación con la dosificación de tres marcas de harina de trigo (Florencia, Graciela y san Gabriel) con el fin de observar si existe diferencia en cuanto a color, sabor, textura, corteza, formación de miga en el pan común del ensayo 4.



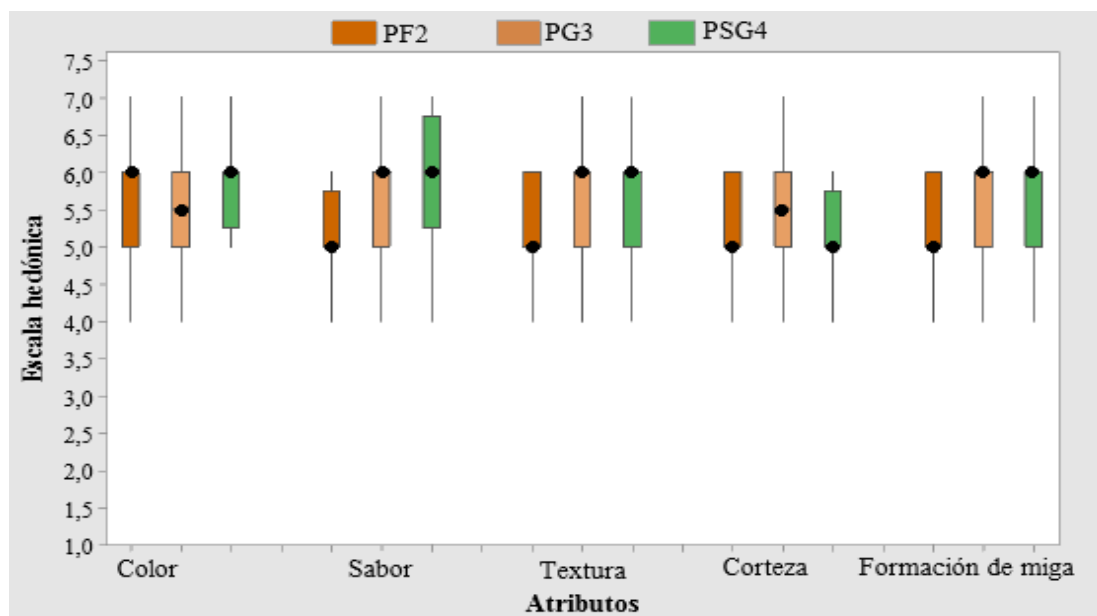
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.12 Variación en las marcas de harina de trigo del pan común para el ensayo 4

De acuerdo a la formulación de la figura 4.12, se realiza una evaluación sensorial con jueces no entrenados mediante una escala hedónica de siete puntos valorando los atributos; color, sabor, textura, corteza y formación de miga, con el fin de seleccionar una marca de harina de trigo.

4.2.5.1 Estadístico de caja y bigote del pan común para el ensayo 4

En la figura 4.13, se muestra el estadístico de caja y bigote, datos extraídos del Anexo D, para los atributos color (tabla D.20), sabor (tabla D.22), textura (tabla D.24), corteza (tabla D.28) y formación de miga (tabla D.26).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.13 Caja y bigote del pan común para el ensayo 4

En la figura 4.13, se puede observar que los resultados de las medianas en función a los atributos de las muestras evaluadas son: color 6,0 (PSG4), sabor 6,0 (PG3-PSG4), textura 6,0 (PG3-PSG4), corteza 5,5 (PG3) y formación de la miga 6 (PG3-PSG4). Así mismo se realizó el análisis estadístico de varianza para cada atributo (Anexo D) y se pudo evidenciar que no existe diferencia significativa entre las muestras evaluadas para un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

Realizadas las pruebas preliminares de pan común, se determina que la preferencia de los jueces es por las muestras PG3 y PSG4, de manera que se selecciona la muestra PG3 elaborada a base de la harina de trigo de la marca Graciela, considerada por su valor nutricional en su composición por el contenido de hierro y calcio (Anexo A.1).

En la tabla 4.13, se detalla los parámetros del proceso que se controla en la muestra preliminar PG3.

Tabla 4.13

Parámetros controlados del pan común para el ensayo 4

Datos de preparación	Tiempo (min)	Temperatura (°C)
Mezclado	2	30
Activación de levadura seca	8	38
Amasado	10	25
Primera fermentación	30	35 - 40
Segunda fermentación	30	35 - 40
Horneado	28	160

Fuente: Elaboración propia

4.2.6 Pruebas preliminares incorporando harina de quinua para el ensayo 5

A nivel experimental, se realiza la incorporación de harina de quinua blanca, en la muestra de pan común PG3 en base a la elección de los jueces, con la finalidad de establecer el porcentaje máximo y mínimo que se podría incorporar la harina de quinua blanca, sustituyendo de forma parcial la harina de trigo de marca Graciela, como se muestra en la tabla 4.10.

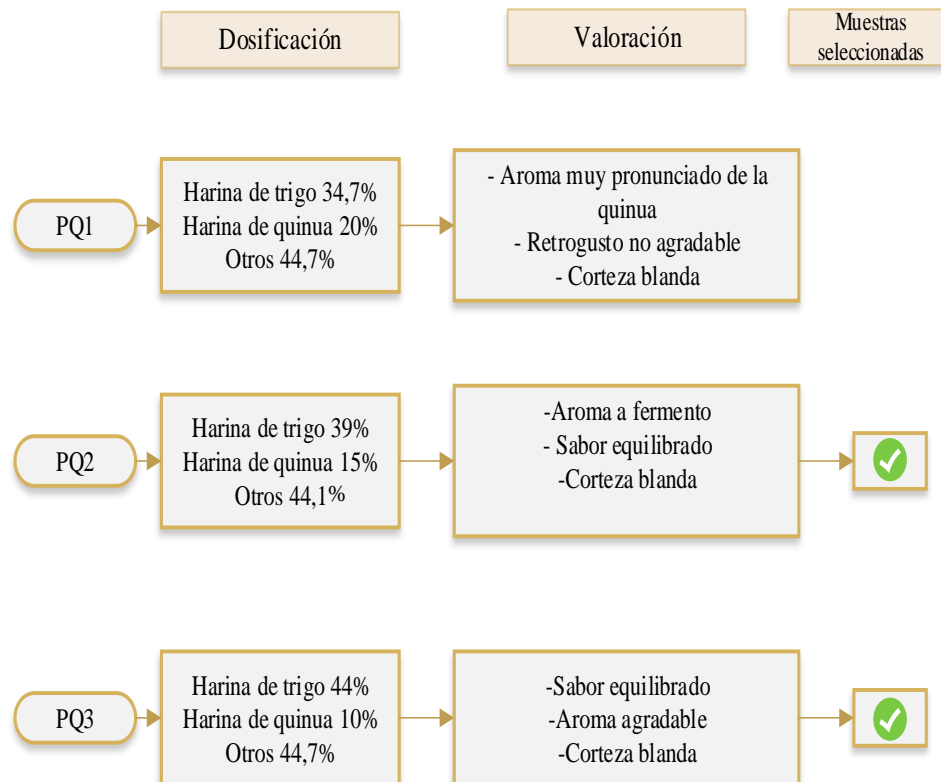
Tabla 4.14

Variación en la dosificación incorporando harina de quinua para el ensayo 5

Harinas	Rangos	Unidad
Quinua blanca	20,0 – 8,0	%
Trigo (Graciela)	42,4 – 34,7	%

Fuente: Elaboración propia

En base a los datos de la tabla 4.14, se realiza la formulación en la muestra PG3 recodificada como muestras PQ1, PQ2, PQ3 variando la dosificación de harina de trigo Graciela y de quinua blanca, con el fin de elevar su valor nutricional. Formulaciones que se detallan en la figura 4.14.

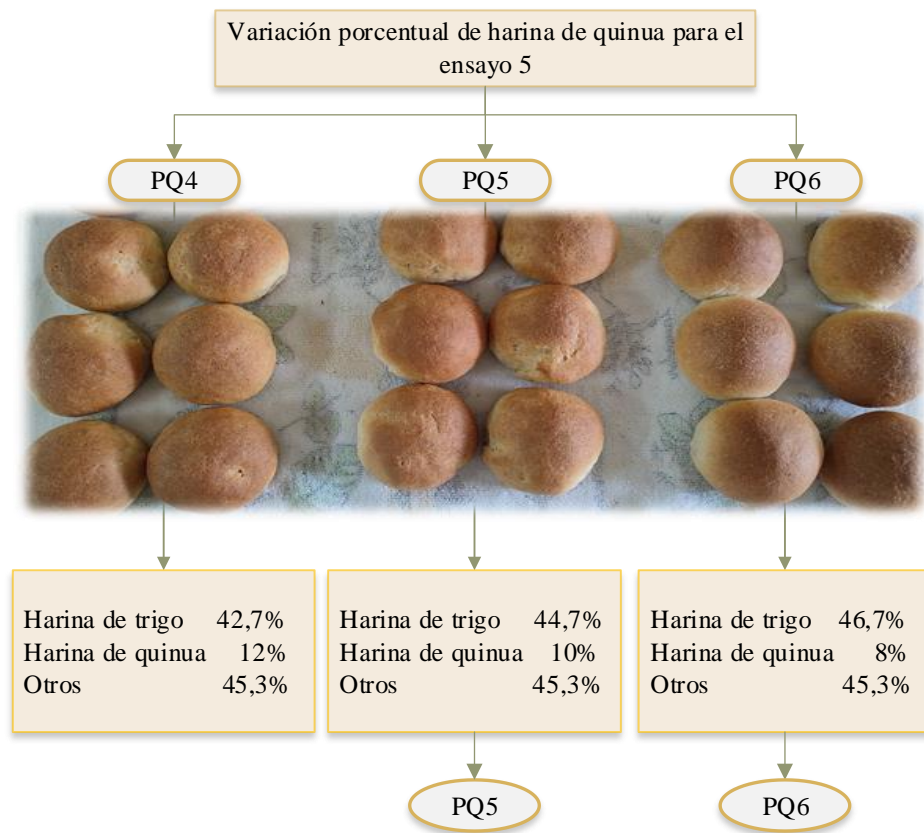


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.14 Dosificación y valoración para el ensayo 5

En base a la valoración que se muestra en la figura 4.14, realizada por el personal del Laboratorio Taller de Alimentos, se observa que la muestra PQ3 (harina de quinua blanca 10%) es la más aceptada por presentar corteza blanda, sabor agradable, aceptabilidad con la presencia de aroma y sabor residual de la harina de quinua. En comparación de las muestras PQ1 (harina de quinua blanca 20%), PQ2 (harina de quinua blanca 15%) que presenta sabor y aroma residual muy pronunciado por el alto contenido de harina de quinua blanca.

Continuando en base a los datos de la tabla 4.14, y los resultados de la figura 4.14, se recodifica como muestras PQ4, PQ5, PQ6 disminuyendo la variación porcentual de la harina de quinua blanca, como se detalla en la figura 4.15.



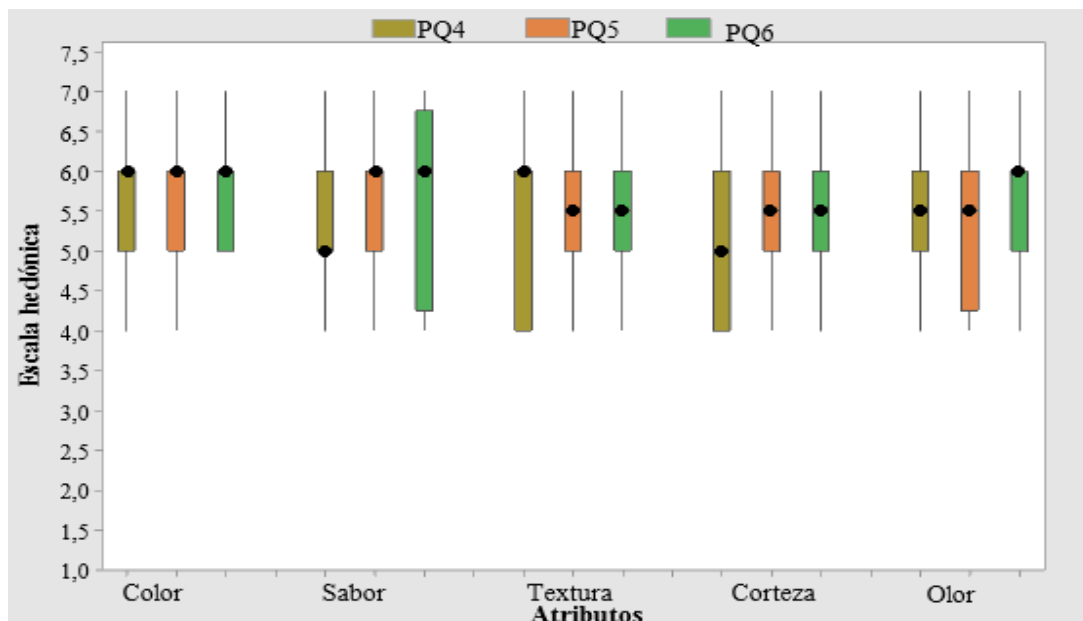
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.15 Variación porcentual de harina de quinua para ensayo 5

Según la figura 4.15, las muestras PQ4 (harina de quinua 12%), PQ5 (harina de quinua 10%), PQ6 (harina de quinua 8%), fueron sometidas a una evaluación sensorial a una escala hedónica de siete puntos en la que se evaluaron los atributos: color, sabor, olor, textura y corteza por jueces no entrenados.

4.2.6.1 Estadístico caja y bigote para el ensayo 5

La figura 4.16, muestra el estadístico de caja y bigote, datos extraídos del Anexo D para los atributos de color (tabla D.30), sabor (tabla D.32), textura (tabla D.36), corteza (tabla D.38) y olor (tabla D.34).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.16 Caja y bigote incorporando harina de quinua blanca para el ensayo 5

Según la figura 4.16, se puede observar los resultados de las medianas en función de los atributos de las muestras evaluadas son: color 6,0 (PQ6), sabor 6,0 (PQ5), olor 6,0 (PQ6), textura 5,5 (PQ5-PQ6) y corteza 5,5 (PQ5-PQ6). Así mismo realizando el estadístico de varianza para los atributos (Anexo D) no existe diferencia significativa entre las muestras para un nivel de significancia $\alpha=0,05$. En base a las observaciones realizadas por los jueces manifestaron preferencia por la muestra por las muestras PQ5 y PQ6 por presentar mejor olor, sabor, textura y corteza.

4.2.7 Pruebas preliminares incorporando leche para el ensayo 6

A nivel experimental, se modifica la formulación de las muestras seleccionadas (PQ5 y PQ6) incorporando leche (en polvo y líquida), para tal efecto, se realizan pruebas variando la dosificación de leche, harina de quinua blanca y de trigo, con la finalidad de establecer el porcentaje máximo y mínimo que podría ser incorporada. La variación en la dosificación de leche para el ensayo 6 se muestra en la tabla 4.15.

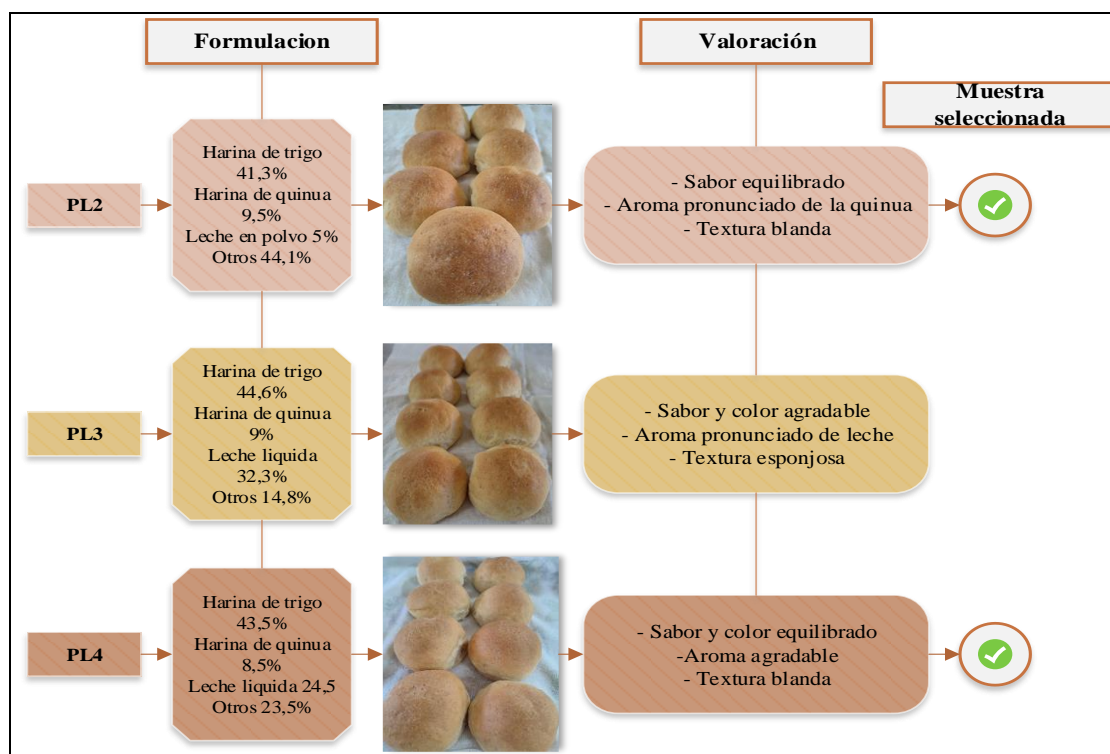
Tabla 4.15

Variación en la dosificación de leche líquida y en polvo para el ensayo 6

Insumo	Rango	Unidad
Leche líquida	32,0 – 24,5	%
Leche en polvo	8,0 – 5,0	%

Fuente: Elaboración propia

Para obtener el pan especial de leche se realiza las formulaciones en base a los datos de la tabla 4.15, obteniendo tres muestras que se indica en la figura 4.17, variando la dosificación de leche líquida y en polvo. Se procede a realizar una valoración subjetiva, por el personal (jueces no entrenados) del Laboratorio Taller de Alimentos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.17 Incorporación porcentual y valoración de leche para el ensayo 6

Según la figura 4.17, se puede observar que las muestras valoradas como ser: PL2 que contiene leche en polvo (5 %) y harina de quinua (9,5%) es preferida por su sabor. En comparación con la muestra PL3 que contiene leche líquida (32,3%) acentuando su aroma de leche en el retrogusto, resultando para algunos no tan agradable. Así mismo

la muestra PL4 (24,5%) fue preferida por su sabor y formación de miga agradable. Resultando, así como muestras seleccionadas la muestra PL2 y la muestra PL4.

4.2.8 Selección del tipo de leche y muestra final para el ensayo 7

De las muestras PL2 y PL4 se modifican las dosificaciones y fueron recodificadas como muestra PL5 (leche líquida) y PL6 (leche en polvo) obteniendo la siguiente formulación que se detalla en la figura 4.18. Con la finalidad de obtener un pan especial de leche enriquecido con harina de quinua.



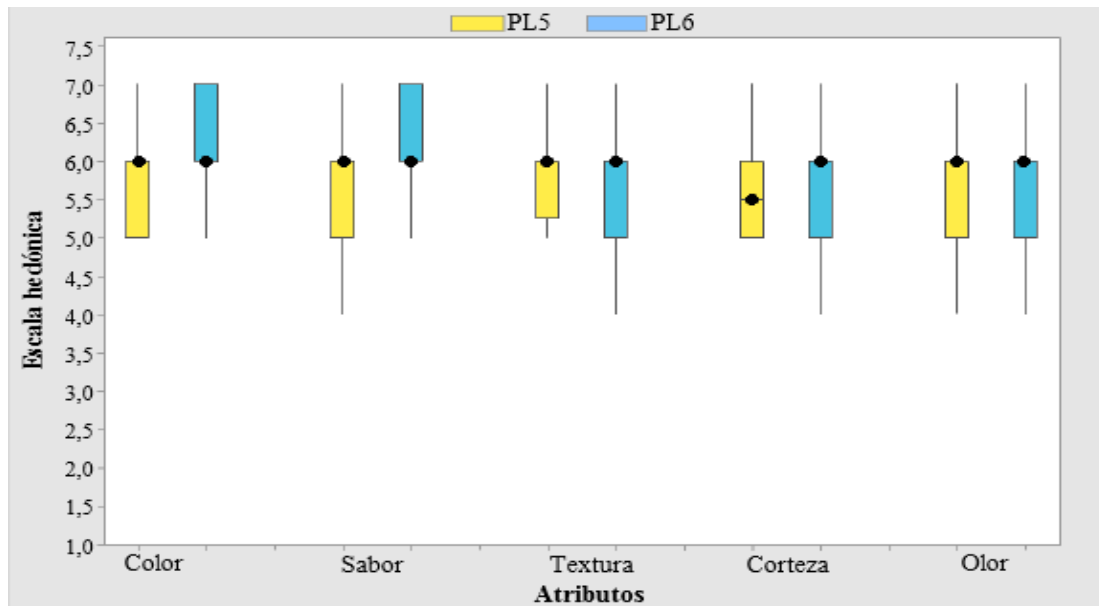
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.18 Selección del tipo de leche para el ensayo 7

En base a las muestras de la figura 4.18 se procede a realizar una evaluación sensorial para seleccionar el tipo de leche (líquida y en polvo) a utilizar, para tal efecto se considera 20 jueces no entrenados en la evaluación sensorial con escala hedónica de siete puntos, para evaluar los atributos: color, sabor, textura, olor, corteza.

4.2.8.1 Estadístico caja y bigote para seleccionar el tipo de leche para el ensayo 7

La figura 4.19, muestra el estadístico de caja y bigote, datos extraídos del Anexo D para los atributos color (tabla D.40), sabor (tabla D.42), textura (tabla D.45), olor (tabla D.44) y corteza (tabla D.47).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.19 Caja y bigote para la selección del tipo de leche para el ensayo 7

Según la figura 4.19, se puede observar los resultados de las medianas en función a los atributos de las muestras evaluadas son: color 6,0 (PL6), sabor 6,0 (PL6), textura 6,0 (PL5), corteza 6,0 (PL6), olor 6,0 (PL5 – PL6). Así mismo realizando el análisis estadístico de varianza (Anexo D), se pudo evidenciar que existe diferencia significativa en el atributo sabor de las muestras evaluadas para un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

4.2.8.1.1 Estadístico de Tukey del atributo sabor para el ensayo 7

La tabla 4.16, muestra los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo sabor de datos extraídos del Anexo D (tabla D.21).

Tabla 4.16*Estadístico Tukey del atributo sabor para el ensayo 7*

Factor	N	Mediana	Agrupación	
Sabor PL6	20	6,15	A	
Sabor PL5	20	5,60		B

Fuente: Elaboración propia

Según datos de la tabla 4.16, se puede observar que entre las muestras PL5 y PL6 existe diferencia significativa en cuanto al atributo sabor, observando que existe mayor preferencia por la muestra PL6 con una mediana de 6,0, para un nivel de significancia $\alpha=0,05$. Realizadas las pruebas para la selección del tipo de leche se determina que la preferencia de los jueces es por la muestra PL6, recodificada como MPL (tabla 4.17) obteniendo de esa manera la muestra ideal del pan especial de leche enriquecido con harina de quinua para entrar al diseño.

Tabla 4.17*Dosificación y parámetros de proceso de la muestra ideal del pan especial*

Materia prima e insumos	Dosificación %	Datos de preparación	Tiempo (min)	Temperatura (°C)
Harina de trigo Graciela	42,40	Activación de levadura seca	8	38
Harina de quinua blanca	8,50	Mezclado	2	30
Leche en polvo	5,00	Amasado	10	25
Agua	28,70	Primera fermentación	30	35 - 40
Otros	14,40	Segunda fermentación	30	35 - 40
		Horneado	28	160

Fuente: Elaboración propia

4.2.8.2 Control fisicoquímico en la selección de la muestra ideal para el ensayo 7

La tabla 4.18, muestra los resultados obtenidos de pH, acidez % (ácido láctico) y contenido de humedad (%) de las muestras PL5 y PL6 utilizando las técnicas que se detallan en el Anexo C; con la finalidad de complementar los valores del pan especial de leche enriquecido con harina de quinua.

Tabla 4.18*Variación de los parámetros fisicoquímicos para el ensayo 7*

Parámetros	Muestras	
	PL5	PL6
pH	6,11	6,08
Acidez (ácido láctico %)	0,21	0,23
Humedad (%)	24,89	23,06

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.18, se observa que la muestra PL5 tiene un pH de 6,11, acidez (ácido láctico) del 0,21% y un contenido de humedad del 24,89%. La muestra PL6 presento un pH de 6,08, acidez (ácido láctico) del 0,23% y contenido de humedad del 23,06%. De manera que se corrobora que existe una leve diferencia de los parámetros fisicoquímicos entre ambas muestras.

4.2.9 Dosificaciones realizadas al diseño factorial 2³ en la etapa de dosificación para la elaboración del pan especial

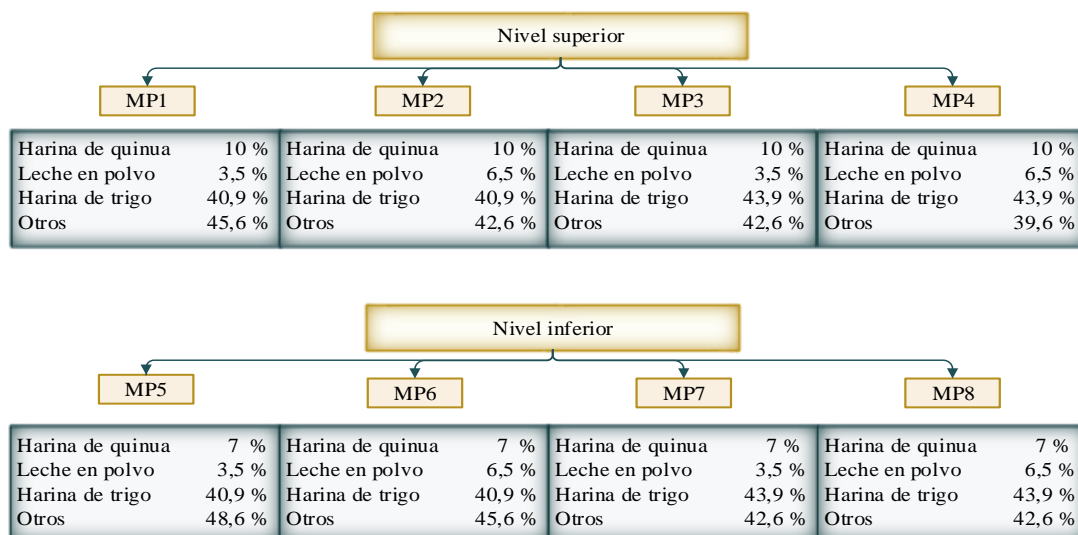
Para realizar el diseño de dosificación en el pan especial se toma en cuenta la muestra MPL (tabla 4.17) y se procede a elaborar una mezcla de harinas (trigo – quinua blanca) variando los porcentajes en la dosificación, sustituyendo en cierta parte la cantidad de harina de trigo que se utiliza para elaborar el pan especial en función de la tabla 4.19.

Tabla 4.19*Variación en la dosificación del pan especial de leche enriquecido con harina de quinua*

Dosificación	Unidad	Rango
Harina de trigo Graciela	%	40,9 – 43,9
Harina de quinua blanca	%	7,0 – 10,0
Leche en polvo	%	3,5 – 6,5

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.20, se muestran las formulaciones de las ocho muestras de pan especial elaboradas en función a los porcentajes de dosificación de la tabla 4.19.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.20 Dosificación para el diseño experimental 2^3

En la figura 4.20, se muestra las dosificaciones que son usadas en el diseño experimental 2^3 , estas fueron divididas en dos grupos según la influencia que tenía el factor A (harina de quinua blanca) en el proceso de elaboración. En el primer grupo están las muestras MP1, MP2, MP3 y MP4, con mayor porcentaje (10%) de harina de quinua blanca y en el segundo grupo se encuentran las muestras MP5, MP6, MP7 y MP8 con menor porcentaje (7%) de harina de quinua blanca.

4.3 Diseño factorial 2^3 en la etapa de dosificación para la elaboración de pan especial

En base a la muestra ideal (MPL) se procede a realizar de manera experimental el diseño factorial en la etapa de dosificación para elaborar pan especial de leche enriquecido con harina de quinua, considerando como variables respuestas el contenido de humedad, pH y acidez (ácido láctico) y las variables independientes como se detalla en la tabla 3.1.

4.3.1 Variable respuesta de contenido de humedad en la etapa de dosificación

La tabla 4.20, muestra los resultados obtenidos del análisis de varianza del diseño experimental aplicado en la etapa de dosificación para la variable respuesta del contenido de humedad en base húmeda, para tal efecto se utiliza el programa estadístico

Statgraphics (Centurion XVL) para Windows y los resultados obtenidos se detallan en el Anexo E.3. Para la determinación del porcentaje de humedad se utiliza el método de termobalanza (Anexo C.3),

Tabla 4.20

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

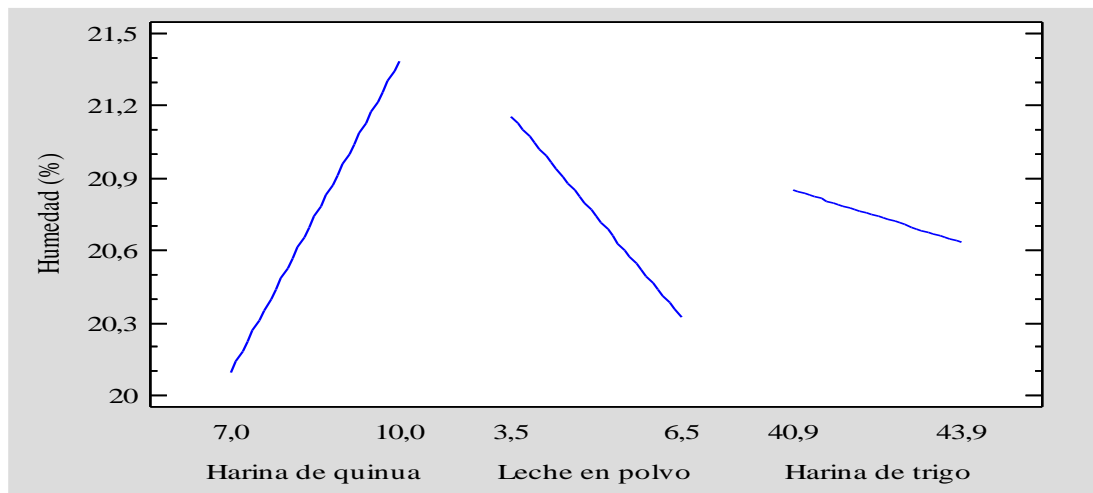
Fuente de Varianza (FV)	Suma de Cuadrados (SC)	Grados de Libertad (GL)	Cuadrado de Medio (CM)	Fcal	Ftab
Factor A	6,66	1	6,66	10,22	5,32*
Factor B	2,75	1	2,75	4,22	5,32
Factor C	0,18	1	0,18	0,29	5,32
Interacción AB	1,83	1	1,83	2,82	5,32
Interacción AC	0,00	1	0,00	0,00	5,32
Interacción BC	0,41	1	0,41	0,63	5,32
Interacción ABC	3,08	1	3,08	4,74	5,32
Error total	5,21	8	0,65		
Total	20,15	15			

Fuente: Elaboración propia

*Significativo

Según el análisis de varianza (tabla 4.16), se puede observar que, el factor B (leche en polvo), factor C (harina de trigo) e interacciones AB (harina de quinua – leche en polvo), AC (harina de quinua – harina de trigo), BC (leche en polvo – harina de trigo) y la interacción de los factores ABC (harina de quinua – leche en polvo – harina de trigo), no existe diferencia significativa ya que $F_{cal} < F_{tab}$, por tanto, se acepta la hipótesis planteada. Sin embargo, para el factor A (harina de quinua), existe una diferencia significativa, ya que $F_{cal} > F_{tab}$, por tanto, se rechaza la hipótesis planteada, indicando que el factor A (harina de quinua) tiene significancia en el proceso de elaboración de pan especial de leche enriquecido con harina de quinua para un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

En la figura 4.21, se muestran los efectos principales para los factores; A (harina de quinua), B (leche en polvo) y C (harina de trigo) con relación a la variable respuesta contenido de humedad (%).

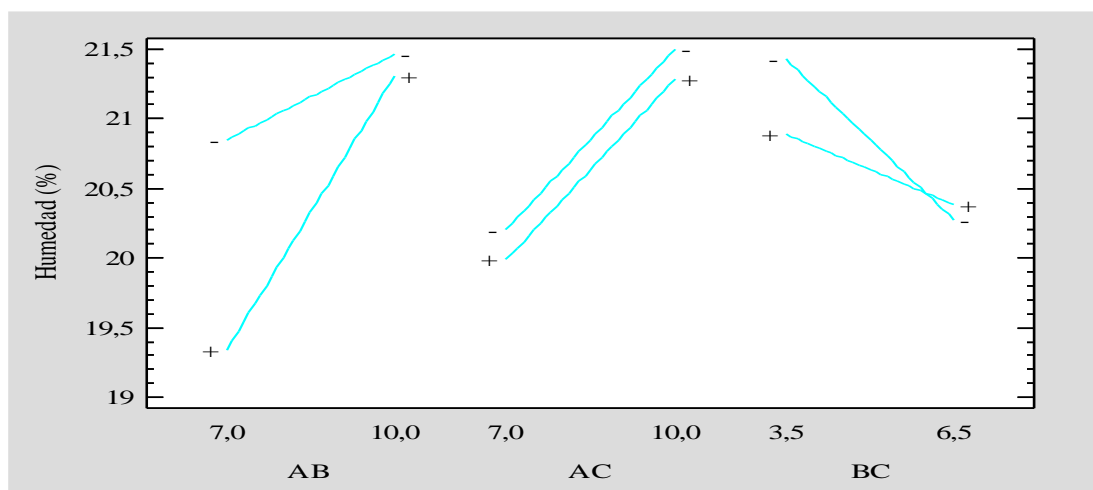


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.21 Efectos principales para el contenido de humedad (%)

Según la figura 4.21, se puede observar que el factor A (harina de quinua) influye significativamente sobre la variable respuesta contenido de humedad a medida que aumenta su porcentaje del 7% al 10%, a diferencia de los factores B (leche en polvo) y C (harina de trigo), ya que la variación entre los rangos de sus niveles (3,5 – 6,5) % y (40,9 – 43,9) %, no muestra un aumento significativo del contenido de humedad.

En la figura 4.22, se muestra la interacción para los factores: AB (harina de quinua – leche en polvo), AC (harina de quinua – harina de trigo), BC (leche en polvo – harina de trigo) en función de la variable respuesta contenido de humedad (%).

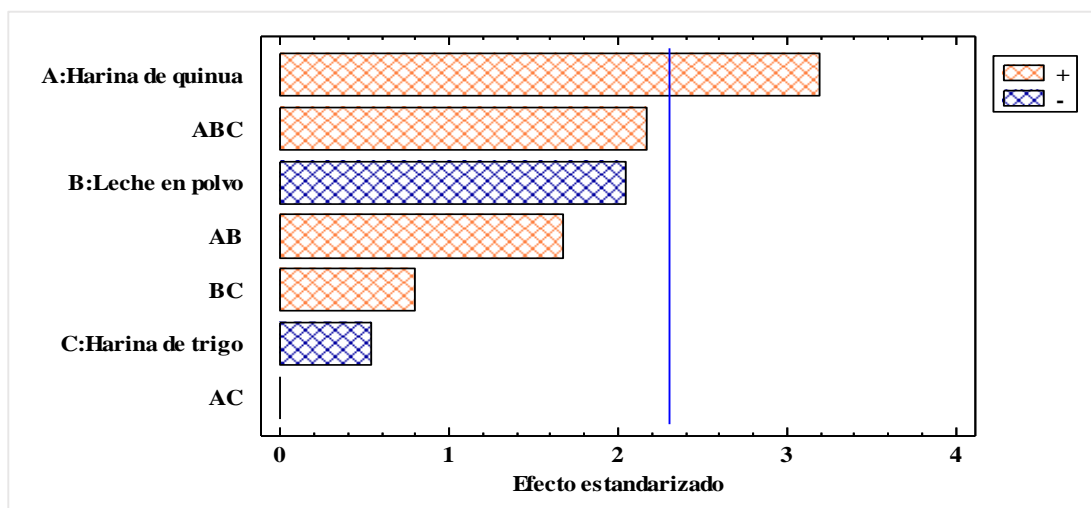


Fuente Elaboración propia

Figura 4.22 Interacción de factores para el contenido de humedad

Según la figura 4.22, se puede observar que el contenido de humedad para la interacción AB se ve más afectado por el factor A (harina de quinua) a un nivel alto (10%), con relación al factor B (leche en polvo) a un nivel alto y bajo (3,5 – 6,5) %, haciendo que la variación del contenido de humedad sea mucho más cuando el factor A (harina de quinua) se encuentre en su nivel alto. Mientras para el factor AC no se observa una interacción para un nivel alto de dosificación del factor A (harina de quinua) y el factor C (harina de trigo) a un nivel alto y bajo (40,9 – 43,9) %. En cambio, en la interacción BC se ve afectado a un nivel alto (6,5%) del factor B (leche en polvo) y un nivel alto (43,9) % del factor C (harina de trigo) existiendo una interacción entre los factores, es decir, el porcentaje de leche en polvo agregado según los niveles de variación de acuerdo con el diseño puede llegar a ser significativo en el contenido de humedad.

En la figura 4.23, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en el diseño factorial. Para tal efecto, el nivel de significancia de los factores e interacciones se determinan con la línea vertical de referencia (2,306) indican que son significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.23 Diagrama de Pareto estandarizado para contenido de humedad

Según la figura 4.23, se puede observar que el factor A (harina de quinua) sobrepasa la línea de referencia, por tanto, es estadísticamente significativo para un nivel de

significancia $\alpha = 0,05$; en comparación a los factores B (leche en polvo), C (harina de trigo) y las interacciones AB (harina de quinua – leche en polvo), AC (harina de quinua – harina de trigo), BC (leche en polvo – harina de trigo) y ABC (harina de quinua – leche en polvo – harina de trigo) que no son estadísticamente significativos, ya que no exceden la línea de referencia.

4.3.2 Variable respuesta pH de en la etapa de dosificación de pan especial

La tabla 4.21, los resultados obtenidos del análisis de varianza del diseño experimental aplicado en la etapa de dosificación de la variable respuesta pH en el programa estadístico Statgraphics (Centurión XLVI) para Windows y los resultados obtenidos se detallan en el Anexo E.2. Para la determinación se utiliza la norma que se expresa en el Anexo C.1.

Tabla 4.21

Análisis de varianza en función a la variable respuesta pH

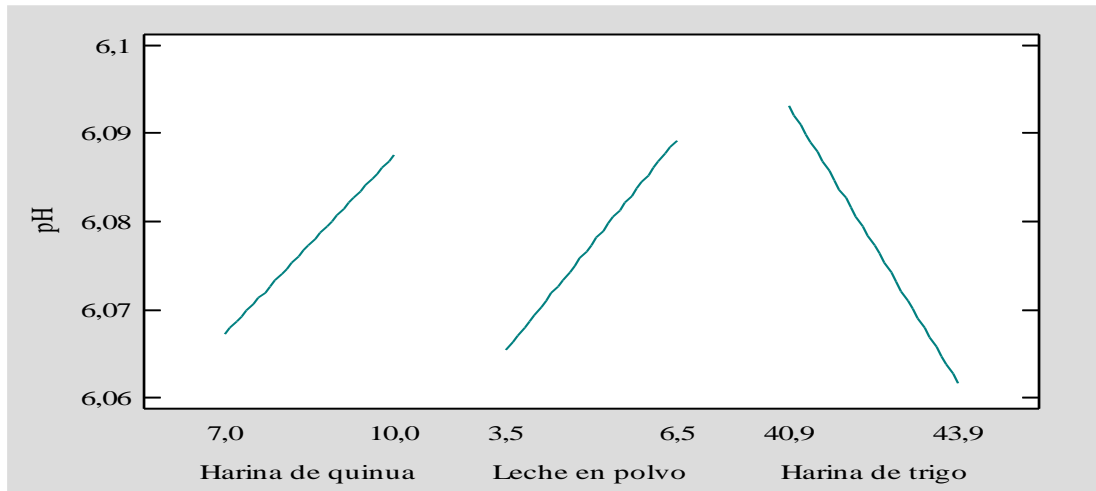
Fuente de Varianza (FV)	Suma de Cuadrados (SC)	Grados de Libertad (GL)	Cuadrado de Medio (CM)	Fcal	Ftab
Factor A	0,0016	1	0,0016	0,22	5,32
Factor B	0,0023	1	0,0023	0,30	5,32
Factor C	0,0039	1	0,0039	0,53	5,32
Interacción AB	0,0001	1	0,0001	0,02	5,32
Interacción AC	0,0207	1	0,0207	2,76	5,32
Interacción BC	0,0002	1	0,0002	0,03	5,32
Interacción ABC	0,0015	1	0,0015	0,20	5,32
Error total	0,0600	8	0,0075		
Total	0,0905	15			

Fuente: Elaboración propia

Según el análisis de varianza en la tabla 4.17, se observa que los factores (A, B y C) y en las interacciones (AB, AC, BC y ABC) no existe evidencia estadística de variación para los factores analizados en la etapa de dosificación en función a la variable repuesta pH; ya que $F_{cal} < F_{tab}$, por tanto, se acepta la hipótesis planteada indicando que el factor A (harina de quinua) influye pero no es significativa en el proceso de elaboración de

pan especial de leche enriquecido con harina de quinua para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

En la figura 4.24., se muestran los efectos principales para los factores; A (Harina de quinua), B (leche en polvo) y C (harina de trigo) con relación a la variable respuesta pH.

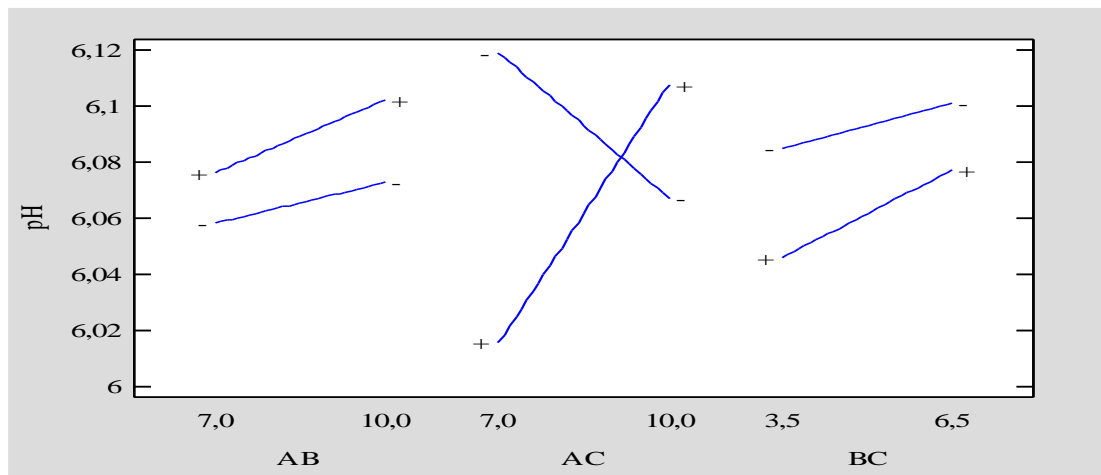


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.24 Efectos principales para pH

En la figura 4.24, se observa que el factor A (harina de quinua) entre valores (7 – 10)% y el factor B (leche en polvo) entre los valores (3,5 – 6,5)% no inciden significativamente en sus niveles alto y bajo; debido a que el efecto en la variación de pH es mínimo. Por otro lado, el factor C (Harina de trigo) entre valores (40,9 – 43,9)% influye pero no llega a ser significativo sobre la variable respuesta pH cuando se encuentre en su nivel alto y bajo.

En la figura 4.25, se muestran las interacciones para los factores: AB (Harina de quinua – leche en polvo), AC (Harina de quinua – Harina de trigo) y BC (leche en polvo – Harina de trigo), en función la variable respuesta pH.

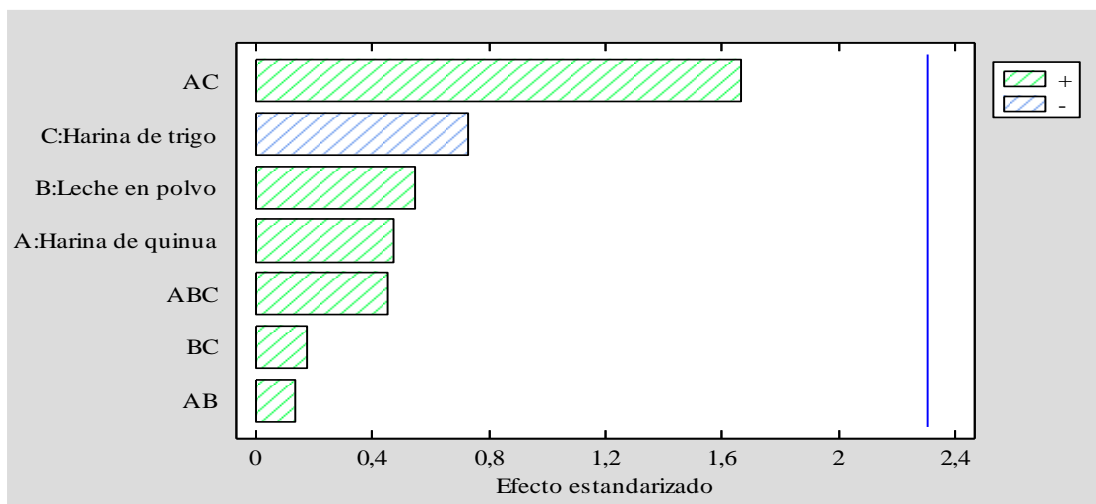


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.25 Interacción de factores para el pH

Según la figura 4.25, se puede observar que el valor de pH para la interacción AC se ve afectado cuando el porcentaje de harina de quinua se encuentra en su nivel alto y bajo entre valores de (7 – 10) %; es decir, el porcentaje de harina de quinua agregado según los niveles de variación de acuerdo con el diseño puede llegar a ser significativo haciendo que el pH disminuya o aumente en función al porcentaje del factor A (harina de quinua) que se adiciona a la masa. Así mismo, para a interacción BC la variación de pH tanto para el nivel bajo del factor B (leche en polvo) influye levemente en la variación de pH, sin embargo, para un nivel alto no se encuentra considerable variación. Por otro lado, en la interacción AB se puede observar que no existe intersección de manera que no influye significativamente en el pH.

En la figura 4.26, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en el diseño factorial. Para tal efecto, el nivel de significancia de los factores e interacciones se determina con la línea vertical de referencia con valor de (2,306) de tal manera si las barras graficadas exceden la línea de referencia indican que son significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.26 Diagrama de Pareto estandarizado para el pH

Según la figura 4.26, se observa los valores absolutos de los efectos estandarizados en forma decreciente; donde los factores: A (harina de quinua), B (leche en polvo), C (harina de trigo) e interacciones AB (harina de quinua – leche en polvo), AC (harina de quinua – harina de trigo), BC (leche en polvo – harina de trigo) y ABC (harina de quinua – leche en polvo – harina de trigo), no son estadísticamente significativos debido a que las barras de los factores no sobrepasan la línea vertical de referencia para un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

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

La tabla 4.22, indica los resultados obtenidos del análisis de varianza del diseño experimental aplicado en la etapa de dosificación de la variable respuesta de acidez (ácido láctico) datos obtenidos mediante el programa estadístico Statgraphics (Centurión XVLI) para Windows y los resultados obtenidos se detallan en el Anexo E.3. Para la determinación de acidez los resultados son expresados en porcentaje y se utiliza la norma que se expresa en el Anexo C.2.

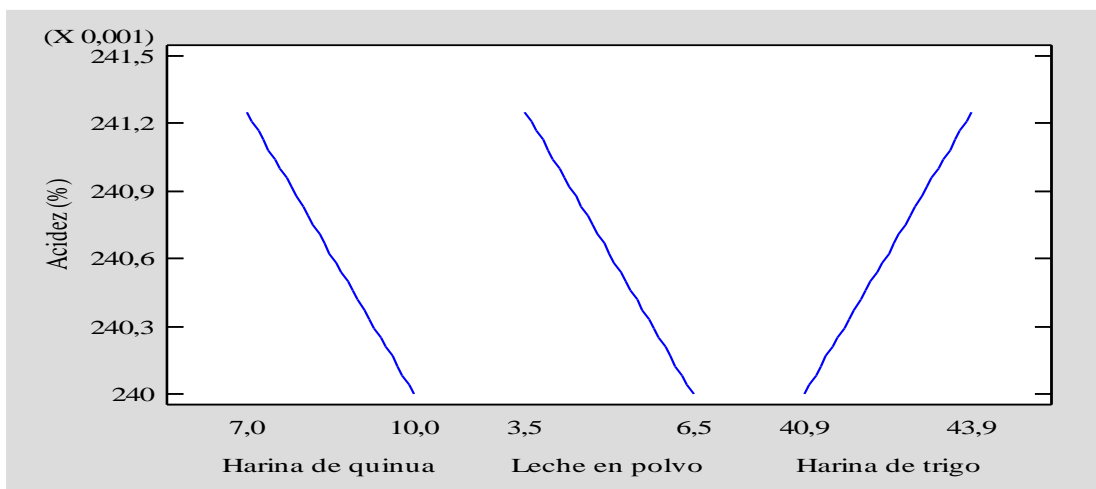
Tabla 4.22*Análisis de varianza en función a la variable respuesta de acidez (ácido láctico)*

Fuente de Varianza (FV)	Suma de Cuadrados (SC)	Grados de Libertad (GL)	Cuadrado de Medio (CM)	Fcal	Ftab
Factor A	6,25E-06	1	6,25E-06	0,03	5,32
Factor B	6,25E-06	1	6,25E-06	0,03	5,32
Factor C	6,25E-06	1	6,25E-06	0,03	5,32
Interacción AB	5,63E-05	1	5,63E-05	0,31	5,32
Interacción AC	5,06E-04	1	5,06E-04	2,79	5,32
Interacción BC	3,06E-04	1	3,06E-04	1,69	5,32
Interacción ABC	1,56E-04	1	1,56E-04	0,86	5,32
Error total	1,45E-03	8	1,81E-04		
Total	2,49E-03	15			

Fuente: Elaboración propia

Según el análisis de varianza en la tabla 4.18, se observa que los factores (A, B y C) y las interacciones (AB, AC, BC y ABC) no existe evidencia estadística de variación para los factores analizados en la etapa de dosificación en función a la variable respuesta acidez (ácido láctico); ya que $F_{cal} < F_{tab}$, por tanto, se acepta la hipótesis planteada indicando que el factor A (harina de quinua) influye pero no llega a ser significativa en el proceso de elaboración de pan especial de leche enriquecido con harina de quinua para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

En la figura 4.27, se muestran los efectos principales para los factores; A (Harina de quinua), B (leche en polvo) y C (harina de trigo) con relación a la variable respuesta acidez (ácido láctico).

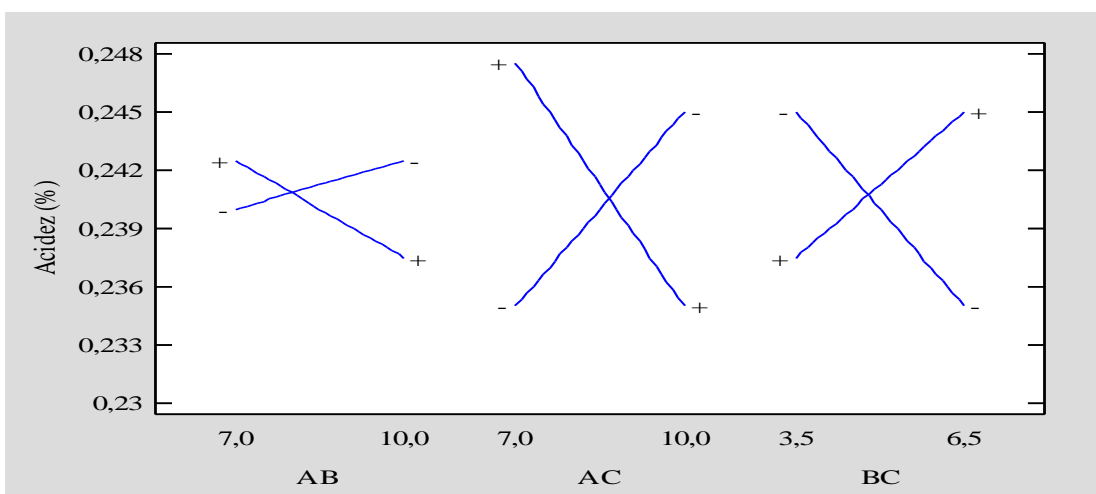


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.27 Efectos principales para acidez (ácido láctico)

Según la figura 4.27, se puede observar que el factor A (harina de quinua) y el factor B (leche en polvo) inciden significativamente sobre la variable respuesta acidez (ácido láctico) cuando estos se encuentran tanto en nivel bajo y alto (7 al 10) % y (3,5 al 6,5) %. En cambio, el factor C (harina de trigo) incide significativamente para un nivel alto y bajo (43,9 – 40,9) % sobre la variable respuesta acidez (ácido láctico).

En la figura 4.28, se muestran las interacciones para los factores: AB (Harina de quinua – leche en polvo), AC (Harina de quinua – Harina de trigo) y BC (leche en polvo – Harina de trigo), en función la variable respuesta acidez (ácido láctico).

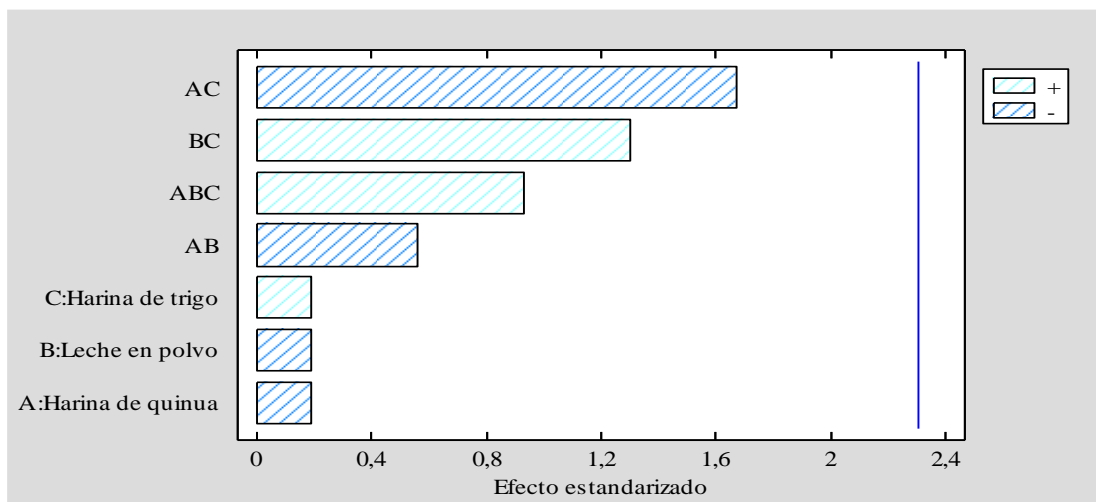


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.28 Interacción de factores para acidez (ácido láctico)

Según la figura 4.28, se puede observar que el valor de acidez (ácido láctico) para la interacción AB (harina de quinua – leche en polvo), AC (harina de quinua – harina de trigo) y BC (leche en polvo – harina de trigo) se ven afectadas ya que en las tres existe intersecciones de manera que incide significativamente en sus niveles bajos – altos del contenido de acidez (ácido láctico).

En la figura 4.29, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en el diseño factorial. Para tal efecto, el nivel de significancia de los factores e interacciones se determina con la línea vertical de referencia con valor de (2,306) de tal manera si las barras graficadas exceden la línea de referencia indican que son significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.29 Diagrama de Pareto estandarizado para acidez (ácido láctico)

Según la figura 4.29, se observa los valores absolutos de los efectos estandarizados estandarizado para los factores analizados en el diseño factorial; donde los factores: A (harina de quinua), B (leche en polvo), C (harina de trigo) e interacciones AB (harina de quinua – leche en polvo), AC (harina de quinua – harina de trigo), BC (leche en polvo – harina de trigo) y ABC (harina de quinua – leche en polvo – harina de trigo), no son estadísticamente significativos debido a que las barras de los factores no sobrepasan la línea vertical de referencia para un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

4.4 Control de los parámetros fisicoquímicos del pan especial para el factor harina de quinua

Para realizar el control de los parámetros fisicoquímicos en la etapa experimental del pan especial, se toma en cuenta la combinación de las cuatro muestras del nivel superior (10%) y cuatro muestras del nivel inferior (7%) del porcentaje de harina de quinua, como se detalla en la tabla 4.23.

Tabla 4.23

Combinación del nivel superior e inferior en función al factor harina de quinua

Nivel superior			Nivel inferior		
Combinación	Factor A	Muestras	Combinación	Factor A	Muestras
	Harina de quinua (%)			Harina de quinua (%)	
a	10	MPI	(1)	7	MP5
ab	10	MP2	b	7	MP6
ac	10	MP3	c	7	MP7
abc	10	MP4	bc	7	MP8

Fuente: Elaboración propia

En base a las muestras de la tabla 4.23, se procede a realizar la determinación de los valores de contenido humedad (%) (Anexo C.3), pH (Anexo C.1) y acidez (ácido láctico) (Anexo C.2), realizando el análisis en la masa húmeda, masa fermentada y en el pan especial horneado, como se detalla a continuación:

4.4.1 Control de contenido de humedad para el nivel superior del factor harina de quinua

En la tabla 4.24, se muestran los resultados obtenidos del contenido de humedad (%) del nivel superior (tabla 4.23) datos extraídos del Anexo F.1.

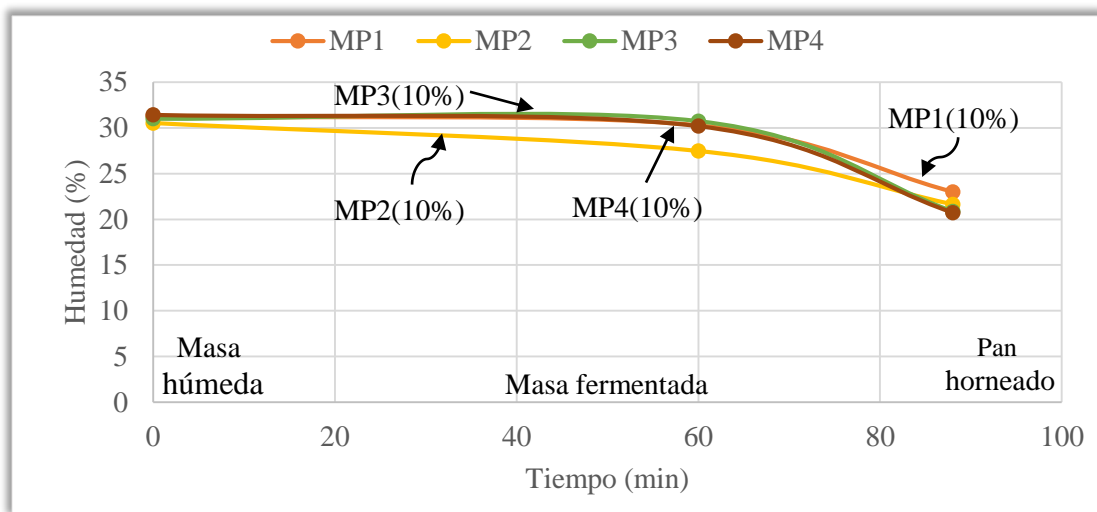
Tabla 4.24

Variación de contenido de humedad para nivel superior

Parámetros de control	Tiempo (min)	Muestras			
		MP1	MP2	MP3	MP4
		(%)	(%)	(%)	(%)
Masa húmeda	0	31,28	30,52	30,99	31,42
Masa fermentada	60	30,29	27,46	30,73	30,19
Pan especial	88	23,01	21,63	20,87	20,73

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.30 se muestra los resultados del contenido de humedad (%) en el nivel superior en base a las muestras realizadas en la tabla 4.24.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.30 Control de contenido de humedad (%) para el nivel superior

Según la figura 4.30, se puede observar que la masa húmeda de las muestras MP4 (31,42%), MP1 (31,28%) y MP3 (30,99%) presentan mayor contenido de humedad, en comparación de la muestra MP2 (30,52%), sin embargo, transcurrido el tiempo de fermentación de las masas (60 min) presenta un valor de 30,73% (MP3), 30,29% (MP1), 30,19 (MP4) y 27,46 (MP2). Finalizando el proceso en el horneado por 28 min se ve que disminuye el contenido de humedad presentando un valor de 20,73% (MP4) y 20,87% (MP3) seguidas por las muestras 21,63% (MP1) y 23,01% (MP2). Por lo tanto, gráficamente se observa que el factor A (harina de quinua) en su valor alto influye en el contenido de humedad (%) del pan especial.

4.4.2 Control de contenido de humedad para el nivel inferior del factor harina de quinua

En la tabla 4.25, se muestra los resultados obtenidos del contenido de humedad (%) del nivel inferior (tabla 4.23) datos extraídos del Anexo F.2.

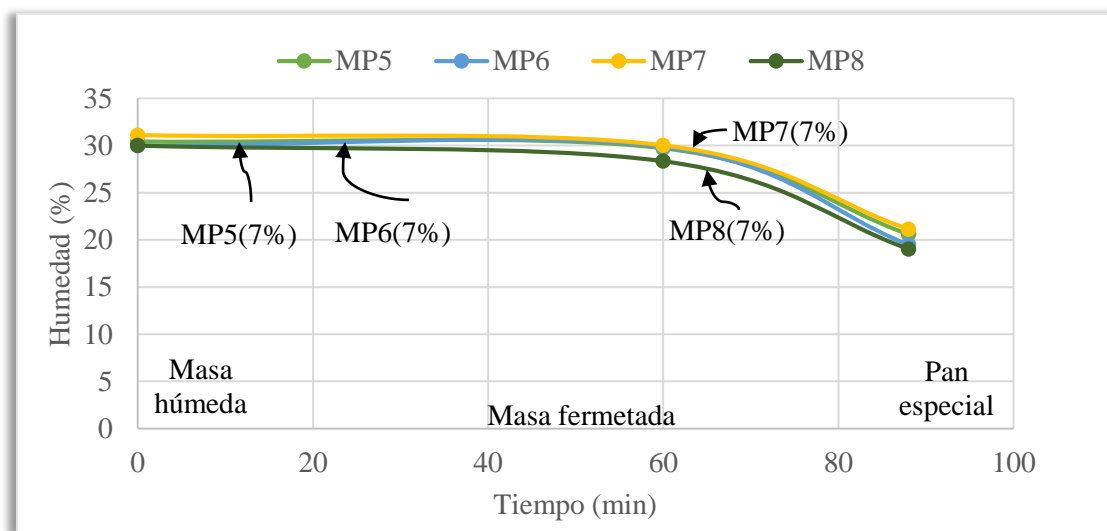
Tabla 4.25

Variación del contenido de humedad para nivel inferior

Parámetros de control	Tiempo (min)	Muestras			
		MP5	MP6	MP7	MP8
		(%)	(%)	(%)	(%)
Masa húmeda	0	30,43	29,98	31,10	30,01
Masa fermentada	60	29,71	29,84	30,02	28,35
Pan especial	88	20,59	19,49	21,13	19,03

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.31 se muestra los resultados del contenido de humedad (%) en el nivel inferior en base a las muestras realizadas en la tabla 4.25.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.31 Control de contenido de humedad (%) para el nivel inferior

Según la figura 4.31, se puede observar que la masa húmeda de las muestras MP7 (31,01%), MP5 (30,43%), MP8 (30,01%) y MP6 (29,98%) presentan una leve diferencia en el contenido de humedad, sin embargo, transcurrido el tiempo de fermentación de las masas (60) min, presentan un valor de 30,02% (MP7), 29,84% (MP6), 29,71% (MP5) y 28,35% (MP8). Finalizando el proceso del horneado por 28 min se ve que disminuye el contenido de humedad presentando un valor de 19,03% (MP8) y 19,49% (MP6) seguidas por las muestras 21,13% (MP7) y 20,59% (MP5). Por lo tanto, gráficamente se observa que el factor harina de quinua (A) en su valor bajo

influye en el análisis de la masa húmeda y fermentada, mas no influye significativamente en el pan especial en su contenido de humedad (%).

4.4.3 Control de pH para el nivel superior del factor harina de quinua

En la tabla 4.26, se muestra los resultados obtenidos de la medición de pH realizado en muestras del nivel superior (tabla 4.23) datos extraídos del Anexo F.3.

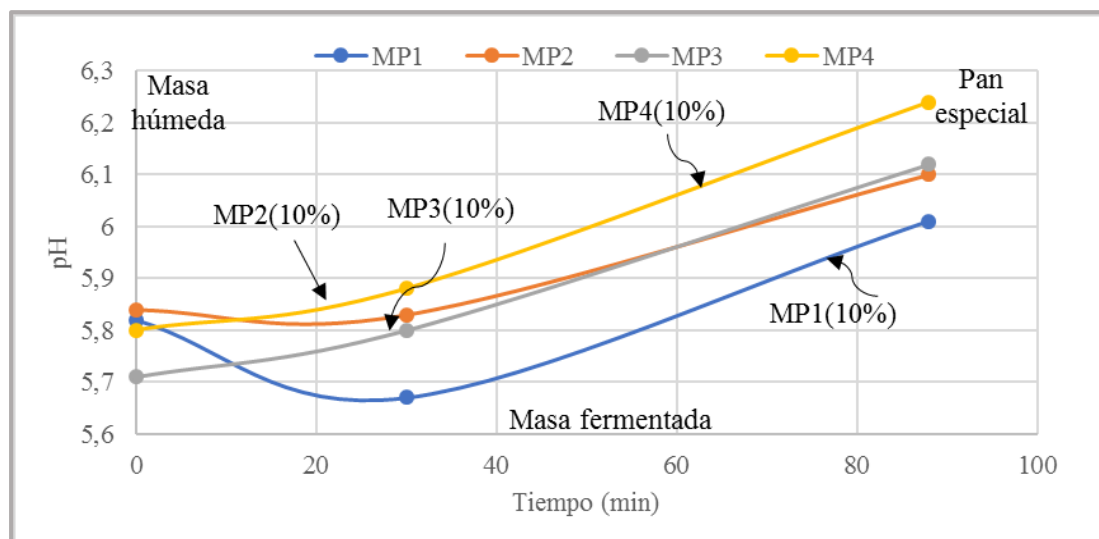
Tabla 4.26

Variación de pH para nivel superior

Parámetros de control	Tiempo (min)	Muestras			
		MP1	MP2	MP3	MP4
Masa húmeda	0	5,82	5,84	5,71	5,80
Masa fermentada	60	5,67	5,83	5,80	5,88
Pan especial	88	6,01	6,10	6,12	6,24

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.32, se muestra los resultados del pH en el nivel superior en base a las muestras realizadas en la tabla 4.26



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.32 Control de pH para el nivel superior

Según la figura 4.32, se puede observar que el pH en la masa húmeda de las muestras MP4 (5,80), MP2 (5,84) y MP1 (5,82), presentan un pH inicial casi similar a

comparación de la muestra MP3 (5,71) con un pH más bajo que las otras muestras, sin embargo, transcurrido el tiempo de fermentación (60) min, se observa que el valor de pH de las muestras MP4 (5,88), MP2 (5,83) y MP3 (5,80) presentan un incremento en su valor, en cambio la muestra MP1 (5,67) presenta un descenso en su valor de PH y a medida que culmina la fermentación esta aumenta su valor. Finalmente, en el proceso de cocción del pan especial las muestras presentan un valor de pH de 6,24 (MP4), 6,12 (MP3), 6,10 (MP2) y 6,01 (MP1). Por lo tanto, gráficamente se observa que el factor harina de quinua (A) en su valor bajo influye en el pH, en el análisis de las masas húmedas, mas no influye de manera significativa en el análisis de las masas fermentadas y en el pan especial.

4.4.4 Control de pH para el nivel inferior del factor harina de quinua

En la tabla 4.27, se muestra los resultados obtenidos de la medición de pH realizado muestras del nivel inferior (tabla 4.23), datos extraídos del Anexo F.4.

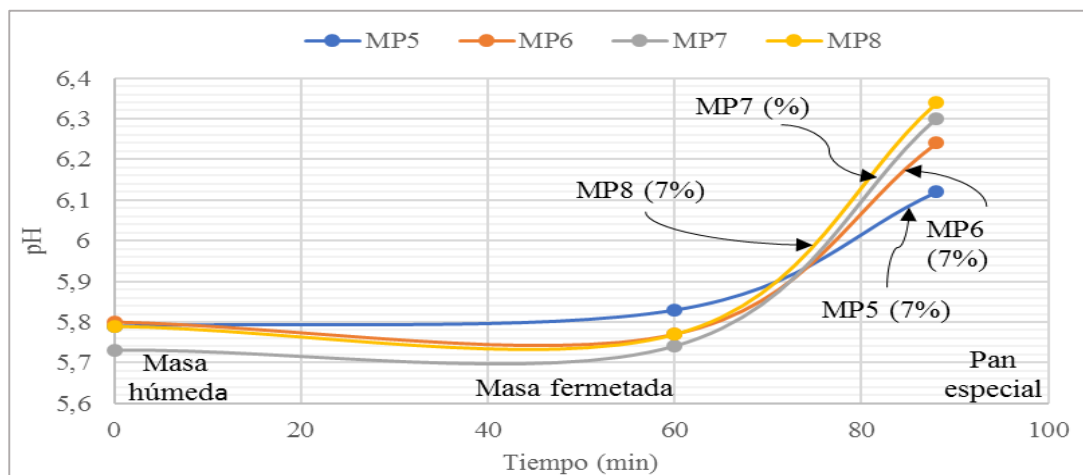
Tabla 4.27

Variación de pH para nivel inferior

Parámetros de control	Tiempo (min)	Muestras			
		MP5	MP6	MP7	MP8
Masa húmeda	0	5,79	5,80	5,73	5,79
Masa fermentada	60	5,83	5,77	5,74	5,77
Pan especial	88	6,12	6,24	6,30	6,34

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.33, se muestran los resultados del pH del nivel inferior en base a las muestras realizadas en la tabla 4.27.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.33 Control de pH para el nivel superior

Según la figura 4.33, se puede observar que el pH en la masa húmeda de las muestras MP6 (5,80), MP5 (5,79) y MP8 (5,79), presentan un pH inicial casi similar a comparación de la muestra MP7 (5,73) con un pH levemente más bajo que las otras muestras, sin embargo, transcurrido el tiempo de fermentación (60) min, se observa que el valor de pH de las muestras MP5 (5,83), MP8 (5,77), MP6 (5,77) y MP7 (5,74) presentan un incremento en su valor. Finalmente, en el proceso de cocción del pan especial las muestras MP8 (6,34), MP7 (6,30) y MP6 (6,24) presentan un incremento en su valor de pH seguido por la muestra MP5 (6,12) que incremento levemente su pH manteniéndose estable. Gráficamente se observa que el factor harina de quinua (A) en su valor bajo influye en el pH en el análisis de las masas húmedas y fermentadas, y no en el análisis del pan especial.

4.4.5 Control de acidez (ácido láctico) para el nivel superior en función del factor harina de quinua

En la tabla 4.28, se muestra los resultados obtenidos de la medición de acidez (ácido láctico) realizado en muestras del nivel superior (tabla 4.23), datos extraídos del Anexo F.5.

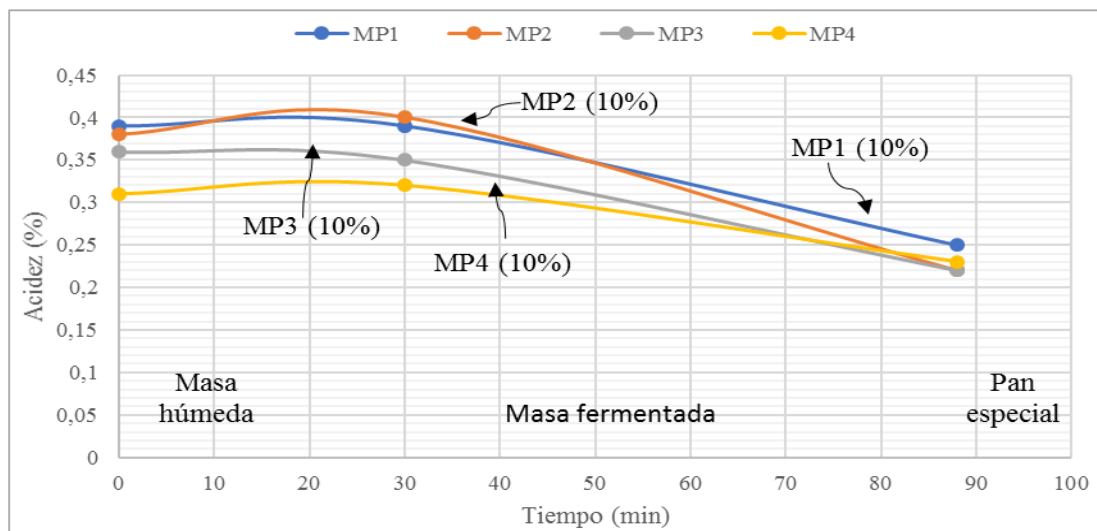
Tabla 4.28

Variación de acidez (ácido láctico) para nivel superior

Parámetros de control	Tiempo (min)	Muestras			
		MP1	MP2	MP3	MP4
		(%)	(%)	(%)	(%)
Masa húmeda	0	0,39	0,38	0,36	0,31
Masa fermentada	60	0,39	0,4	0,35	0,32
Pan especial	88	0,25	0,22	0,22	0,23

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.34, se muestran los resultados de acidez (ácido láctico) del nivel superior en base a las muestras realizadas en la tabla 4.28.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.34 Control de acidez (ácido láctico) para el nivel superior

Según la figura 4.34, se puede observar que la acidez en la masa húmeda de las muestras MP1 (0,39%) y MP2 (0,38%) presentan un incremento en su valor en comparación con las muestras MP3 (0,36%) y MP4 (0,31%). Transcurrido el tiempo fermentación (60) min, se observa que el valor de la acidez de las muestras MP2 (0,40%), MP1 (0,39) y MP4 (0,32%) presentan un leve aumento es su contenido de acidez, en cambio en la muestra MP3 (0,35) existe una leve disminución en su contenido de acidez. Finalmente, en el proceso de cocción del pan especial las muestras presentan un valor de 0,25% MP1, 0,23% (MP4), 0,22% (MP2) y 0,22% (MP3) en el contenido de acidez (ácido láctico). Gráficamente se observa que el factor harina de

quinua (A) en su valor alto influye en el contenido de acidez (ácido láctico) en el análisis de las masas húmedas, más no en el análisis de las masas fermentadas y el pan especial.

4.4.6 Control de acidez (ácido láctico) para el nivel inferior del factor harina de quinua

En la tabla 4.29, se muestra los resultados obtenidos de la medición de acidez (ácido láctico) realizado en muestras del nivel superior (tabla 4.23) datos extraídos del Anexo F.6.

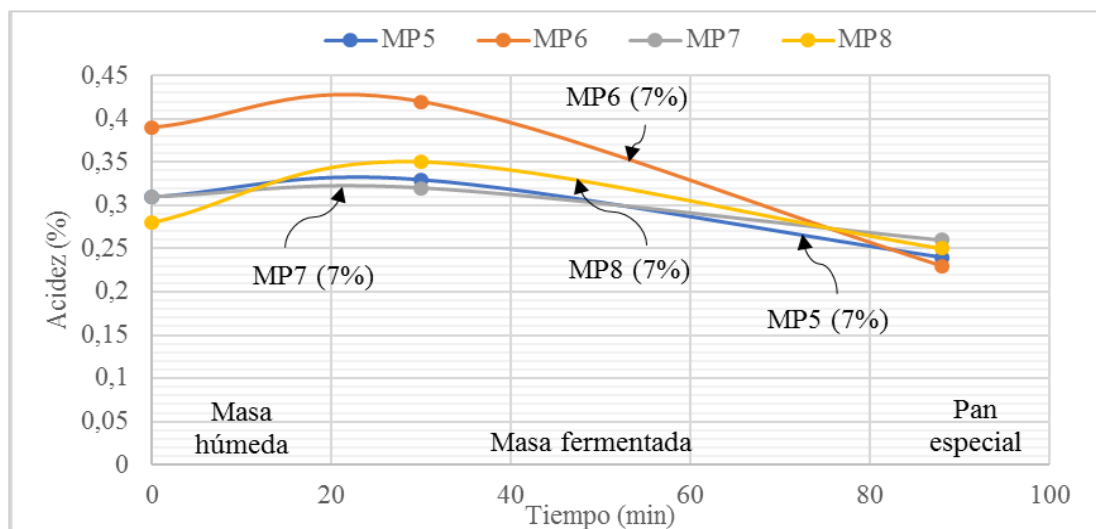
Tabla 4.29

Variación de acidez (ácido láctico) para nivel inferior

Parámetros de control	Tiempo (min)	Muestras			
		MP5	MP6	MP7	MP8
		(%)	(%)	(%)	(%)
Masa húmeda	0	0,31	0,39	0,31	0,28
Masa fermentada	60	0,33	0,42	0,32	0,35
Pan especial	88	0,24	0,23	0,26	0,25

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.35, se muestran los resultados de acidez (ácido láctico) del nivel superior en base a las muestras realizadas en la tabla 4.29.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.35 Control de acidez (ácido láctico) para nivel superior

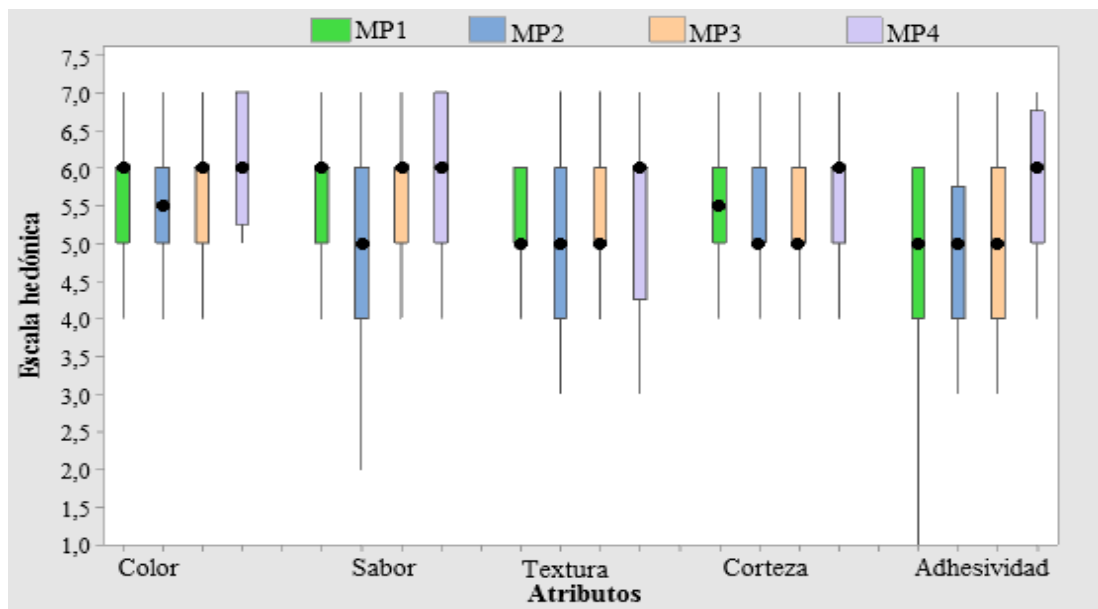
Según la figura 4.35, se puede observar que la acidez en la masa húmeda de la muestra MP6 (0,39%) presenta un incremento en su valor en comparación con las muestras MP7 (0,31%), MP5 (0,31%) y MP8 (0,28%). Transcurrido el tiempo de la fermentación (60) min, se observa que el valor de la acidez de la muestra MP6 (0,42%) presenta un incremento en su valor en comparación con la muestra MP8 (0,35%), seguido por las muestras MP5 (0,33%) y MP7 (0,32%). Finalmente, en el proceso de cocción del pan especial las muestras presentan un valor de 0,26% MP7, 0,25% (MP8), 0,24% (MP5) y 0,23% (MP6) en el contenido de acidez (ácido láctico). Gráficamente se observa que el factor harina de quinua (A) en su valor alto influye en el contenido de acidez (ácido láctico) en el análisis de las masas húmedas, más no en el análisis de las masas fermentadas y el pan especial.

4.4.7 Selección de muestra de pan especial en función del factor harina de quinua

En base a la (tabla 4.23), se realiza la evaluación sensorial, tomando en cuenta la combinación de cuatro muestras para el nivel superior y cuatro muestras para el nivel inferior en función del porcentaje de harina de quinua (factor A), con la finalidad de corroborar los efectos del factor tomado en cuenta. Para tal efecto se utilizó una escala hedónica de siete puntos.

4.4.7.1 Estadístico de caja y bigote para el nivel superior

La figura 4.36, muestra el estadístico de caja y bigote, datos extraídos del Anexo D para los atributos color (tabla D.50), sabor (tabla D.52), textura (tabla D.59), corteza (tabla D.57) y adhesividad (tabla D.54).



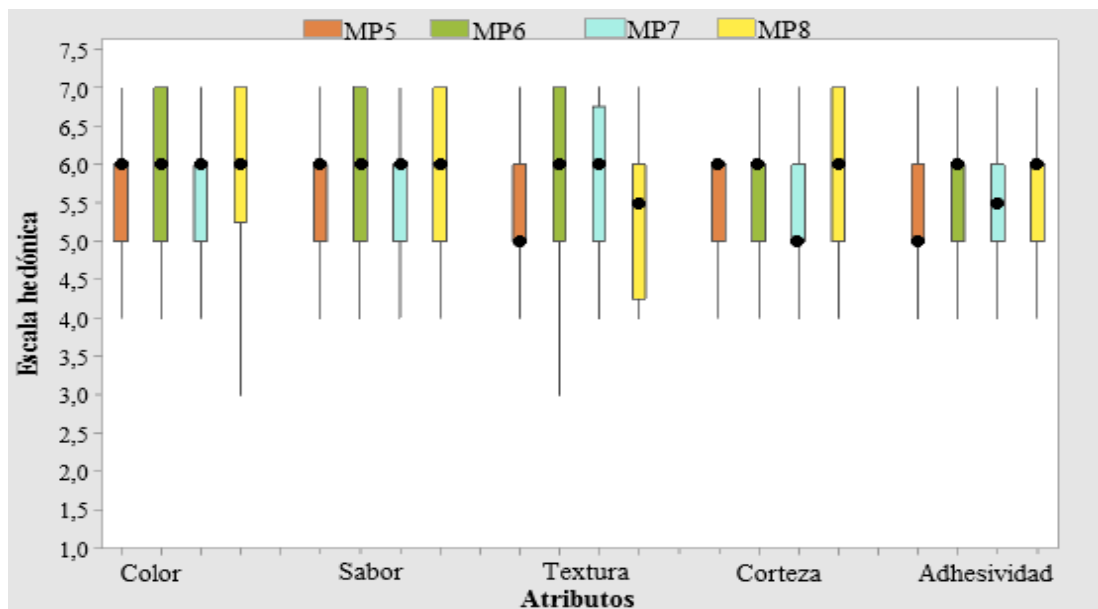
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.36 Caja y bigote para el nivel superior

Según la figura 4.36, se puede observar que los resultados de las medianas en función de los atributos de las muestras evaluadas son: color 6,0 (MP1 - MP3), sabor 6,0 (MP1 - MP3), corteza 6,0 (MP4), adhesividad 6,0 (MP4) y textura 5,0 (MP1 - MP3). El análisis estadístico de varianza se pudo evidenciar que no existe diferencia significativa entre los atributos color, sabor, textura y corteza, pero en cuanto al atributo adhesividad si existe diferencia significativa para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. (ver Anexo D.56). En base a las observaciones de los jueces se pudo evidenciar que el factor (A) harina de quinua (10%) influye de manera significativa en su nivel alto para el atributo adhesividad por presentar mucha adherencia al paladar y también deja en el retrogusto un poco de amargor.

4.4.7.2 Estadístico de caja y bigote para el nivel inferior

La figura 4.37, muestra el estadístico de caja y bigote, datos extraídos del Anexo D para los atributos color (tabla D.61), sabor (tabla D.63), textura (tabla D.65), corteza (tabla D.67) y adhesividad (tabla D.69).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.37 Caja y bigote para el nivel inferior

Según la figura 4.37, se puede observar que los resultados de las medianas en función de los atributos de las muestras evaluadas son: color 6,0 (MP5 y MP7), sabor 6,0 (MP5 y MP7), textura 6,0 (MP7), corteza 6,0 (MP5 y MP6) y adhesividad 6,0 (MP6). Realizando un análisis estadístico de varianza para los atributos (Anexo D), se pudo evidenciar que no existe diferencia significativa para un nivel de confianza $\alpha = 0,05$. En base a las observaciones de los jueces se pudo evidenciar que el factor harina de quinua (7%) no influye de manera significativa en su nivel bajo.

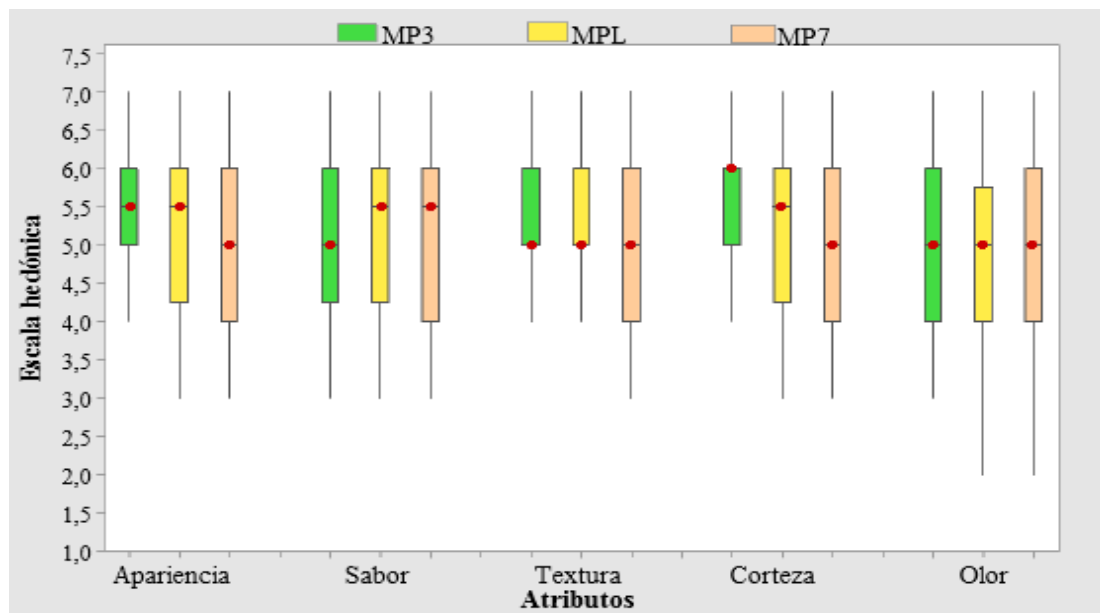
De acuerdo a las evaluaciones sensoriales realizadas para la elaboración de pan especial de leche enriquecido con harina de quinua, según los jueces se pudo evidenciar que no hubo diferencia significativa entre las muestras. Por tal motivo se consideraron las muestras de mayor preferencia, resaltando la muestra MP3 que tuvo mayor preferencia en el atributo sabor con caja y bigote agrupada en una mediana de (6,0) para el nivel alto, así mismo se consideró la muestra MP7 que tuvo mayor preferencia en el atributo sabor con caja y bigote agrupada en una mediana de (6,0) para el nivel bajo.

4.5 Selección de muestra final del pan especial de leche enriquecido con harina de quinua

Se realizó una evaluación sensorial a las muestras del nivel alto y bajo (MP3-MP7) para compararla con la muestra ideal (PL6) a la que se recodificó como MPL, con el fin de seleccionar la muestra final utilizando un test de escala hedónica de siete puntos para corroborar si los jueces detectan diferencias entre los atributos de las muestras comparadas.

4.5.1 Estadístico de caja y bigote para selección de muestra final

La figura 4.38, muestra el estadístico de caja y bigote de datos extraídos del Anexo D para los atributos apariencia (tabla D.71), sabor (tabla D.73), textura (tabla D.75), corteza (tabla D.77) y olor (tabla D.79).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.38 Caja y bigote para selección de muestra final

Según la figura 4.38, se puede observar que los resultados de las medianas en función de los atributos de las muestras evaluadas son: corteza 6,0 (MP3), color 5,5 (MP3), sabor 5,5 (MPL), textura 5,0 (MP3 y MPL) y olor 5,0 (MPL). Realizando un análisis estadístico de varianza para los atributos (Anexo D), se pudo evidenciar que no existe diferencia significativa entre las muestras evaluadas para un nivel de significancia

$\alpha = 0,05$. Así mismo tomando en cuenta la caja y bigote que la preferencia de los jueces se inclinan por las muestras MP3 y MPL.

En base a la formulación y contenido del porcentaje de quinua (8,5%) se consideró seleccionar la muestra MPL con el fin de mejorar la calidad nutricional del pan especial de leche enriquecido con harina de quinua.

4.6 Caracterización del pan especial de leche enriquecido con harina de quinua

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

4.6.1 Análisis físico en el pan especial de leche enriquecido con harina de quinua

En la tabla 4.30, se muestran los resultados obtenidos del análisis físico que se realizó al pan especial de leche enriquecido con harina de quinua.

Tabla 4.30

Parámetro físico del pan especial de leche enriquecido con harina de quinua

Parámetro	Unidad	Resultado
Peso	g	50 – 52
Diámetro	cm	7 – 7,5
Altura	cm	4 – 5
Volumen	cm ³	192 – 193

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.30, se puede observar los resultados del análisis físico del pan especial de leche enriquecido con harina de quinua, que presenta: peso (50-52) g/unidad; diámetro (7-7,5) cm; altura (4-5) cm y volumen (192-193) cm³.

4.6.2 Análisis fisicoquímico en el pan especial de leche enriquecido con harina de quinua

En la tabla 4.31, indica los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del pan especial de leche enriquecido con harina de quinua de datos extraídos del Anexo A.3.

Tabla 4.31**Análisis fisicoquímico del pan especial de leche enriquecido con harina de quinua**

Parámetros	Unidad	Resultado
Ceniza	%	1,90
Fibra	%	2,41
Grasa	%	11,10
Hidratos de carbono	%	53,26
Humedad	%	25,28
Proteína total(Nx6,25)	%	8,46
Acidez (ácido láctico)	%	0,25
Calcio	mg/100g	70,40
Fosforo	mg/100g	184,00
Magnesio	mg/100g	44,40
Hierro	mg/100g	2,50
Valor energético	Kcal/100g	346,78

Fuente: CEANID, 2023

En la tabla 4.31, se puede observar los resultados del análisis fisicoquímico del pan especial de leche enriquecido con harina de quinua que presenta: acidez 0,25%, ceniza 1,90%, fibra 2,41%, grasa 11,10%, hidratos de carbono 53,26%, humedad 25,28%, proteína total (Nx6,25) 8,46% y valor energético 346,78 Kcal/100g. También se puede observar los resultados de los minerales mayoritarios que contiene el pan especial de leche enriquecido con harina de quinua, que presenta: calcio 70,4 mg/100g, fósforo 184 mg/100g, magnesio 44,4 mg/100g y hierro 2,50 mg/100g.

4.6.3 Análisis microbiológico del pan especial de leche enriquecido con harina de quinua

En la tabla 4.32, indica los resultados obtenidos del análisis microbiológico del pan especial de leche enriquecido con harina de quinua de datos extraídos del Anexo A.3.

Tabla 4.32**Análisis microbiológico del pan especial de leche enriquecido con harina de quinua**

Microorganismos	Unidad	Resultado
Bacterias aerobias mesófilas	UFC/g	<1,0x10 ¹ (*)
Mohos y levaduras	UFC/g	3,0x10 ¹
<i>Staphylococo aureus</i>	UFC/g	<1,0x10 ¹ (*)

Fuente: CEANID, 2023

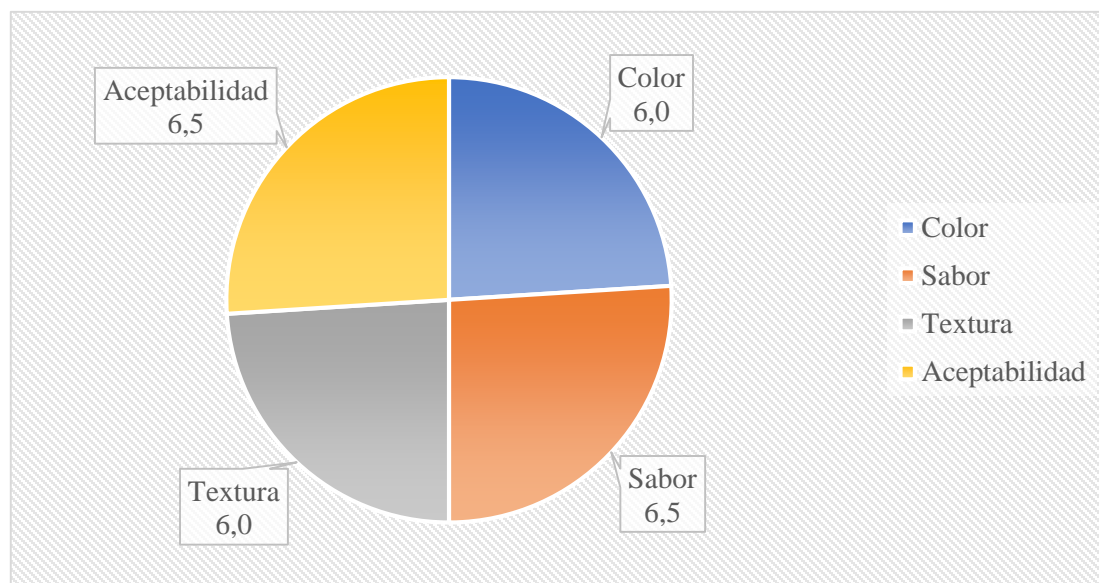
(*) = No se observa desarrollo de colonias

En la tabla 4.32, se puede observar los resultados del análisis microbiológico del pan especial de leche enriquecido con harina de quinua, que presenta: bacterias aerobias mesófilas $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g, mohos y levaduras $3,0 \times 10^1$ UFC/g y *Staphylococo aureus* $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g. No existe desarrollo de colonias (*)

4.6.4 Evaluación sensorial para para el grado de aceptabilidad del pan especial

Se realiza la evaluación sensorial al pan especial de leche enriquecido con harina de quinua (MPQL), con la finalidad de observar el grado de aceptación que presenta el producto final en una escala hedónica de siete puntos ante 20 jueces no entrenados.

En la figura 4.38 se muestran los estadísticos de caja y bigote de datos extraídos de (Anexo D.81), para los atributos: color, sabor, textura, aceptabilidad.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.39 Gráfica de aceptación del producto final

Según la figura 4.39, se observa que los resultados de las medianas en función de los atributos de la muestra evaluada son: sabor (6,5), textura (6,0), color (6,0) y con un promedio de aceptación del producto final (6,5), (ver Anexo D.81).

4.7 Control de parámetros fisicoquímicos del pan especial durante el almacenamiento

Para realizar el control de pH, acidez (ácido láctico) y contenido de humedad durante el almacenamiento, en base a la muestra del producto final del pan especial de leche enriquecido con harina de quinua (MPQL) se elabora dos muestras con la misma formulación: (MPS) sin conservante envasado en bolsas de propileno de mediana densidad y (MPC) con conservante (propionato de calcio) envasado en bolsas de propileno de mediana densidad. Realizándose el control de las muestras tres veces por semana (lunes, miércoles y viernes).

4.7.1 Control de pH en el pan especial durante el almacenamiento

En la tabla 4.33 se muestran los resultados obtenidos de la variación del pH del pan especial sin conservante (MPS) y con conservante (MPC); en función del tiempo de almacenamiento datos extraídos del Anexo F.7.

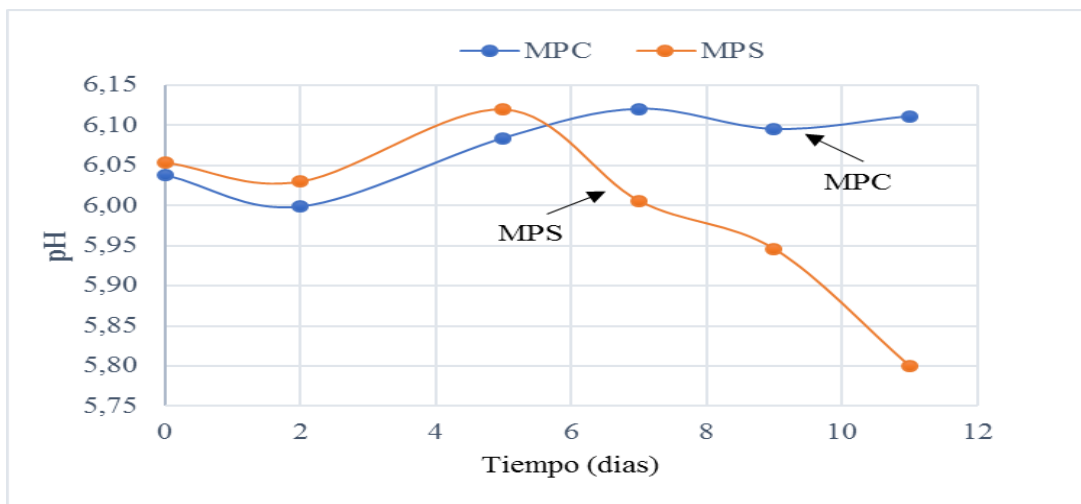
Tabla 4.33

Variación de pH en el pan especial durante el almacenamiento

Tiempo	pH	
	MPC	MPS
0	6,04	6,05
2	6,00	6,03
5	6,08	6,12
7	6,12	6,01
9	6,10	5,95
11	6,11	5,80

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.40, se muestra el control de pH en el pan especial durante el almacenamiento en base a la tabla 4.33.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.40 Control de pH durante el almacenamiento

Según la figura 4.39, las muestras MPC Y MPS, presentaron al (0,0) días un valor de pH de 6,04 (MPC) y 6,05 (MPS), para el segundo día ambas muestras presentaron un descenso con el pH, sin embargo, a partir del séptimo día la muestra MPS presenta un descenso en el pH hasta llegar a un valor final de 5,80, mientras que, la muestra MPC para el quinto día su valor asciende hasta 6,11 en el onceavo día.

De acuerdo al control de pH en la muestra MPS llega a descender su valor de pH de 6,05 a 5,80. En cambio la muestra MPC aumenta el valor de pH de 6,04 a 6,11. Por tanto, la adición de propionato de calcio regula el pH tendiendo un mayor tiempo de conservación.

4.7.2 Control de acidez (ácido láctico) en el pan especial durante el almacenamiento

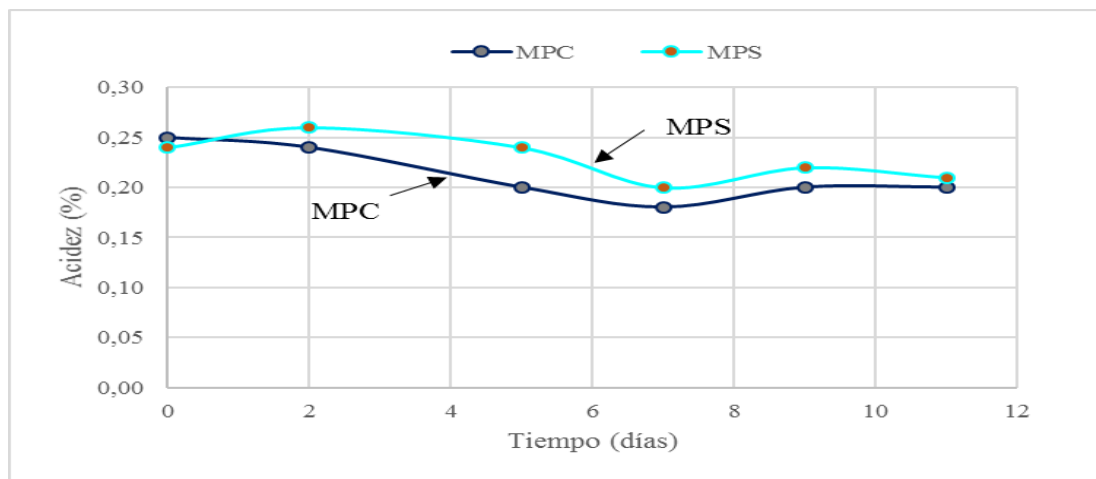
En la tabla 4.34, se muestran los resultados obtenidos de la variación de acidez del pan especial sin conservante (MPS) y con conservante (MPC); en función del tiempo de almacenamiento datos extraídos del Anexo F.8.

Tabla 4.34*Variación de acidez del pan especial durante el almacenamiento*

Tiempo	Acidez	
	MPC (%)	MPS (%)
0	0,25	0,24
2	0,24	0,26
5	0,20	0,24
7	0,18	0,20
9	0,20	0,22
11	0,20	0,21

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.41, se muestra el control de acidez (ácido láctico) en el pan especial durante el almacenamiento en base a la tabla 4.34.

**Fuente:** Elaboración propia**Figura 4.41** Control de acidez (ácido láctico) durante el almacenamiento

Según la figura 4.41, las muestras MPC Y MPS, presentaron al (0,0) días un contenido de acidez (ácido láctico) de 0,25% MPC y 0,24% MPS. La muestra MPC (0,24 – 0,20) % en los días (2 – 7) presenta una disminución de acidez, mientras tanto la muestra MPS en el segundo día presenta un leve aumento de acidez. Sin embargo, desde los días (9 – 11) la muestra MPC (0,20%) mantiene su acidez, mientras que en la muestra MPS (0,24 – 0,21) disminuye su acidez.

De acuerdo al control de acidez realizado en el pan especial de leche enriquecido con harina de quinua se pudo evidenciar que la muestra MPC llega a descender el contenido

de acidez de (0,25 a 0,20) %. En cambio, en la muestra MPS existe una variación de aumento y descenso del contenido de acidez. Por tanto, la adición de propionato de calcio si afecta al contenido de acidez (ácido láctico) en el pan especial.

4.7.3 Control del contenido de humedad en el pan especial durante el almacenamiento

En la tabla 4.35, se muestran los resultados obtenidos de la variación de contenido de humedad (%) del pan especial sin conservante (MPS) y con conservante (MPC); en función del tiempo de almacenamiento datos extraídos del Anexo F.9.

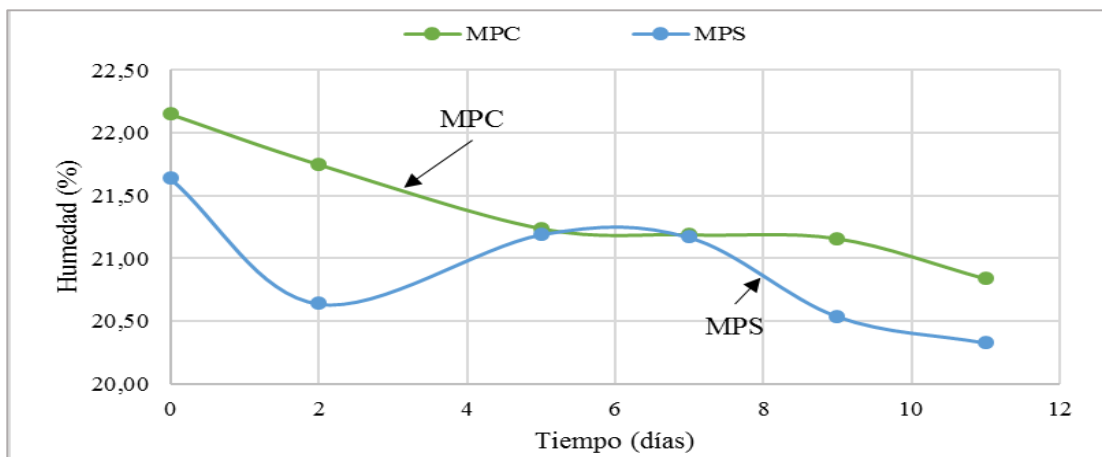
Tabla 4.35

Variación de contenido de humedad en el pan especial durante el almacenamiento

Tiempo	Humedad	
	MPC (%)	MPS (%)
0	22,15	21,64
2	21,75	20,64
5	21,24	21,19
7	21,19	21,17
9	21,16	20,54
11	20,84	20,33

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.42, se muestra el control de contenido de humedad en el pan especial durante el almacenamiento en base a la tabla 4.35.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.42 Control de contenido de humedad (%) durante el almacenamiento

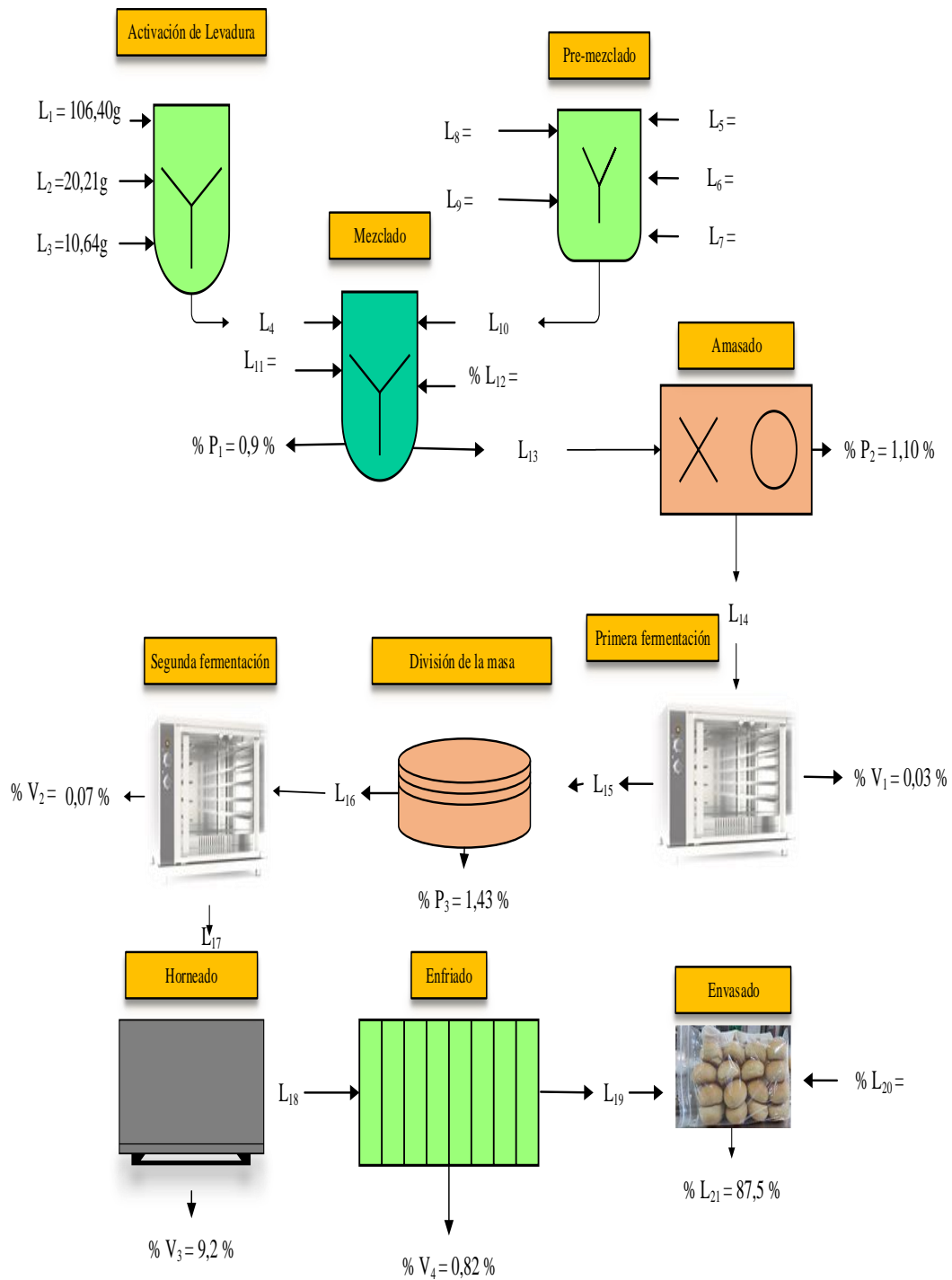
Según la figura 4.42, las muestras MPC y MPS, presentaron al inicio un contenido de humedad de 22,15% MPC y 21,64% MPS. Para el segundo día ambas muestras presentaron un descenso del contenido de humedad, sin embargo, la muestra MPS presenta una leve variación del contenido de humedad hasta llegar el onceavo día a un valor de 20,33%, mientras que, la muestra MPC en su valor desciende levemente hasta un 20,84% de contenido de humedad en el onceavo día.

De acuerdo al control de contenido de humedad en la muestra MPS llega a descender su valor de (21,64 a 20,33) %. En cambio, la muestra MPC en el transcurso del segundo día desciende de manera ligera día por medio, su valor del contenido de humedad de (22,64 a 20,84) %. Por tanto, la adición de propionato de calcio afecta directamente en el contenido de humedad del pan especial.

En el control de pH, acidez y contenido de humedad del pan especial durante la etapa del almacenamiento, la muestra MPS al onceavo día presento formación de colonias de mohos, sin embargo, la muestra MPC no presentó formación de colonias de mohos en el onceavo día.

4.8 Balance de materia en el proceso de elaboración de pan especial enriquecido con harina de quinua

En la figura 4.43, se muestra el balance de materia general para el proceso de elaboración de pan especial de leche enriquecido con harina de quinua y el cálculo se realiza a base de 998,00 gramos de masa de panificación.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.43 Diagrama de flujo del balance de materia en el proceso de elaboración de pan de leche enriquecido con harina de quinua

Donde:

L₁ = agua en la activación de levadura (g)

L₂ = azúcar en activación de levadura (g)

L₃ = levadura seca (g)

L₄ = activación de levadura (g)

L₅ = harina de trigo Graciela (g)

L₆ = harina de quinua blanca (g)

L₇ = leche en polvo (g)

L₈ = azúcar en el pre-mezclado (g)

L₉ = sal (g)

L₁₀ = ingredientes en polvo (g)

L₁₁ = aceite (g)

L₁₂ = agua en el mezclado (g)

P₁ = pérdida en el mezclado (g)

L₁₃ = mezcla (g)

P₂ = pérdida en el amasado (g)

L₁₄ = masa (g)

L₁₅ = primera fermentación (g)

V₁ = vapor de agua en primera fermentación (g)

P₃ = pérdida en la división de masa (g)

L₁₆ = división de la masa (g)

L₁₇ = segunda fermentación (g)

L_{18} = pan especial horneado (g)

V_2 = vapor de agua en la segunda fermentación (g)

L_{19} = pan enfriado (g)

V_A = vapor de agua en el horneado (g)

L_{20} = bolsas (g)

V_4 = vapor de agua en el enfriado (g)

L_{21} = pan especial envasado (g)

X^a = fracción húmeda

X^s = fracción seca

X^a_{L1} = fracción húmeda de agua

X^s_{L2} = fracción seca de azúcar

X^s_{L3} = fracción seca de levadura seca

X^a_{L4} = fracción húmeda de activación de levadura

X^s_{L4} = fracción seca de activación de levadura

X^a_{L5} = fracción húmeda de harina de trigo Graciela

X^s_{L5} = fracción seca de harina de trigo Graciela

X^a_{L6} = fracción húmeda de harina de quinua blanca

X^s_{L6} = fracción seca de harina de quinua blanca

X^a_{L7} = fracción húmeda de leche en polvo

X^s_{L7} = fracción seca de leche en polvo

X^s_{L9} = fracción seca de sal

X^a_{L10} = fracción húmeda de ingrediente en polvo

X_{L10}^S = fracción seca de ingredientes en polvo

X_{L13}^a = fracción húmeda de la mezcla

X_{L14}^a = fracción húmeda de la masa

X_{L15}^a = fracción húmeda de la primera fermentación

X_{L17}^a = fracción húmeda de la segunda fermentación

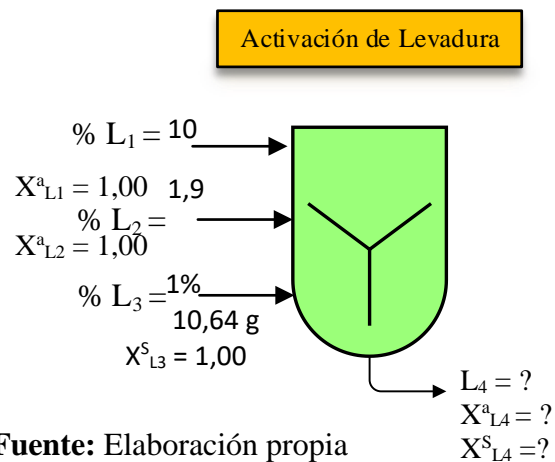
X_{L18}^a = fracción húmeda del pan especial horneado

X_{L19}^a = fracción húmeda del pan especial enfriado

X_{v3}^a = fracción húmeda de vapor de agua en el horneado

4.8.1 Balance de materia para la activación de la levadura

En la figura 4.44, se muestra el balance de materia para la activación de la levadura con relación de levadura: azúcar de 1:1,9 y relación de levadura: agua de 1:10.



De la relación de levadura: azúcar (1:1,9)

$$L_2 = \frac{1,9\%}{1\%} * L_3 = \frac{1,9}{1} * 10,64 \text{ g} = 20,216 \text{ g azúcar}$$

De la relación de levadura: agua (1:10)

$$L_1 = \frac{10\%}{1\%} * L_3 = \frac{10}{1} * 10,64 \text{ g} = 106,40 \text{ g agua}$$

Balance de materia general en la etapa de activación de la levadura

$$L_1 + L_2 + L_3 = L_4 \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Balance parcial para hallar fracción seca en la etapa de activación de levadura

$$L_2 * X_{L_2}^b + L_3 * X_{L_3}^b = L_4 * X_{L_4}^b \quad \text{Ecuación 4.2}$$

Reemplazando la ecuación 1 en la ecuación 2 para hallar la fracción $X_{L_4}^b$

$$L_2 * X_{L_2}^b + L_3 * X_{L_3}^b = (L_1 + L_2 + L_3) * X_{L_4}^b$$

$$X_{L_4}^b = \frac{L_2 * X_{L_2}^b + L_3 * X_{L_3}^b}{L_1 + L_2 + L_3}$$

$$X_{L_4}^b = \frac{20,216 * 1 + 10,64 * 1}{106,40 + 20,216 + 10,64}$$

$$X_{L_4}^b = 0,22 \text{ fraccion seca de la levadura activada}$$

Reemplazar $X_{L_4}^b$ en la ecuación 2 para hallar L_4

$$L_4 = \frac{L_2 * X_{L_2}^b + L_3 * X_{L_3}^b}{X_{L_4}^b}$$

$$L_4 = \frac{(20,216 * 1) + (10,64 * 1)}{0,22}$$

$$L_4 = 140,26 \text{ g Levadura activada}$$

Cálculo de L_4 mediante lo porcentaje de rendimiento de la levadura activada

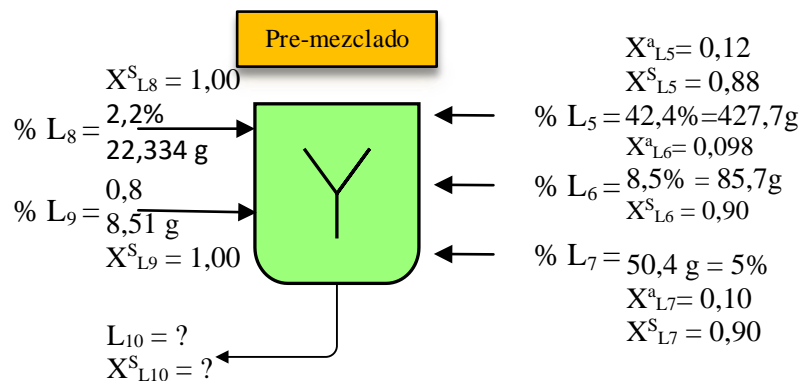
$$\% L_4 = \frac{\text{Peso parcial}}{\text{Peso total}} * 100\% \quad \text{Ecuación 4.3}$$

$$\% L_4 = \frac{140,26 \text{ g}}{998,00 \text{ g}} * 100\%$$

$$\% L_4 = 14,05 \% \text{ Levadura activada}$$

4.8.2 Balance de materia en la etapa de premezclado

En la figura 4.45, se muestra la etapa de premezclado para lo cual se realiza con 427,7 g de harina de trigo; 85,7 g de harina de quinua; 50,4 g de leche en polvo; 22,334 g de azúcar y 8,51 g de sal.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.45 Etapa de pre- mezclado

Balance de materia general en la etapa premezclado

$$L_5 + L_6 + L_7 + L_8 + L_9 = L_{10} \quad \text{Ecuación 4.4}$$

Balance parcial para hallar la fracción seca de los ingredientes en polvo

$$L_5 * X_{L5}^b + L_6 * X_{L6}^b + L_7 * X_{L7}^b + L_8 * X_{L8}^b + L_9 * X_{L9}^b = L_{10} * X_{L10}^b \quad \text{Ecuación 4.5}$$

Reemplazando la ecuación 4.4 en la ecuación 4.5 para despejar X_{L10}^b

$$L_5 * X_{L5}^b + L_6 * X_{L6}^b + L_7 * X_{L7}^b + L_8 * X_{L8}^b + L_9 * X_{L9}^b = (L_5 + L_6 + L_7 + L_8 + L_9) * X_{L10}^b$$

$$X_{L10}^b = \frac{L_5 * X_{L5}^b + L_6 * X_{L6}^b + L_7 * X_{L7}^b + L_8 * X_{L8}^b + L_9 * X_{L9}^b}{L_5 + L_6 + L_7 + L_8 + L_9}$$

$$X_{L10}^b = \frac{(427,7 * 0,88) + (85,7 * 0,90) + (50,4 * 0,90) + (22,334 * 1) + (8,51 * 1)}{427,7 + 85,7 + 50,4 + 22,334 + 8,51}$$

$$X_{L10}^b = 0,89 \text{ fracción seca de los ingredientes en polvo}$$

Reemplazando X_{L10}^b en la ecuación 4.5 para hallar L_{10}

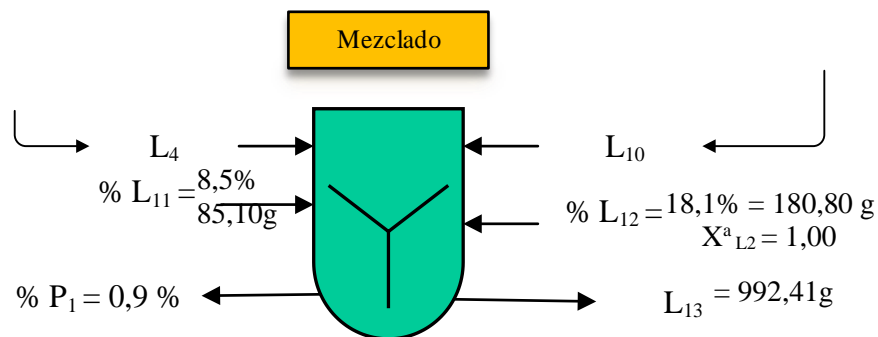
$$L_{10} = \frac{L_5 * X_{L5}^b + L_6 * X_{L6}^b + L_7 * X_{L7}^b + L_8 * X_{L8}^b + L_9 * X_{L9}^b}{X_{L10}^b}$$

$$L_{10} = \frac{(427,7 * 0,88) + (85,7 * 0,90) + (50,4 * 0,90) + (22,334 * 1) + (8,51 * 1)}{0,89}$$

$$L_{10} = 595,18 \text{ g Ingredientes en polvo}$$

4.8.3 Balance de materia en la etapa de mezclado

En la figura 4.46, se muestra la etapa de mezclado el cual se realiza con 594,76 g de ingredientes secos; 140,26 g de levadura activada; 85,10 g de aceite y 180,8 g de agua.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.46 Etapa de mezclado

Balance de materia general en la etapa de mezclado

$$L_{10} + L_4 + L_{11} + L_{12} = L_{13} + P_1 \quad \text{Ecuación 4.6}$$

Balance parcial para el contenido de humedad en la etapa de mezclado

$$L_{10} * X_{L10}^a + L_4 * X_{L4}^a + L_{12} * X_{L12}^a = L_{13} * X_{L13}^a \quad \text{Ecuación 4.7}$$

Despejando P_1 de la ecuación 4.6

$$L_{10} + L_4 + L_{11} + L_{12} = L_{13} + P_1$$

$$P_1 = L_{10} + L_4 + L_{11} + L_{12} - L_{13}$$

$$P_1 = 595,18 \text{ g} + 140,26 + 85,10 + 180,80 - 992,41$$

$$P_1 = 8,93 \text{ g de pérdidas}$$

Cantidad de porcentaje de pérdida en la etapa de mezclado

$$\frac{P_1}{\% P_1} = \frac{L_3}{\% L_3}$$

Ecuación 4.8

$$\% P_1 = \frac{P_1}{L_3} * \% L_3$$

$$\% P_1 = \frac{8,93 \text{ g}}{992,41 \text{ g}} * 99,44 \%$$

$\% P_1 = 0,9 \%$ de perdidas

Despejando componente húmedo X_{L13}^a de la ecuación 4.7

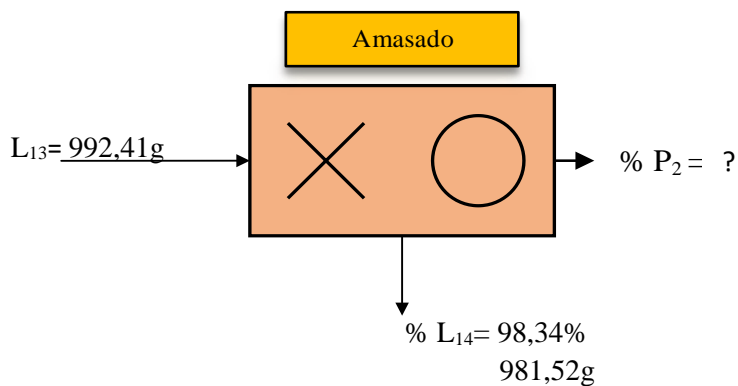
$$X_{L13}^a = \frac{L_{10} * X_{L10}^a + L_4 * X_{L4}^a + L_{12} * X_{L12}^a}{L_{13}}$$

$$X_{L13}^a = \frac{595,18 * 0,11 + 140,26 * 0,78 + 180,80 * 1}{992,41}$$

$X_{L13}^a = 0,36$ Componente húmedo en la etapa de mezclado

4.8.4 Balance de materia general en la etapa de amasado

En la figura 4.47, se muestra la etapa de amasado el cual se realiza de la siguiente manera:



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.47 Etapa de amasado

Balance de materia general en la etapa de amasado

$$L_{13} = L_{14} + P_2 \quad \text{Ecuación 4.9}$$

Despejamos P_2 de la ecuación 4.9

$$P_2 = L_{13} - L_{14}$$

$$P_2 = 992,41 \text{ g} - 981,52 \text{ g}$$

$$P_2 = 10,89 \text{ g de pérdida en el amasado}$$

Cantidad de porcentaje de pérdida en la etapa de amasado

$$\frac{P_2}{\% P_2} = \frac{L_{14}}{\% L_{14}} \quad \text{Ecuación 4.10}$$

$$\% P_2 = \frac{P_2}{L_{14}} * \% L_{14}$$

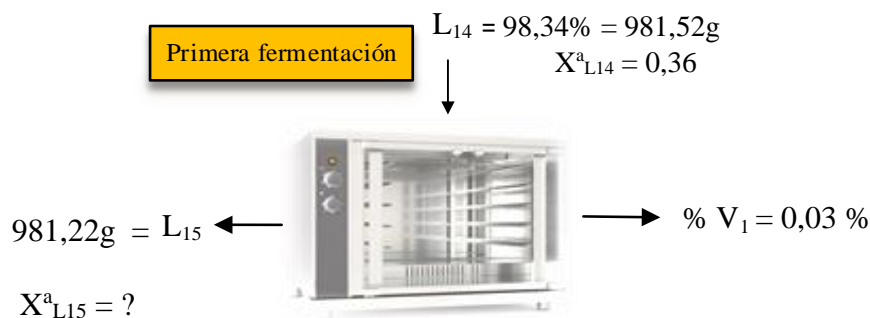
$$\% P_2 = \frac{10,89 \text{ g}}{981,52 \text{ g}} * 98,34 \%$$

$$\% P_2 = 1,10 \%$$

de pérdida en la etapa de amasado

4.8.5 Balance de materia en la etapa de primera fermentación

En la figura 4.48, se muestra la etapa de primera fermentación el cual se realiza de la siguiente manera:



Fuente: Elaboración propia

Figura 4,48 Etapa de primera fermentación

Balance de materia general en la etapa de primera fermentación

$$L_{14} = L_{15} + V_1 \quad \text{Ecuación 4.11}$$

Despejando V_1 de la ecuación 4.11:

$$V_1 = L_{14} - L_{15} \quad \text{Ecuación 4.12}$$

Balance parcial del contenido de humedad en la etapa de primera fermentación

$$L_{14} * X_{L4}^a = L_{15} * X_{L15}^a + V_1 * X_{V1}^a \quad \text{Ecuación 13}$$

Despejando X_{L15}^a de la ecuación 4.13:

$$X_{L15}^a = \frac{V_1 * X_{V1}^a - L_{14} * X_{L14}^a}{L_{15}}$$

Reemplazamos V_1 en la ecuación

$$X_{L15}^a = \frac{(L_{14} - L_{15}) * X_{V1}^a - L_{14} * X_{L14}^a}{L_{15}}$$

$$X_{L15}^a = \frac{(981,52 - 981,22) * 1 - 981,52 * 0,36}{981,22}$$

$X_{L15}^a = 0,36$ contenido de humedad de la primera fermentación

Despejando V_1 de la ecuación 4.13:

$$V_1 = \frac{L_{14} * X_{L14}^a - L_{15} * X_{L15}^a}{X_{V1}^a}$$

$$V_1 = \frac{981,52 * 0,36 - 981,22 * 0,36}{1}$$

$$V_1 = 0,108 \text{ g}$$

Cantidad de porcentaje de pérdida en la etapa de división de la masa

$$\frac{V_1}{\% V_1} = \frac{L_{15}}{\% L_{15}} \quad \text{Ecuación 4.14}$$

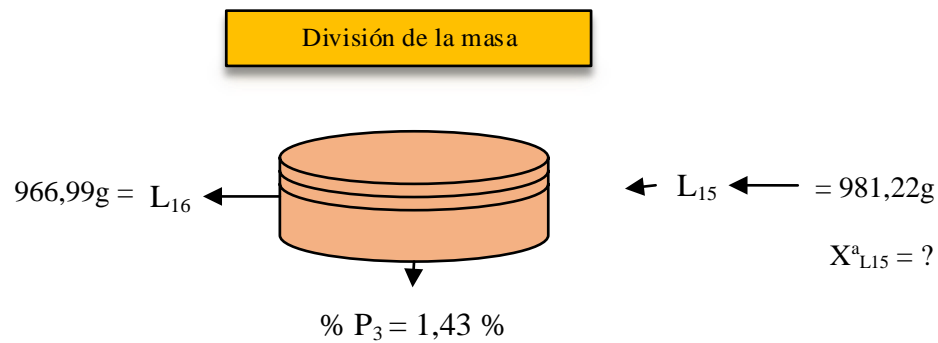
$$\% V_1 = \frac{V_1}{L_{15}} * \% L_{15}$$

$$\% V_1 = \frac{0,108 \text{ g}}{981,22 \text{ g}} * 98,32 \%$$

$$\% V_1 = 0,03 \%$$

4.8.6 Balance de materia en la etapa de desgasificación y división de la masa

En la figura 4.49, se muestra el balance de materia en la etapa de división de la masa del pan especial.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.49 Etapa de división de la masa

Balance de materia general en la etapa de división de la masa

$$L_{15} = L_{16} + P_3 \quad \text{Ecuación 4.15}$$

Despejando P_3 de la ecuación 4.15

$$P_3 = L_{15} - L_{16}$$

$$P_3 = 981,22 \text{ g} - 966,99 \text{ g}$$

$$P_3 = 14,23 \text{ g de pérdida en la etapa de división}$$

Cantidad de porcentaje de pérdida en la etapa de división de la masa.

$$\frac{P_3}{\% P_3} = \frac{L_{16}}{\% L_{16}}$$

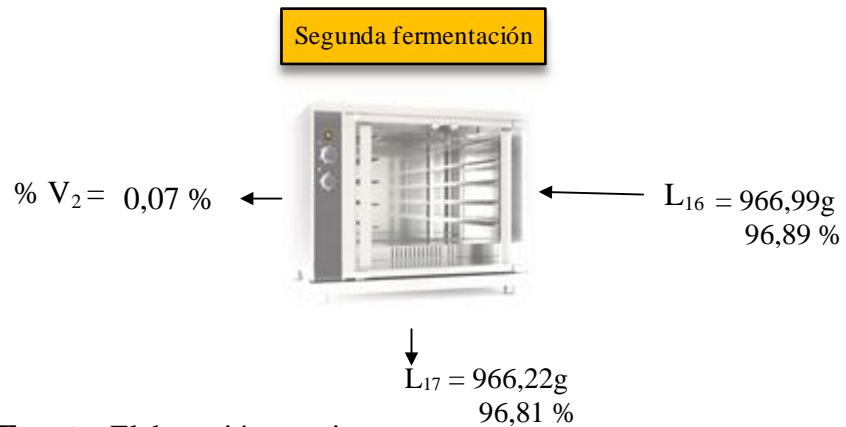
$$\% P_3 = \frac{P_3}{L_{16}} * \% L_{16}$$

$$\% P_3 = \frac{14,23 \text{ g}}{966,99 \text{ g}} * 96,89 \%$$

$$\% P_3 = 1,43 \% \text{ Pérdida en la etapa de división de la masa}$$

4.8.7 Balance de materia en la etapa de segunda fermentación

En la figura 4.50, se muestra la etapa de segunda fermentación de la masa del pan especial.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.50 Etapa de segunda fermentación

Balance de materia general en la etapa de segunda fermentación

$$L_{16} = L_{17} + V_2 \quad \text{Ecuación 4.16}$$

Despejando V_2 de la ecuación 4.16

$$V_2 = L_{16} - L_{17}$$

$$V_2 = 966,99 - 966,22$$

$$V_2 = 0,77\text{g de vapor de agua}$$

Cantidad de porcentaje de pérdida de vapor de agua

$$\frac{V_2}{\% V_2} = \frac{L_{17}}{\% L_{17}}$$

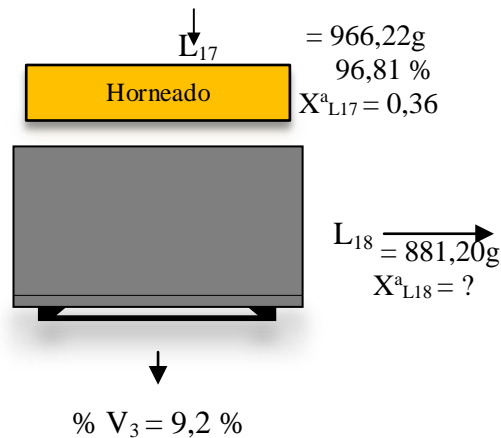
$$\% V_2 = \frac{V_2}{L_{17}} * \% L_{17}$$

$$\% V_2 = \frac{0,77 \text{ g}}{966,22 \text{ g}} * 96,81 \%$$

$$\% V_2 = 0,07 \%$$

4.8.8 Balance de materia en la etapa de horneado

En la figura 4.51, se muestra la etapa de horneado de la masa del pan especial



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.51: Etapa de horneado

Balance de materia general en la etapa de horneado

$$L_{17} = L_{18} + V_3 \quad \text{Ecuación 4.17}$$

Despejamos V_3 de la ecuación 4.17

$$V_3 = L_{17} - L_{18} \quad \text{Ecuación 4.18}$$

Balance parcial para hallar contenido de humedad en la etapa de horneado

$$L_{17} * X_{L_{17}}^a = L_{18} * X_{L_{18}}^a + V_3 * X_{V_3}^a \quad \text{Ecuación 4.19}$$

Reemplazando y despejando $X_{L_{18}}^a$ de la ecuación 4.19

$$966,22 * 0,36 = 881,20 * X_{L_{18}}^a + (966,22 - 881,20) * 1$$

$$347,84 = 881,20 * X_{L_{18}}^a + 85,02$$

$$X_{L_{18}}^a = \frac{347,84 - 85,02}{881,20}$$

$$X_{L_{18}}^a = 0,29$$

Despejando V_3 de la ecuación 4.19

$$V_3 = \frac{L_{17} * X_{L_{17}}^a - L_{18} * X_{L_{18}}^a}{X_{V_3}^a}$$

$$V_3 = \frac{966,22 * 0,36 - 881,20 * 0,29}{1}$$

$$V_3 = 92,29 \text{ g de pérdida de vapor de agua}$$

Cantidad de porcentaje de pérdida en la etapa de horneado

$$\frac{V_3}{\%V_3} = \frac{L_{18}}{\%L_{18}}$$

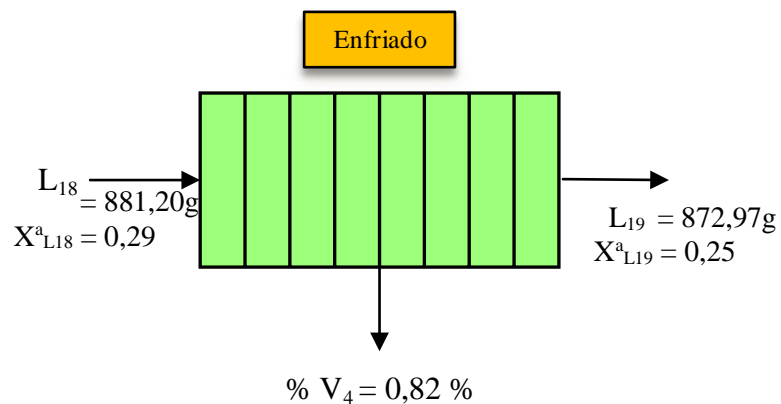
$$\% V_3 = \frac{V_3}{L_{18}} * \%L_{18}$$

$$\% V_3 = \frac{92,29 \text{ g}}{881,20 \text{ g}} * 88,29 \%$$

$\% V_3 = 9,2 \%$ Pérdida en la etapa de horneado

4.8.9 Balance de materia en la etapa de enfriado

En la figura 4.52, se muestra la etapa de enfriado del pan especial



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.52 Etapa de enfriado

Balance de materia en la etapa de enfriado

$$L_{18} = L_{19} + V_4 \quad \text{Ecuación 4.20}$$

Despejando V_4 de la ecuación 4.20 se obtiene:

$$V_4 = L_{18} - L_{19}$$

$$V_4 = 881,30 \text{ g} - 872,97 \text{ g}$$

$$V_4 = 8,23 \text{ g}$$

Cantidad de porcentaje de pérdida en la etapa de enfriado

$$\frac{V_4}{\%V_4} = \frac{L_{19}}{\%L_{19}}$$

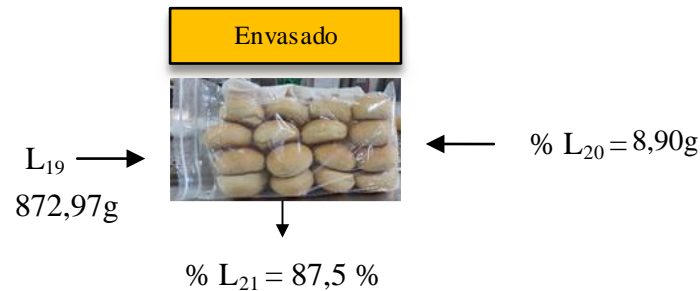
$$\% V_4 = \frac{V_4}{L_{19}} * \%L_{19}$$

$$\% V_4 = \frac{8,23 \text{ g}}{872,97 \text{ g}} * 87,42 \%$$

$\% V_4 = 0,82 \%$ pérdida en la etapa de enfriado

4.8.10 Balance de materia en la etapa de envasado

En la figura 4.53, se muestra el balance de materia de la etapa de envasado del pan especial



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.53 Etapa de envasado

Balance de materia general en la etapa de envasado

$$L_{19} + L_{20} = L_{21}$$

Ecuación 4.21

Reemplazamos datos en la ecuación 4.21

$$L_{21} = L_{19} + L_{20}$$

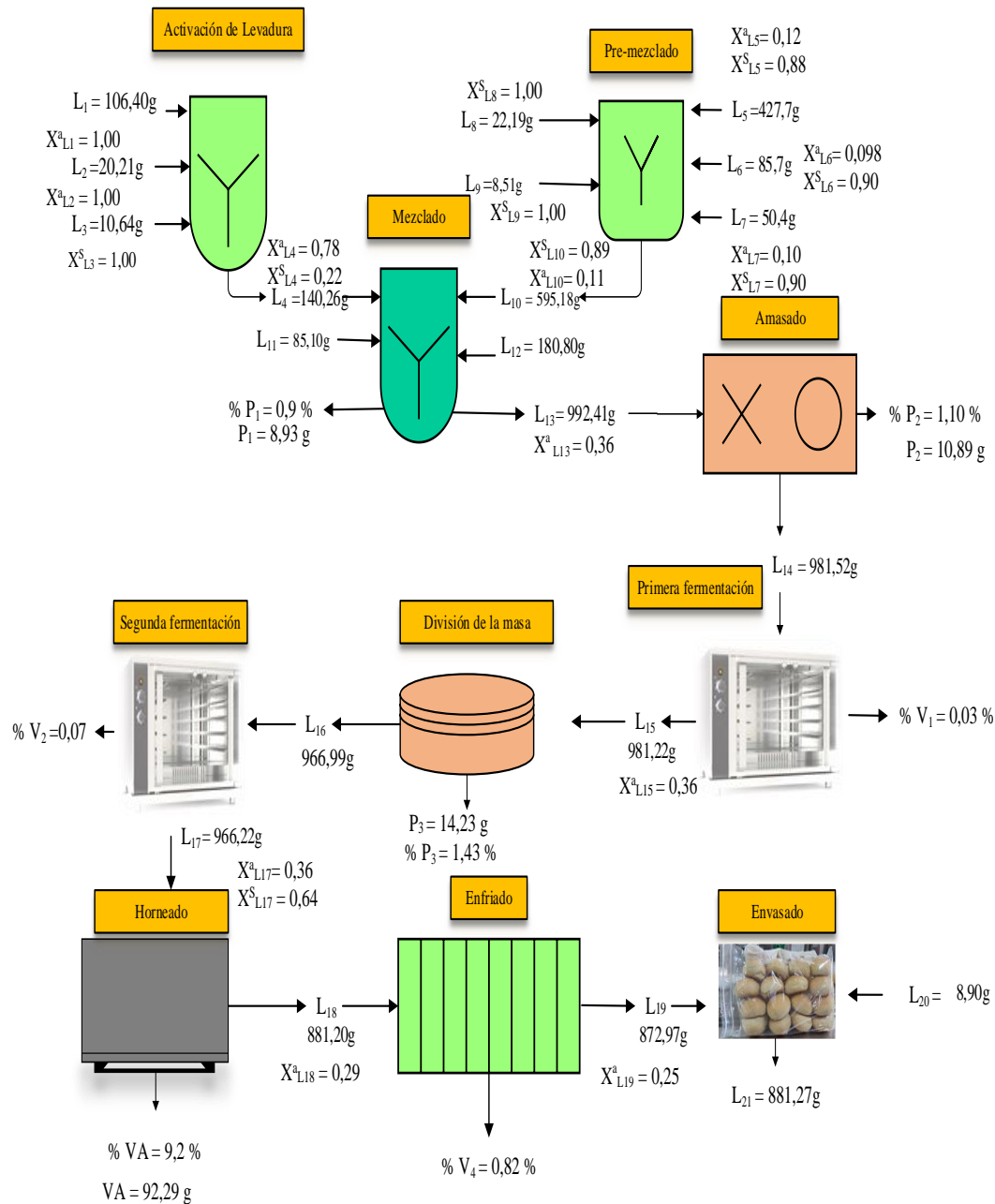
$$L_{21} = 872,97 \text{ g} + 8,90 \text{ g}$$

$$L_{21} = 881,97 \text{ g pan especial envasado}$$

Realizado el balance de materia para la elaboración de pan especial de leche enriquecido con harina de quinua se obtiene 872,97g lo que es igual a 19 unidades con un peso aproximado de 46g por unidad de pan especial.

4.9 Resumen general del balance de materia en el proceso

En la figura 4.54, se muestra el resumen del resultado obtenidos del balance general de materia para la elaboración de pan especial de leche enriquecido con harina de quinua

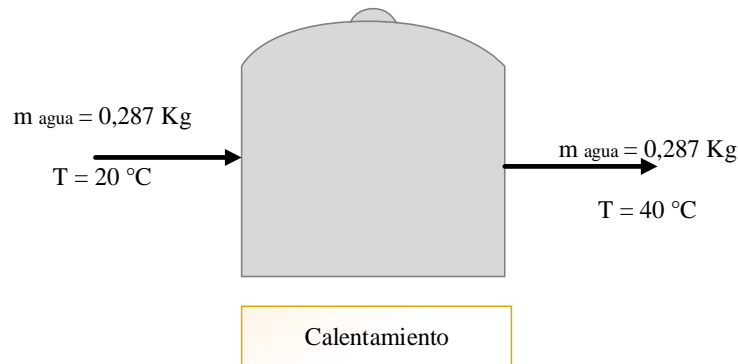


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.54 Resumen general del balance de materia para la obtención de pan especial de leche enriquecido con harina de quinua

4.10 Balance de energía en el calentamiento del agua

Para el proceso de elaboración del pan se realiza el calentamiento del agua, de manera que en la figura 4.55, se muestra el balance de energía que se aplica al calentar el agua a una temperatura de 40 °C.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.55 Calentamiento del agua

Se toma en cuenta el calor necesario para calentar la olla y calentar el agua. Por tal motivo se utilizó la ecuación 4.22, para calcular el calor necesario para calentar el agua hasta 40 °C:

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

Donde:

Q_{agua} = calor necesario para calentar el agua

m_{agua} = masa del agua (0,287 kg)

λ = landa de evaporización del agua (540 kcal/kg) (García 2016)

$C_{p \text{ agua}}$ = capacidad calorífica del agua (1 kcal/kg °C) (Koshkin 1975)

$\Delta T = (T_f - T_i)$ = variación de temperatura en el calentamiento del agua (40 – 20) °C

Remplazando datos en la ecuación 4.26.

$$Q_{\text{agua}} = 0,287 \text{ kg} * 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} * (40 - 20) ^\circ\text{C} + (0,287 \text{ kg} * 540 \text{ kcal/kg})$$

$$Q_{\text{agua}} = 5,74 \text{ kcal} + 154,98 \text{ kcal}$$

$Q_{\text{agua}} = 160,72 \text{ kcal}$, calor necesario para calentar el agua

Para calcular el calor necesario para calentar la olla hasta $40 \text{ }^\circ\text{C}$, se utiliza la ecuación 4.23

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

Donde:

Q_{olla} = calor necesario para calentar la olla

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

C_p_{agua} = capacidad calorífica de la olla (0,12 kcal/kg $^\circ\text{C}$) (Koshkin 1975)

$\Delta T = (T_f - T_i)$ = variación de temperatura en el calentamiento ($40 - 20$) $^\circ\text{C}$

Remplazando los datos obtenidos en la ecuación 4.23.

$$Q_{\text{olla}} = 0,56 \text{ kg} * 0,12 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} * (40 - 20) \text{ }^\circ\text{C}$$

$Q_{\text{olla}} = 1,344 \text{ kcal}$, calor necesario para calentar la olla

Por tanto, para determinar el calor necesario para llevar a cabo el proceso, se aplica la ecuación 4.24, según Valiente (1986).

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

Donde:

$Q_T = Q_{T1}$ = calor total necesario para llevar a cabo un proceso

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

Remplazando los datos obtenidos en la ecuación en la ecuación 4.24, para hallar el calor total

$$Q_{T1} = 160,72 \text{ kcal} + 1,344 \text{ kcal}$$

$Q_{T1} = 162,06 \text{ kcal}$, calor necesario para calentar el agua del proceso

4.11 Balance de energía para la etapa de fermentación de la masa del pan especial

Para la etapa de fermentación de la masa del pan especial se utiliza la incubadora con una potencia de 600 W durante 1,17 horas. En la figura 4.56, se muestra balance de energía que se aplica para determinar la energía eléctrica requerida.



$$P = 600 \text{ W}$$

$$\theta = 1,17 \text{ h}$$

$$E = ?$$

Fermentación

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.56 Fermentación de la masa

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

θ = Tiempo (horas)

Entonces si $1 \text{ kcal/h} = 1,163 \text{ W} \rightarrow 600 \text{ W} = 515,91 \text{ kcal/h}$

Reemplazando los resultados obtenidos en la ecuación 4,25 para hallar la energía eléctrica:

$$E = 515,91 \text{ kcal/h} * 1,17 \text{ h}$$

$$E = 603,61 \text{ kcal}$$

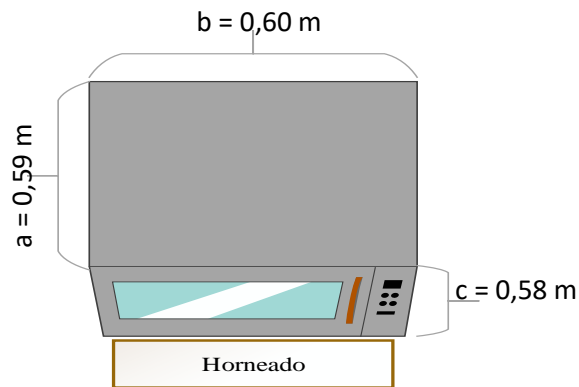
La energía eléctrica requerida en la incubadora para que se lleve a cabo la fermentación durante 1,17 horas es de 603,31 kcal para 998 g de masa de pan especial.

4.12 Balance de energía para el proceso de horneado en el pan especial

El balance de energía para el horneado del pan se realiza para 998,0 g de masa, y para el cual los cálculos se detallan en base a las condiciones de la ciudad de Tarija de; altura de 1866 msnm y presión atmosférica de 609 mmHg.

Para realizar el balance de energía en el horneado del pan especial se toma en cuenta la cantidad de calor necesario para calentar el aire dentro del horno, el calor necesario para hornear el pan especial y el calor necesario para evaporar el agua del pan.

La figura 4.57 muestra el horno para el balance de energía del horneado del pan especial.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.57 Horneado

Donde:

a = Ancho del horno (m)

b = Base del horno (m)

c = Altura del horno (m)

4.12.1 Balance de energía para calentar el horno

Para determinar el calor necesario para calentar el aire dentro del horno, inicialmente se determina la masa del aire dentro del horno para lo cual se utiliza la fórmula matemática para hallar el volumen del horno (ecuación 4.26) y posteriormente la masa del aire en base a la densidad (ecuación 4.27).

$$V = a * b * c \quad (\text{Ibicenca, 2017}) \quad \text{Ecuación 4.26}$$

Donde:

a = ancho del horno (m)

b = base del horno (m)

c = altura del horno (m)

V= volumen del aire (m³)

Reemplazando datos en la ecuación 4.26, para hallar el volumen del horno:

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

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

Para determinar la masa de aire dentro el horno se utiliza la fórmula de densidad:

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

donde:

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

m_{aire} = masa del aire (kg)

V = volumen del aire (m³)

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

$$m_{\text{aire}} = \rho * V \quad \text{Ecuación 4.28}$$

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

$$m_{\text{aire}} = 0,24 \text{ kg masa de aire}$$

Habiéndose hallado la masa del aire dentro del horno en base a la ecuación 4.28 según (Lewis, 1993), se determina el calor necesario para calentar el aire dentro del horno que inicia con la temperatura de 20°C y alcanza una temperatura final de 165°C.

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

Donde:

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

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

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

$\Delta T = (T_f - T_i)$ variación de la temperatura en el horno (160 - 20) °C

Reemplazando los datos en la ecuación 4.29:

$$Q_{\text{aire}} = 0,24 \text{ kg} * 0,24 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} * (160 - 20) ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{aire}} = 8,064 \text{ kcal}$$

4.12.2 Balance de energía para calentar la bandeja del horno

Para determinar el calor necesario para calentar la bandeja del horno se utiliza la ecuación 4.30.

$$Q_{\text{Bandeja}} = m_{\text{Bandeja}} * C_{p \text{ Bandeja}} * \Delta T \quad \text{Ecuación 4.30}$$

Donde:

Q_{Bandeja} = calor necesario para calentar la bandeja del horno (kcal)

m_{Bandeja} = masa de la bandeja del horno (0,272 kg)

$C_{p \text{ Bandeja}}$ = capacidad calorífica de la bandeja (0,22 kcal/kg °C) (Koshkin 1975)

$\Delta T = (T_f - T_i)$ variación de la temperatura en el horno (160 - 20) °C

Reemplazando los datos en la ecuación 4.30:

$$Q_{\text{Bandeja}} = 0,272 \text{ kg} * 0,22 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} * (160 - 20) ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{Bandeja}} = 8,38 \text{ kcal}$$

4.12.3 Balance de energía para hornear la masa del pan especial

Lewis (1993) indica que, para obtener el calor necesario para hornear la masa del pan, primero se determina el $C_{p \text{ pan}}$, en base a la ecuación 4.31, ecuación que es aplicada cuando se conoce la composición nutricional de la mezcla como ser: carbohidratos, agua, proteína, grasa, entre otras.

$$C_{p \text{ pan}} = \underbrace{m_a * C_a}_{\text{(agua)}} + \underbrace{m_c * C_c}_{\text{(carbohidratos)}} + \underbrace{m_p * C_p}_{\text{(proteína)}} + \underbrace{m_g * C_g}_{\text{(grasa)}} + \underbrace{m_z * C_z}_{\text{(ceniza)}} \quad \text{Ecuación 4.31}$$

Donde:

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

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

En la tabla 4.36, se muestra los calores específicos de cada componente alimentario.

Tabla 4.36

Composición de componentes alimentarios

Componente	Calor específico	Unidad
Ca	0,9990	Kcal/kg °C
Cc	0,3346	Kcal/kg °C
Cp	0,3824	Kcal/kg °C
Cg	0,4063	Kcal/kg °C
Cz	0,1912	Kcal/kg °C

Fuente: Lewis, 1993

Para el valor de las fracciones de la masa de cada componente, se toma en cuenta los resultados del pan especial de leche enriquecido con harina de quinua obtenido según (CEANID, 2023) (Anexo A), y en base a estos datos se convierte a fracción obteniendo:

$m_a = 0,2528$ (fracción de masa del componente agua)

$m_c = 0,5326$ (fracción de masa del componente carbohidrato)

$m_p = 0,0846$ (fracción de masa del componente proteína)

$m_g = 0,1110$ (fracción de masa del componente grasa)

$m_z = 0,019$ (fracción de masa del componente cenizas)

Obtenido los datos de fracciones de masa y datos de Cp de los componentes se reemplazaron en la ecuación 4.35 para hallar el Cp del pan:

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

$$C_{p \text{ pan}} = (0,2528 * 0,9990) + (0,5326 * 0,3346) + (0,0846 * 0,3824) + (0,1110 * 0,4063) + (0,019 * 0,1912)$$

$$C_{p \text{ pan}} = 0,51 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$$

Determinando el Cp del pan especial, se halla el calor necesario para el horneado del pan especial en base a la ecuación 4.32.

$$Q_{\text{pan}} = m_{\text{pan}} * C_{p \text{ pan}} * \Delta T + m_{\text{agua evap.}} * \lambda \quad \text{Ecuación 4.32}$$

Donde:

Q_{pan} = calor necesario para hornear la masa del pan especial (kcal)

m_{pan} = masa del pan especial (0,998 kg)

$C_{p \text{ pan}}$ = capacidad calorífica del pan especial (0,51 kcal/kg °C)

$m_{\text{agua evap.}}$ = masa del agua evaporada (0,09229 kg)

λ = landa de evaporización del agua (540 kcal/kg) (García, 2016)

$\Delta T = (T_f - T_i)$ variación de la temperatura en el horno (160 - 20) °C

Reemplazando los datos en la ecuación 4.32:

$$Q_{\text{pan}} = 0,998 \text{ kg} * 0,51 \text{ kcal/kg}^{\circ}\text{C} * (160 - 20) ^{\circ}\text{C} + 0,09229 \text{ kg} * 540 \text{ kcal/kg}$$

$$Q_{\text{pan}} = 121,09 \text{ kcal}$$

4.12.4 Balance de energía para evaporar el agua de la masa del pan especial

Para determinar el calor necesario para evaporar el agua de la masa del pan, se utiliza la ecuación 4.33.

$$Q_{\text{agua evap.}} = m_{\text{pan}} * X_{\text{pan}} * \lambda \quad \text{Ecuación 4.33}$$

Donde:

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

m_{agua} = masa del agua (0,998 kg)

λ = landa de evaporización del agua (540 kcal/kg) (García 2016)

X_{pan} = contenido de humedad de la masa (0,36)

Reemplazando los datos en la ecuación 4.33

$$Q_{\text{agua evap.}} = 0,998 \text{ kg} * 0,36 * 540 \text{ kcal/kg}$$

$$Q_{\text{agua evap.}} = 194,01 \text{ kcal}$$

4.13 Balance de energía para determinar la cantidad de calor total necesario en la elaboración del pan especial

Para determinar la cantidad total de calor necesario para llevar a cabo el calentamiento del agua para la elaboración de la masa y el horneado de la masa del pan especial, se utiliza la ecuación simplificada 4.34, (Valiente 1986).

$$QT = \Sigma Qi \quad \text{Ecuación 4.34}$$

Donde:

QT . = Calor total necesario para llevar a cabo el proceso

ΣQi = suma de calores involucrados en el proceso

Reemplazando los datos obtenidos en el proceso 4.34.

$$QT = Q_{T1} + Q_{\text{aire}} + Q_{\text{bandeja}} + Q_{\text{pan}} + Q_{\text{agua evap.}}$$

Donde:

$$Q_T = 162,06 \text{ kcal} + 8,064 \text{ kcal} + 8,38 \text{ kcal} + 121,09 \text{ kcal} + 194,01$$

$Q_T = 494,29$ kcal de calor para llevar a cabo el proceso.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- ❖ Según el análisis fisicoquímico de la harina de trigo marca Graciela contiene: ceniza 0,76%, fibra 1,37%, grasa 1,24%, hidratos de carbono 74,89%, humedad 11,74%, proteína total (Nx5,70) 10,00% y valor energético 350,72 Kcal/100g. Minerales: calcio 30 mg/100g y hierro 32,4 mg/100g. El análisis microbiológico presenta: mohos y levaduras $7,0 \times 10^1$ UFC/g *Staphylococo aureus* $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g. Manifestando que no existe desarrollo de colonias.
- ❖ Según el análisis fisicoquímico de la harina de quinua blanca contiene: ceniza 2,01%, fibra 4,83%, grasa 8,01%, hidratos de carbono 63,03%, humedad 9,87%, proteína total (Nx6,25) 12,25% y valor energético 373,21 Kcal/100g. Minerales: magnesio 138,0 mg/100g y fósforo 96,6 mg/100g. El análisis microbiológico presenta: mohos y levaduras $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g y *Staphylococo aureus* $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g. Manifestando que no existe desarrollo de colonias.
- ❖ Realizada la evaluación sensorial a las pruebas preliminares de pan común, se observó que las muestras de mayor preferencia por los jueces fueron PG3 y PSG4 entre los atributos (color, sabor, textura, corteza y olor) indicando el análisis estadístico de varianza que no existe una diferencia significativa para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. De manera que se tomó en cuenta la muestra PG3 por los parámetros de proceso y contenido nutricional de harina de trigo marca Graciela.
- ❖ Realizadas la variación del porcentaje de harina de quinua blanca se obtuvieron como muestras de mayor preferencia por los jueces PQ5 (10%) y PQ6 (8%) para los atributos color, sabor, textura, corteza y olor, que tienen una mediana mayor a 5,5 en una escala de siete puntos.
- ❖ Realizadas las variaciones se obtuvo como muestra ideal de pan especial de leche enriquecido con harina de quinua, la muestra PL6 por la preferencia de

los jueces para los atributos (color, sabor, textura, corteza y olor) obteniendo una mediana de 6,0 en la escala de siete puntos.

- ❖ Aplicado el diseño factorial 2^3 en la etapa de dosificación, se realizó mediante el estadístico StatGraphic el análisis de varianza para las variables respuesta humedad, acidez (ácido láctico) y pH. Se concluye: para el contenido de humedad (%) el factor A (harina de quinua) influye significativamente a medida que aumenta su porcentaje siendo $F_{cal} > F_{tab}$. Para el pH se observa que no existe evidencia estadística de variación en los factores analizados siendo $F_{cal} < F_{tab}$ y para la acidez (ácido láctico) no existe evidencia estadística de variación para los factores analizados siendo $F_{cal} < F_{tab}$.
- ❖ Realizada la evaluación sensorial comparando la muestra ideal (MPL) y las muestras del diseño (MP3 y MP7) se determinó por la preferencia de los jueces, que la muestra MPL es la muestra final.
- ❖ Realizado el control de los parámetros fisicoquímicos durante el almacenamiento se evidencio que el pan especial tiene un tiempo de almacenamiento de menos de once días sin la adición de conservante, presentando un valor de pH (5,80), acidez (ácido láctico) (0,21%) y un contenido de humedad (20,23%). Sin embargo, con la adición del propionato de calcio presenta un valor de pH (6,11), acidez (ácido láctico) (0,20 %) y un contenido de humedad (20,44%), durando su almacenamiento más de once días.
- ❖ Según el análisis fisicoquímico el pan especial de leche enriquecido con harina de quinua presenta: acidez 0,25%, ceniza 1,90%, fibra 2,41%, grasa 11,10%, hidratos de carbono 53,26%, humedad 25,28%, proteína total (Nx6,25) 8,46% y valor energético 346,78 Kcal/100g. Entre los minerales contiene: calcio 70,4 mg/100g, fósforo 184 mg/100g, magnesio 44,4 mg/100g y hierro 2,50 mg/100g.
- ❖ Según el análisis microbiológico el pan especial de leche enriquecido con harina de quinua presenta: bacterias aerobias mesófilas $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g,

mohos y levaduras $3,0 \times 10^1$ UFC/g y *Staphylococo aureus* $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g manifestando que no existe desarrollo de colonias.

- ❖ Realizando el balance de materia a partir de 998,00 gramos de masa de pan especial, se obtiene 872,97 gramos que equivale a 19 unidades de pan especial con un peso aproximado de 46g por unidad de pan especial. Igualmente, para determinar la cantidad total de calor necesario para las diferentes operaciones del proceso (calentamiento de agua, calentamiento del horno, bandeja, calor para evaporar el agua y horneado del pan especial), se requiere 494,29 kilocalorías.

5.2 Recomendaciones

- ❖ Realizar pruebas con la incorporación parcial de harina de quinua rosada y negra en la elaboración productos panificados, con la finalidad de aprovechar las bondades de este pseudocereal y también mejorar la nutrición alimentaria de la provincia de Cercado.
- ❖ Realizar el estudio de mercado y de pre-factibilidad del pan especial con la finalidad de conocer la preferencia e incluir en el mercado local una buena cantidad de nutrientes mediante el consumo de este producto en la provincia de Cercado.
- ❖ Realizar un estudio de alveogramas en la elaboración de productos panificados para la determinación de las propiedades de elasticidad, viscosidad y plasticidad en las masas.