

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En Bolivia la producción de harina de trigo, se registra durante los últimos 20 años, se consume el 10% y el 30% de trigo que es de origen nacional. Aun con los incrementos en la superficie destinada a la siembra de trigo, existen diferentes factores como la baja competitividad de precios, decisiones políticas y hasta factores climáticos, que han generado que las importaciones (legales e ilegales) continúen creciendo para la abastecer la demanda interna. Los datos proporcionados por el instituto nacional de estadísticas de Bolivia, muestran a argentina como el principal exportador de harina de trigo. (Flores, 2016)

El garbanzo y el amaranto son dos ingredientes que han atraído la atención de investigadores y expertos en la alimentación debido a sus beneficios nutricionales y propiedades funcionales. El garbanzo, rico en proteínas, fibra y minerales, ha sido objeto de estudios que demuestran su capacidad para mejorar la textura y el valor nutricional de productos horneados. Arancibia en su investigación sobre la harina de garbanzo, destacan su potencial como ingrediente funcional en productos de panadería y snacks (Arancibia et al., 2018).

El amaranto es considerado un pseudocereal que ofrece proteínas de alta calidad y un perfil de aminoácidos equilibrado, lo que lo convierte en una opción valiosa para enriquecer productos panificados. En este sentido, resaltan las propiedades culinarias y nutricionales del amaranto, demostrando su versatilidad en la preparación de alimentos (Becerra et al., 2017).

En Tarija hay aproximadamente cien panaderías industriales como artesanales 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 (Montaño, 2019).

1.2 Justificación

- Mediante el presente trabajo de investigación se pretende elaborar pan hamburguesa tipo americano a partir de harina de trigo, garbanzo y

amaranto, con la finalidad de tener otra alternativa de valor nutricional en cuanto al consumo de pan hamburguesa tipo americano para la población de Tarija.

- La producción de pan hamburguesa en la provincia Cercado Tarija está limitada solo a harinas de trigo. Por tanto, se pretende mejorar la composición nutricional del pan hamburguesa reemplazando, parte de la harina de trigo por la harina de garbanzo y amaranto con el fin de prevenir el sobrepeso en las personas que lo consuman, ya que este tipo de pan contiene una gran cantidad de fibra e hidratos de carbono complejos.
- La harina de (garbanzo y amaranto) para la elaboración de este tipo de pan se encuentra disponible en el mercado local y es poco conocida por los beneficios que aporta en la dieta, de esta forma se pretende incorporar e incentivar su consumo por sus propiedades nutricionales del garbanzo y amaranto, ya que su contenido de proteínas e hidratos de carbono ayudan a prevenir las enfermedades cardiovasculares.
- La harina de garbanzo y amaranto, subproductos poco comercializados en la provincia Cercado Tarija debido a la falta de información nutricional, que maneja la población tarijeña sobre estos tipos de harina. De tal manera se propone introducir productos alimenticios saludables al mercado local por su gran valor nutricional.

1.3 Objetivos

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

1.3.1 Objetivo general

Aplicar la metodología experimental del proceso de panificación que permita elaborar pan hamburguesa tipo americano a base de harina de trigo, garbanzo y amaranto, con la finalidad de obtener un producto de calidad nutricional para la provincia Cercado Tarija.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de las harinas de trigo, garbanzo y amaranto para identificar sus características.
- Realizar la evaluación sensorial de las pruebas preliminares de pan americano durante el proceso, con el propósito de obtener la muestra ideal.
- Aplicar el diseño experimental 2³ en la etapa de dosificación para identificar los parámetros óptimos del proceso.
- Realizar la evaluación sensorial de la muestra experimental e ideal para obtener el producto final de pan hamburguesas tipo americano.
- Controlar la acidez, pH y humedad en el producto final para determinar el tiempo de almacenamiento óptimo.
- Realizar el balance de materia y energía en las diferentes operaciones de la elaboración del pan tipo americano, para establecer las corrientes de entrada y salida.

1.4 Objeto de estudio

Aplicar la metodología experimental del proceso de panificación para obtener pan hamburguesa tipo americano a base de harina de trigo, garbanzo y amaranto para la provincia Cercado Tarija.

1.5 Campo de acción

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

- **Espacial:** Provincia de Cercado Tarija.
- **Temporal:** El presente trabajo se llevó a cabo durante la gestión (2022-2023).
- **Institución:** Laboratorio Taller De Alimentos y Laboratorio Académico de la Carrera Ingeniería de Alimentos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

1.6 Planteamiento del problema

En el mercado local del Departamento de Tarija existe una gran variedad de harinas de un gran valor nutricional, pero estas son poco aprovechadas debido al desconocimiento de sus propiedades nutricionales, como la harina de garbanzo que posee un alto contenido en fibras dietéticas y harina de amaranto que tiene un alto contenido en proteínas, fibras y almidones.

En el ámbito de la ciudad de Tarija, particularmente en la provincia de Cercado, las distintas panaderías y establecimientos locales (como Viena, Gloria, Palacio de las Masas, etc.) presentan una diversidad de opciones de panificados. Sin embargo, se nota la ausencia de un producto que reúna las características de un pan hamburguesa tipo americano, elaborada con harina de trigo, garbanzo y amaranto. El presente trabajo de investigación, tiene como propósito desarrollar un proceso de producción para elaborar pan hamburguesa tipo americano con la combinación de harinas, proporcionando así una alternativa que permita a la población de Tarija acceder a una dieta equilibrada y nutritiva en las personas comunes y con sobrepeso.

1.7 Formulación del problema

¿Cuál será la metodología experimental del proceso de panificación a ser aplicado, que permita obtener pan hamburguesa tipo americano a base de harina de trigo, garbanzo y amaranto, de calidad nutricional para la provincia cercado Tarija?

1.8 Hipótesis

La aplicación de la metodología experimental de proceso de panificación permitirá obtener pan hamburguesa tipo americano a base de harina de trigo, garbanzo y amaranto de calidad nutricional para la provincia cercado Tarija.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 Origen del pan

El pan tiene su origen 8000 años atrás, en las civilizaciones neolíticas sabedoras de las propiedades de los cereales que manejaban. Comenzó a producirse en las fértiles tierras de Oriente Medio, desde Iraq hasta las orillas del Nilo, donde se consumía como una mezcla espesa de harinas y agua, similar a las gachas, la cual no estaba sometida a ningún proceso de cocción (Pérez, 2017). Para (Gimeno, 2012) nos indica que el origen del pan se remonta al Neolítico, situándose entre 6000 y 9000 años atrás. De hecho, el pan, como principal alimento derivado del trigo, ha sido el mejor aliado de diferentes civilizaciones para vencer el hambre.

2.2 Definición del pan

El pan se define como el producto obtenido por la cocción en hornos y a temperatura conveniente de una masa fermentada o no, hecha con harina y agua potable, con o sin el agregado de levadura, con o sin la adicción de sal, con o sin la adicción de otras sustancias permitidas para esta clase de productos alimenticios. (Pèrez, 2010)

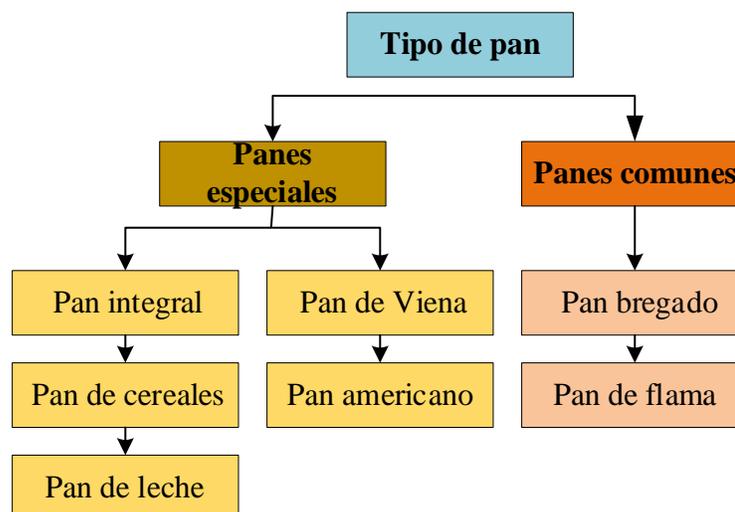
El pan es el producto obtenido por la cocción de una masa debidamente desarrollada (mezcla de la harina con los demás ingredientes) por un proceso controlado de fermentación láctica que alcanza un grado óptimo de madurez y elasticidad, hecha con harina de trigo y que puede ser mezclada con harinas sucedáneas. (Gutiérrez, 2020)

2.3 Clasificación del pan

Tanto el pan común, como el pan especial se clasifican en diferentes categorías, definidas en la Reglamentación Técnico-Sanitario Español. Es importante destacar que los productos semielaborados, una vez finalizado su proceso de elaboración (finalizando por completo su cocción y siendo aptos para consumo), se clasifican en alguna de las variedades de pan común o especial. (Gimeno, 2012)

2.4 Tipos de pan

Según (Mesas & Alegre, 2002) indica que la: “Reglamentación técnico sanitaria para la fabricación, circulación y comercio diferencia dos tipos de pan que son: pan común y pan especial” (Pág. 3), como se muestra en la figura 2.1.



Fuente: Mesas & Alegre, 2002

Figura 2.1: Tipos de pan

2.4.1 Pan común

Es aquel que se define como el de consumo habitual en el día, elaborado con harina de trigo, sal, levadura y agua, al que se le pueden añadir ciertos coadyuvantes tecnológicos y aditivos autorizados (Mesas & Alegre, 2002. Pág. 3).

2.4.1.1 Pan bregado

Es el obtenido mediante elaboración en la que es indispensable el uso de cilindros refinadores. Se consideran pan bregado todas las variedades regionales elaboradas a partir de una masa de pan candeal, con las distintas denominaciones que cada una adopta, como el lechuguino y el pan de cruz. (Gimeno, 2012)

2.4.1.2 Pan de flama

Es el obtenido con una mayor proporción de agua que el pan bregado y que no requiere normalmente el refinado con cilindros. Se consideran panes de flama todas aquellas

especialidades regionales y otras como la baguette, la chapata, el pan francés, el pan de payés, el gallego y todas las existentes elaboradas a partir de una masa de pan de flama, con las distintas denominaciones que cada una adopta. (Gimeno, 2012)

2.4.2 Pan especial

Es aquel que, por su composición, por incorporar algún aditivo o coadyuvante especial, por el tipo de harina, por otros ingredientes especiales (leche, huevos, grasas, cacao, etc.), por no llevar sal, por no haber sido fermentado, o por cualquier otra circunstancia autorizada (Mesas & Alegre, 2002).

2.4.2.1 Pan integral

Es aquel en cuya elaboración se utiliza harina integral, es decir, la obtenida por trituración del grano completo, sin separar ninguna parte del mismo (Mesas & Alegre, 2002, Pág. 3).

2.4.2.2 Pan de Viena

Se refiere a un tipo de pan de origen austriaco que se caracteriza por tener una textura suave y esponjosa, una corteza fina y dorada, y un sabor ligeramente dulce. Este pan se elabora utilizando una técnica de fermentación prolongada que le confiere su característica esponjosidad.

Pan de Viena también llamado pan francés es el pan de flama elaborado a base de masa blanda, entre cuyos ingredientes deben figurar, además de los básicos, azúcares, leche o ambos a la vez, en la cantidad suficiente para una buena práctica de fabricación. (Gimeno, 2012)

2.4.2.3 Pan americano

Es aquel que tiene una ligera corteza blanda y que para su cocción ha sido introducido en molde (Gimeno, 2012, Pag.37).

2.4.2.4 Pan de cereales

Es el elaborado con harina de trigo más otra harina en proporción no inferior al 51%. Recibe el nombre de este último cereal. Ejemplo: pan de centeno, pan de maíz, etc. (Arteaga, 2010, Pág. 19).

2.4.2.5 Pan de leche

Es un tipo de pan dulce de origen francés, muy ligero y sabroso. Lo más característico de este pan es su corteza, de un color dorado, en comparación con su interior blanquecino. Como el pan puede adoptar numerosas formas, todas las que se quiera, desde la forma típica del panecillo hasta formas geométricas. (García, 2018)

2.5 Pan hamburguesa tipo americano

La definición de "pan hamburguesa tipo americano" se refiere a un tipo de pan específicamente diseñado para ser utilizado en la preparación de hamburguesas al estilo americano. Este tipo de pan es suave y esponjoso, con un diámetro y grosor adecuado para sostener una hamburguesa y otros ingredientes como lechuga, tomate, queso y salsas. Su textura y tamaño son ideales para complementar el sabor de la carne de la hamburguesa y otros elementos, proporcionando una experiencia de consumo satisfactoria. (Smith, 2019)

2.6 Propiedades nutricionales del pan hamburguesa tipo americano

El pan provee a la dieta diaria una cantidad moderada de energía y cantidades importantes de distintos macro y micronutrientes. Destaca su contenido en hidratos de carbono, proteínas, fibra y calcio, aunque también aporta cantidades importantes de magnesio, hierro y fósforo (Gimeno, 2012).

2.7 Características físicas del pan hamburguesa tipo americano

Las principales características físicas y sensoriales que deben considerarse en el proceso de panificación son: volumen y forma, estructura y recuperación de la miga, olor, color, textura, sabor y suavidad. (Benavides, 2011, Pág. 11)

2.8 Aplicaciones del pan hamburguesa tipo americano al ser humano

El pan es uno de los alimentos más destacados por las dietas alimenticias también ayuda a nuestro organismo en la prevención de enfermedades cardiovasculares. Ingerido de una forma adecuada nos aporta fibra en mayor medida si apostamos por variedades integrales o multicereales algo muy necesario para el buen tránsito de nuestro organismo y nuestra salud digestiva. También proporciona al organismo minerales como el calcio, el hierro, el zinc y posee un aporte muy bajo de grasas naturales (Claire, 2018).

El pan es un claro componente de la dieta, que ha sido utilizado como sustrato de diversos ingredientes funcionales como la fibra o algunos micronutrientes añadidos a las harinas. Sin embargo, las posibilidades del pan como alimento funcional son inmensas y han sido muy poco explotadas hasta el momento comparativamente con otros sectores de la alimentación (Hernández & Majen, 2010).

2.9 Caracterización de las harinas de trigo, garbanzo y amaranto para la elaboración del pan de hamburguesa tipo americano

Las harinas comprenden un acercamiento bromatológico y morfológico que nos permite una correlación y otros granos no convencionales tales como las leguminosas, se perciben como entre las microestructuras, y propiedades funcionales. Entre ellas el arroz que es potencial ingredientes en el desarrollo de productos a nivel mundial. Las harinas para un proceso de panificación dependen mucho de su pureza porque es un factor muy importante para su valor comercial (Leon & Rosell, 2007).

2.9.1 Harina de trigo

Técnicamente la harina es el producto obtenido por la molienda gradual y sistemática de granos de trigo de la especie *triticum aestivum*. Vulgares, previa separación de las impurezas y lavado hasta un grado de extracción determinado (78%). Las proteínas contenidas en ella definen los tipos de harina en calidad y uso final. El alto contenido proteico hace del trigo un ingrediente ideal para la elaboración del pan. Cuando se trabaja la masa, la proteína de la harina se transforma en gluten, sustancia elástica que

absorbe el dióxido de carbono gaseoso liberado por el agente leudante, y hace que la masa aumente de tamaño. (Food, 2011)

Según (Innograin, 2020) manifiesta que: “esta harina se clasifica de acuerdo a la numeración por (ceros), en la que los ceros determinan el grado de pureza de las harinas y fuerzas de la harina (factores muy importantes en elaboración de productos), de esta manera se tiene”:

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

2.9.1.1 Composición química de la harina de trigo

La composición química de la harina de trigo por 100 g, se muestra en la tabla 2.1

Tabla 2.1

Composición química de la harina de trigo

Componentes	Cantidad	Unidad
Energía	340,00	kcal
Grasas totales	2,50	%
Carbohidratos	72,00	%
Colesterol	0,00	%
Sodio	2,00	%
Agua	10,74	%
Proteínas	13,21	%

Fuente: Packbot, 2022

2.9.1.2 Propiedades nutricionales de la harina de trigo

La harina de trigo y de los productos derivados de sus harinas fueron una fuente importante para la humanidad, ya que tienen un alto porcentaje de hierro, calcio, vitaminas y fibra, que son necesarios consumirlo para el crecimiento de los seres humanos. (Canarias, 2015)

La harina proveniente del trigo por haber sido tamizado y eliminado del salvado y el germen lo que, por un lado, la hace mucho más fácil de digerir, pero, por otro, reduce notablemente su valor nutricional. Menos de proteína y 3 veces menos de fibra. Contiene menos vitaminas del tipo E y del grupo B y minerales como el magnesio, el hierro y el zinc que la harina de trigo integral. (Guillen, 2021)

2.9.2 Harina de garbanzo

Harina de garbanzo, un alimento no tan habitual como otras variedades de harinas, pero igual de útil y nutritivo, además de destacar precisamente por ser tremendamente deliciosa Como hemos indicado brevemente en las líneas anteriores, nos encontramos ante una harina que se obtiene a partir de la trituration de los garbanzos. Para conseguirlo se utilizan directamente garbanzos secos, que al triturarlos se convierte en una especie de polvo fino de color amarillo y con un característico sabor a garbanzo. Es decir, se trata de una harina mucho más aromática y con más sabor que por ejemplo la harina de trigo común. (Perèz, 2017)

2.9.2.1 Composición química de la harina de garbanzo

La composición química de la harina de garbanzo por 100 g, se muestra en la tabla 2.2.

Tabla 2.2

Composición química de la harina de garbanzo

Componentes	Cantidad	Unidad
Valor energético	359,50	Kcal
Grasas totales	6,69	%
Hidratos de carbono	67,20	%
Proteínas	29,90	%
Calcio	56,30	%
Fibra	3,30	%
Hierro	7,20	%

Fuente: Pérez, 2017

2.9.2.2 Propiedades nutricionales de la harina de garbanzo

La harina de garbanzo está compuesta por una estupenda proporción de compuestos antioxidantes, entre ellos polifenoles. Los antioxidantes tienen un papel muy importante en el organismo, ya que ayudan a combatir la presencia de los radicales libres, responsables del desarrollo de múltiples enfermedades crónicas. La harina de garbanzo, en la actualidad, es la harina que más proteína posee, por encima de las harinas blancas, de trigo, de maíz, centeno, yuca y otras más. Este alimento se caracteriza por poseer una estupenda concentración de almidón, lo cual permite que su absorción sea bastante lenta. Por su contenido en almidón, uno de los beneficios de la harina de garbanzo es que su consumo favorece el proceso de la digestión, sobre todo, en personas que padecen de diabetes o que tienen tendencia a la resistencia a la insulina, ya que ayuda en el control de la glucosa sanguínea y su adecuada utilización. (Días, 2021)

2.9.3 Harina de amaranto

La harina de amaranto se define como un producto de necesidad básica y con demanda continua para las personas con determinadas afecciones (celiacos, diabéticos y personas con osteoporosis). Entre los beneficios de la harina de amaranto encontramos que tiene un elevado contenido de proteínas, fibras y lisina, un aminoácido esencial.

También cuentan con un contenido alto de fitoesteroles que ayudan a prevenir diferentes enfermedades (Martinez & Salazar, 2017).

2.9.3.1 Composición química de la harina de amaranto

La composición química de la harina de amaranto por 100 g, se muestra en la tabla 2.3.

Tabla 2.3

Composición química de la harina de amaranto

Componentes	Cantidad	Unidad
Energía	371,0	Kcal
Grasas totales	7,0	%
Carbohidratos	65,0	%
Fibra	6,7	%
Potasio	508,0	%
Calcio	159,0	%
Proteínas	14,0	%

Fuente: Manzanero, 2021

2.9.3.2 Propiedades nutricionales de la harina de amaranto

La harina de amaranto tiene un elevado contenido de proteínas, fibras y lisina, un aminoácido esencial. Este cereal también cuenta con un contenido alto de fitoesteroles, los que pueden ayudar a prevenir enfermedades, para los individuos sensibles o intolerantes al gluten, el amaranto es una buena harina para cocinar, ya que no lo contiene. (Herndon, 2017)

2.10 Caracterización de los insumos utilizados en la elaboración del pan hamburguesa tipo americano

A continuación, se describen los insumos que serán utilizados en la elaboración del pan americano

2.10.1 Azúcar refinada granulada

El azúcar endulza la masa, actúa acentuando las características de aroma del pastel y el color dorado de la superficie. Hace más lenta la formación de gluten, pues forma una capa protectora sobre las partículas de harina y mantiene la masa humectada, retrasando el proceso de endurecimiento. Por lo tanto, también aumenta el rango de conservación, el agregado de pequeñas cantidades de azúcar a masas de levadura, produce una fermentación más activa al ser demolido por las enzimas de la levadura (sacarosa, zimasa). Mayores cantidades de azúcar, en cambio, demoran la fermentación, pues el azúcar daña la levadura al extraer el agua. Las masas ricas en azúcar, deben por ello, llevar una mayor cantidad de levadura y se recomienda la preparación de una esponja. (Quinteros, 2014)

2.10.2 Sal fina yodada

La sal evita el blanqueamiento de la miga. Los pigmentos responsables del color crema de la miga pueden oxidarse en presencia de oxígeno, algo que ocurre durante el amasado. Cuando se oxidan, estos pigmentos pierden su color, blanqueando la masa, y posteriormente la miga. La sal tiene características antioxidantes, evitando estas oxidaciones y manteniendo estos pigmentos activos. La sal es un potenciador de sabor. Este es el efecto más importante y difícil de imitar de la sal, no solo aporta sabor salado, sino que predispone nuestras papilas gustativas para que estén atentas y sientan el resto de los sabores con más intensidad. (Innograin, 2020)

La sal en panificación cumple una función importante de aumentar la firmeza de la masa y su manejabilidad. Aumenta la absorción de agua, ayuda que el gluten absorba más agua, permitiendo la elaboración de masas con porcentajes de hidratación más elevados. (Hermoso, 2022)

2.10.3 Manteca vegetal

Su principal función es dar suavidad a la masa, también proporciona una mayor vida de anaquel al producto al inhibir la pérdida de agua y de sustancias volátiles como los saborizantes. Durante la panificación la manteca vegetal actúa como emulsionantes,

confiriéndole a la masa mayor estabilidad respecto a la que se puede obtener solamente con proteínas. (Pacheco, 2016)

La manteca vegetal brinda el aporte más significativo en el sabor, color, textura del producto final. Las grasas sólidas ayudan al crecimiento de la masa ya que atrapan burbujas de aire, que se expanden cuando se someten al calor del horno. Además, las propiedades emulsionantes de las grasas permiten que los productos horneados mantengan la humedad y resistan el endurecimiento, lo que incrementa su vida útil. (Gonzales, 2015)

2.10.4 Levadura seca

Definición de levaduras son hongos microscópicos, habitualmente unicelulares. Aunque la aparición de hongos en nuestros productos alimenticios generalmente nos hace pensar que no es bueno, no es el caso con las levaduras, que se llevan usando de forma controlada miles de años. La levadura o fermento resulta tan importante y útil para nosotros por su capacidad de llevar a cabo la descomposición de azúcares e hidratos de carbono en un proceso conocido como fermentación. (Acosta, 2021)

La función de la levadura en panadería es generar CO₂, que provoca el crecimiento de la masa y se forme una estructura suave y esponjosa en la miga. Es posible encontrar este producto en presentaciones varias y cada una requiere un tratamiento distinto. La levadura líquida y sólida prensada contienen levaduras vivas activas, la sólida deshidratada, por el contrario, contiene levaduras en reposo que se activa durante el amasado. (Mesa, 2022)

2.10.5 Agua

El agua es el segundo ingrediente mayoritario en la masa, con lo que se puede realizar el amasado de las harinas, la presencia del agua en el amasado hace que se lleve a cabo el desarrollo de las levaduras y los otros ingredientes en la fermentación. (Rodríguez, 2017)

El agua cumple una función muy importante que es de hidratar las partículas del almidón y luego comenzará la formación de la masa. Dependiendo de qué cereal se obtiene la harina y la consistencia de la masa, se le adicionará la cantidad determinada de agua; el uso de agua en exceso creará una masa con una consistencia suave mientras que menos generará una masa más tiesa. La mayoría de las panaderías confían en la experiencia del mezclador para alcanzar la temperatura requerida (23 a 24° C). (Rojas, 2014)

2.11 Operaciones en el proceso de elaboración de productos panificados

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

2.11.1 Amasado

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

2.11.2 Fermentación panaria

La fermentación es un proceso natural por el cual unas moléculas complejas se degradan y se transforman en otras más simples al tiempo que se produce energía. En el caso del pan, la levadura se alimenta de parte del azúcar naturalmente presente en la harina y se producen dos fenómenos. Por un lado, genera dióxido de carbono y etanol, qué es lo que ayuda al levado del pan en el horno y genera la estructura alveolar. Por otro lado, produce un gran número de moléculas, que son las que generan el sabor del pan. (Lesaffre, 2020)

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

2.11.2.1 Fermentación alcohólica del pan

Proceso natural por el cual las moléculas complejas se degradan y transforman el almidón presente en la harina (un azúcar complejo) en glucosa (azúcares simples). Durante este proceso, la levadura se alimenta de parte del azúcar naturalmente presente en la harina y el azúcar añadido, generando dióxido de carbono y etanol, provocando el levado del pan en el horno, a la vez que genera la estructura alveolar. Por otro lado, produce un gran número de moléculas, que son las que generan el sabor del pan. (Conty, 2020)

2.11.2.2 Fermentación láctica del pan

Es aquella en la que la leche se cuaja a continuación de la formación de ácido láctico. En esta etapa la lactosa una vez hidrolizada a monosacárido se transforma en ácido láctico. Esta fermentación se debe a los lactobacilos que llegan a la masa a través de la harina y que también la levadura puede contener. Actúan muy lentamente a temperaturas normales (25°C), incluso a bajas temperaturas lo hacen muy débilmente, pero a 35°C es cuando ejercen su actividad plena. En aquellas fermentaciones en las que se abuse de las altas temperaturas en la cámara de fermentación, se corre el riesgo de producir un exceso de ácido láctico, lo que influirá negativamente en la calidad del pan. (Conty, 2020)

2.11.3 Factores que influyen en la fermentación del pan

Según (Conty, 2020), afirma “que los factores que influyen en la fermentación panaria, pueden ser factores referidos a las materias primas, factor propio de la masa o factor externo” (Pág. 117).

2.11.3.1 Factores referidos a las materias primas e insumos en la elaboración del pan hamburguesa tipo americano

(Conty, 2020), nos dice los factores que influyen en la fermentación panaria y tienen consecuencias sobre la producción de gas y las cualidades plásticas de la masa referidos a las materias primas que son:

- **Harina:** La cantidad de maltosa que contiene la harina afecta directamente la capacidad fermentativa, por lo que supone un alimento directamente asimilable por la levadura. La velocidad de fermentación aumenta proporcionalmente al índice de maltosa. Por el contrario, un defecto en el valor índice de maltosa significa que la harina contiene poca actividad de azúcar asimilable para la levadura; la consecuencia directa en estos casos es una fermentación lenta, poco volumen y tras la cocción el pan no presenta buen color, debido a la falta de azúcares. La calidad del gluten es un factor importante para la obtención de un buen pan.
- **Levadura:** La cantidad de levadura tiene una acción directa sobre la actividad de la fermentación, cuanto mayor cantidad de levadura ésta se consumirá más rápidamente el alimento, la velocidad será mayor pero no la cantidad de gas, ya que producirá la misma. Por lo tanto, la cantidad de gas no es proporcional a la cantidad de levadura añadida.
- **Sal:** Si ésta se añade en exceso transfigurará el sabor en el pan y la fermentación será lenta. Si está en defecto, la fermentación se acelerará.
- **Manteca y azúcares:** Con la adición de estos ingredientes en la masa y como hemos comentado en capítulos anteriores, la actividad fermentativa se reduce. Dependiendo de la dosis de grasa o azúcar, la velocidad de fermentación puede aumentar o disminuir.
- **Conservantes:** La dosificación de conservantes, reguladores del pH y los azúcares, afectan negativamente a la fermentación. Por lo tanto, es necesario aumentar la dosis de levadura cuando estos se utilizan.

2.11.3.2 Factores propios de la masa en la elaboración del pan hamburguesa tipo americano

Según (Conty, 2020), los factores propios de la masa son:

- **Hidratación:** Las masas blandas (hidratadas) fermentan mucho más rápido que una masa dura, debido a que la acción de la levadura es favorable cuando hay mayor actividad de agua.
- **Temperatura:** la temperatura de la masa, temperatura de la cámara de fermentación y el porcentaje de levadura añadida está directamente relacionado con la velocidad de producción de gas, a medida que aumenta la temperatura y la dosis de levadura, el tiempo que tarda la masa en alcanzar el volumen óptimo de fermentación disminuye.
- **Acidez (pH):** La masa es por naturaleza ácida y la acidez aumenta ligeramente a lo largo de la fermentación. Un exceso de acidez produce un aumento excesivo de fuerza. Por el contrario, si hay una falta de acidez corremos el riesgo que actúe el *Bacillus mesentericus*. La acidez (pH) óptima de la masa a su entrada al horno deberá ser de 5,2 a 5,5

2.11.3.3 Factores externos en la fermentación en la elaboración del pan hamburguesa tipo americano

Los factores externos que influyen en la fermentación del pan son los siguientes:

- **Temperatura ambiente:** La temperatura ambiente, así como la de la cámara de fermentación, actúan sobre la temperatura de la masa y, por consiguiente, sobre el desarrollo de la fermentación. Entre 20 y 40°C, cada grado de incremento aumenta un 10% el poder fermentativo. A 55°C muere la levadura, entre 2 y 4°C está prácticamente aletargada y entre 10 y 12°C fermenta muy despacio. (Conty, 2020)
- **Humedad:** La humedad tiene una gran importancia sobre las cualidades plásticas de la masa en el desarrollo de la fermentación. Un exceso de humedad produce una masa pegajosa, por el contrario, la falta de humedad provoca la deshidratación de la capa externa en la masa, haciéndola poco extensible para que se desarrolle la fermentación con normalidad. Durante el periodo de fermentación la masa debe cubrirse con telas o plásticos para evitar pérdidas

superficiales en la parte externa de la masa. Si esto ocurre en exceso, la masa experimenta mucha dificultad para fermentar y aumentar de volumen, aunque la actividad fermentativa de las levaduras continúe. (Conty, 2020)

2.12. Factores importantes durante el proceso de elaboración del pan hamburguesa tipo americano

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

2.12.1 El gluten

Un conjunto proteico conocido comúnmente con el nombre del gluten, que se forma durante la elaboración del pan, favorece la unión de todos los insumos formando el mallado elástico que permita el crecimiento de la masa. Está conformado principalmente por glutenina y gliadina. Aunque el gluten es poco nutritivo, es la responsable de aportar esponjosidad, extensibilidad y elasticidad a los elaborados (Ruiz, 2022)

2.12.2 Hidratación

La hidratación es la cantidad de agua necesaria para elaborar una masa. Se expresa en porcentajes sobre la cantidad de harina; la tasa de hidratación, indica el número de litros de agua sobre 100 Kg de harina, en una masa muy hidratada el gluten se desarrolla más lento ya que el elevado porcentaje de agua dificulta el desarrollo de la masa. (Flecha, 2017)

2.12.3 Extensibilidad

Es la capacidad de la masa para dejarse estirar y modelar sin presentar roturas ni desgarros. En toda masa es necesaria una cierta extensibilidad que le permita soportar las operaciones propias del proceso de elaboración y, a la vez, ceder al impulso gaseoso de la fermentación y al posterior desarrollo del pan durante los primeros minutos de cocción. (Flecha, 2017)

2.12.4 Elasticidad

Es la actitud que presenta la masa para retomar a su forma inicial después de un proceso de formación. La elasticidad lo encontramos al intentar estirar una barra inmediatamente después del formado, en la que muestra una clara tendencia al encogimiento. Al igual que la extensibilidad, es un factor necesario en las masas, ya que, en cierta medida, expresa el comportamiento de las masas durante la fermentación y cocción. (Flecha, 2017)

2.12.5 Tenacidad

Es la fuerza necesaria que hay que aplicar a una masa para deformarla, directamente determinada por el contenido proteico de la harina, la acción o no de aditivos y fases del proceso en mayor o menor medida repercuten directamente sobre ella, este factor es determinante para obtener un buen producto panificable. (Flecha, 2017)

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.1 Desarrollo de la parte experimental

La parte experimental del trabajo “elaboración de pan hamburguesa tipo americano”, se llevó a cabo en el Laboratorio de Taller de Alimentos (LTA) y Laboratorio de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA); pertenecientes a la Carrera de Ingeniería de Alimentos de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

3.2 Tipo de intervención experimental

La metodología que se considera en el presente trabajo de investigación, es la metodología experimental de laboratorio para la obtención de resultados experimentales con el fin de desarrollar un producto en base a los siguientes métodos y análisis:

- ❖ Análisis fisicoquímico y microbiológico de las harinas de trigo, garbanzo y amaranto.
- ❖ Análisis fisicoquímico y microbiológico del pan hamburguesa tipo americano.
- ❖ Análisis del diseño factorial 2^3 para la etapa de dosificación del pan hamburguesa tipo americano.
- ❖ Análisis sensorial del pan hamburguesa tipo americano.
- ❖ Análisis de acidez (ácido láctico), pH y humedad en el almacenamiento
- ❖ Operacionalización de las variables de la elaboración de pan hamburguesa tipo americano.

3.3 Paradigma investigativo

Según (Hurtado & Toro, 1997), define que un paradigma investigativo es una concepción del objeto de estudio de una ciencia, de los problemas para estudiar de la naturaleza de sus métodos y formas de explicar, interpretar o comprender los resultados de la investigación realizada. Para (Ricoy, 2006), el paradigma positivista se califica de cuantitativo, empírico-analítico, racionista, sistemático gerencial y científica tecnológica. Por lo tanto, el paradigma positivista sustentara a la investigación que

tenga un objetivo comprobar una hipótesis por medios estadísticos o determinar los parámetros de una determinada variable mediante la expresión numérica.

El tipo de paradigma aplicado en el presente trabajo fue empírico analítico, por el estudio de sus métodos como también por el análisis estadístico.

3.4 Enfoque de investigación

Según (Hernández et al., 2010), “La investigación cuantitativa es la que recopila información para poner a prueba o comprobar las hipótesis mediante el uso de estrategias estadísticas basada en la medición numérica” (Pág. 36). Para (Galeano, 2004) también indica que “El uso de la estadística y el método experimental son herramientas a las que acude el investigador para analizar la realidad en un enfoque cuantitativo” (Pág. 14).

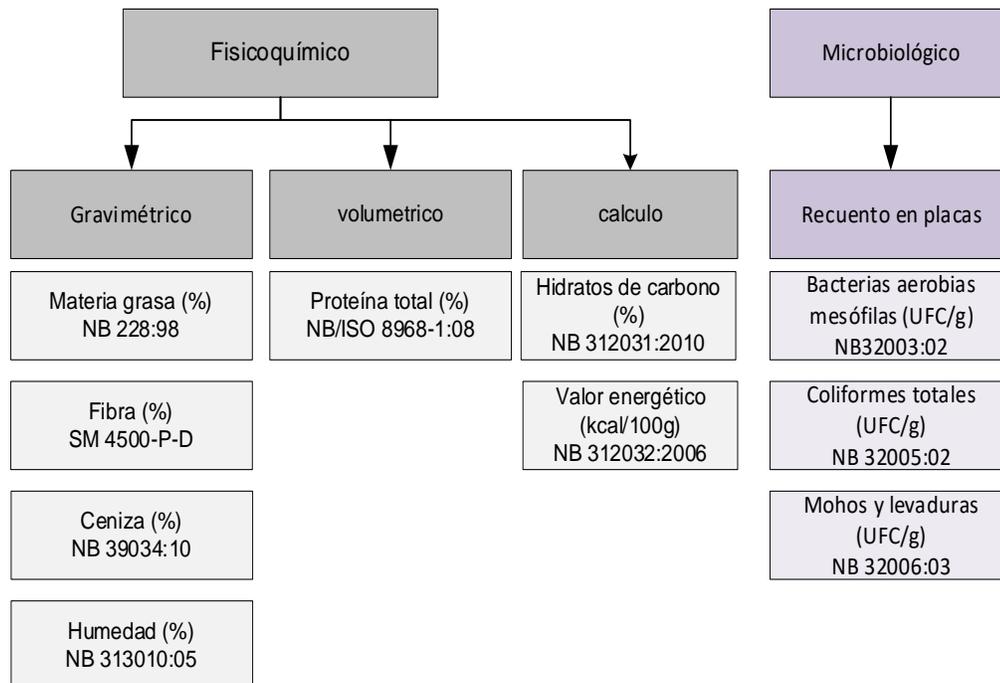
3.5 Método – técnica e instrumentos

Según (Arias, 2012), el método científico es el conjunto de pasos, técnicas y procedimientos que se emplean para formular y resolver problemas teóricos en el área de la realidad social para buscar respuestas a ellos y obtener nuevos conocimientos que sean posible a la realidad. Así mismo (Ñaupas et al., 2014), indica que “las técnicas e instrumentos de investigación se refiere a los procedimientos y herramientas mediante los cuales vamos a recoger datos e información necesaria para probar o comprobar la hipótesis de investigación” (Pág. 73).

Los métodos y técnicas que se utilizan en el trabajo de investigación, son los siguientes:

3.5.1 Análisis fisicoquímico y microbiológico de la harina de trigo, garbanzo y amaranto

Los análisis fisicoquímicos y microbiológico de la harina de trigo, garbanzo y amaranto (figura 3.1) fueron realizados en el Centro de Análisis Investigación y desarrollo (CEANID); dependiente de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

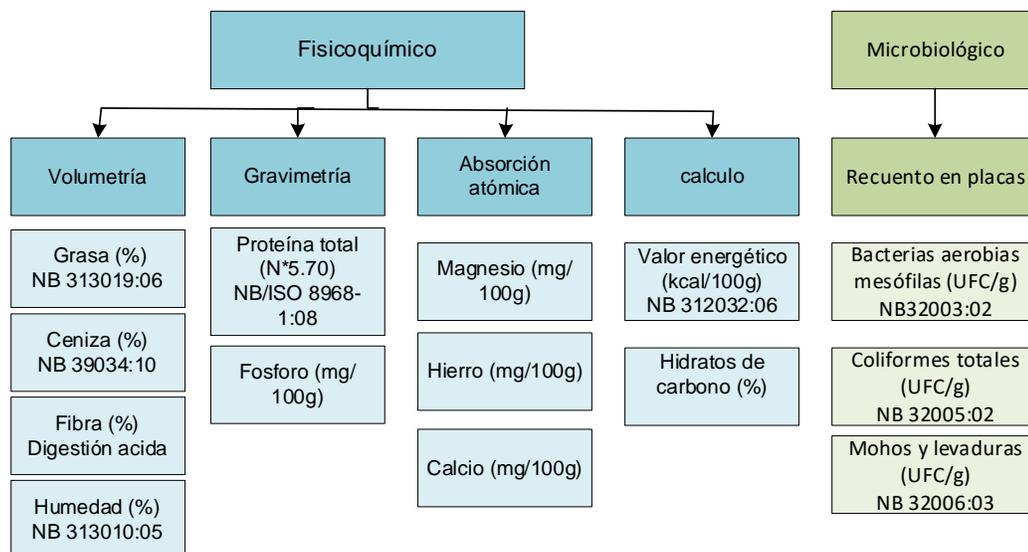


Fuente: CEANID, 2023.

Figura 3.1: Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la harina de trigo, garbanzo y amaranto.

3.5.2 Análisis fisicoquímico, minerales y microbiológico del pan hamburguesa tipo americano

Los análisis fisicoquímicos, minerales y microbiológico del pan hamburguesa (figura3.2), fueron realizados en el Centro de Análisis Investigación y desarrollo (CEANID); dependiente de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.



Fuente: CEANID, 2023.

Figura 3.2: Análisis físico-químico, minerales y microbiológico del pan hamburguesa tipo americano.

3.6 Equipos, instrumentos, materiales de laboratorio y utensilios de cocina

Los equipos, instrumentos, materiales de laboratorio y utensilios de cocina que se utilizan en el presente trabajo, se detalla a continuación:

3.6.1 Equipos

Los equipos utilizados en el presente trabajo de investigación, están ubicados en el laboratorio Taller de Alimentos (LTA). En la figura 3.3, se detalla las especificaciones técnicas.

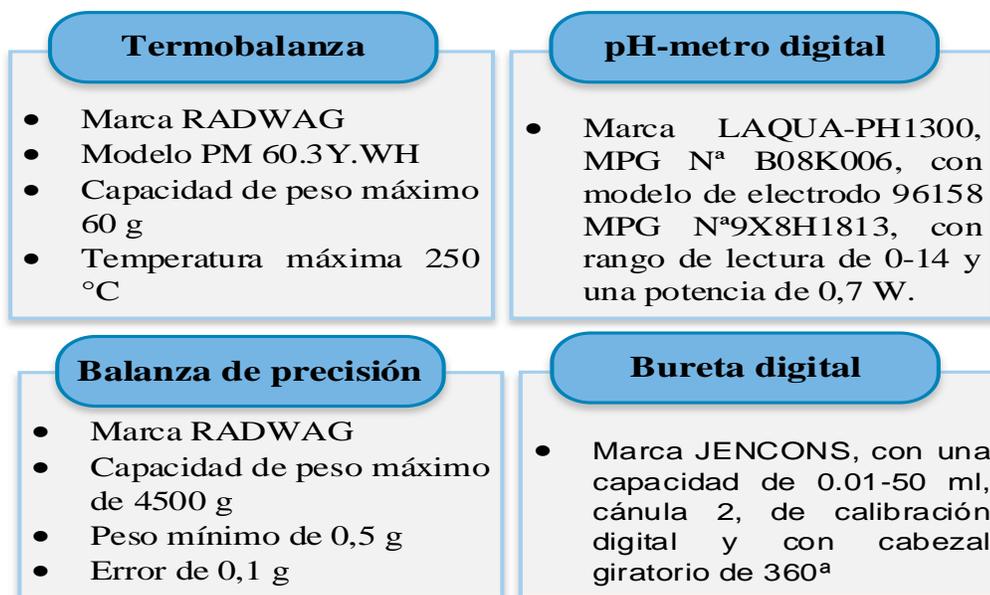


Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.3: Equipo para la elaboración de pan hamburguesa tipo americano.

3.6.2 Instrumentos de laboratorio

Los instrumentos de laboratorio utilizados en el presente trabajo de investigación Anexo B, se encuentran en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería Alimentos (LACIA) y Taller de Alimentos (LTA). La figura 3.4, se detallan las especificaciones técnicas.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.4: Instrumentos de laboratorio

3.6.3 Materiales de laboratorio

Los materiales de laboratorio utilizados en el presente trabajo Anexo B, se detalla a continuación:

Vasos de precipitado: Material de vidrio (250 y 50 ml).

Espátula: Material de acero inoxidable, tamaño mediano.

Pipeta: Material de vidrio y de capacidad 10 ml.

Vidrio de reloj: Material de vidrio, tamaño mediano.

Varillas: Material de vidrio, tamaño mediano.

Matraz Erlenmeyer: Material de vidrio, volumen de 250 ml.

Probeta: Material de vidrio, volumen de 100 ml – 1 ml.

3.6.4 Utensilio de cocina

Los utensilios utilizados en el presente trabajo de investigación (Anexo B), se detallan a continuación:

- ❖ **Fuente:** Material de plástico, tamaño mediano.
- ❖ **Cuchara:** Material de acero inoxidable, tamaño mediano.
- ❖ **Vaso:** Material de plástico, tamaño pequeño.
- ❖ **Jarra:** Material de plástico, tamaño pequeño.

3.7 Descripción de los insumos, aditivo alimentario y reactivo químico

Los reactivos químicos, insumos y aditivos alimentarios utilizados en el presente trabajo de elaboración de pan hamburguesa tipo americano, se detalla a continuación:

3.7.1 Insumos y aditivo alimentario

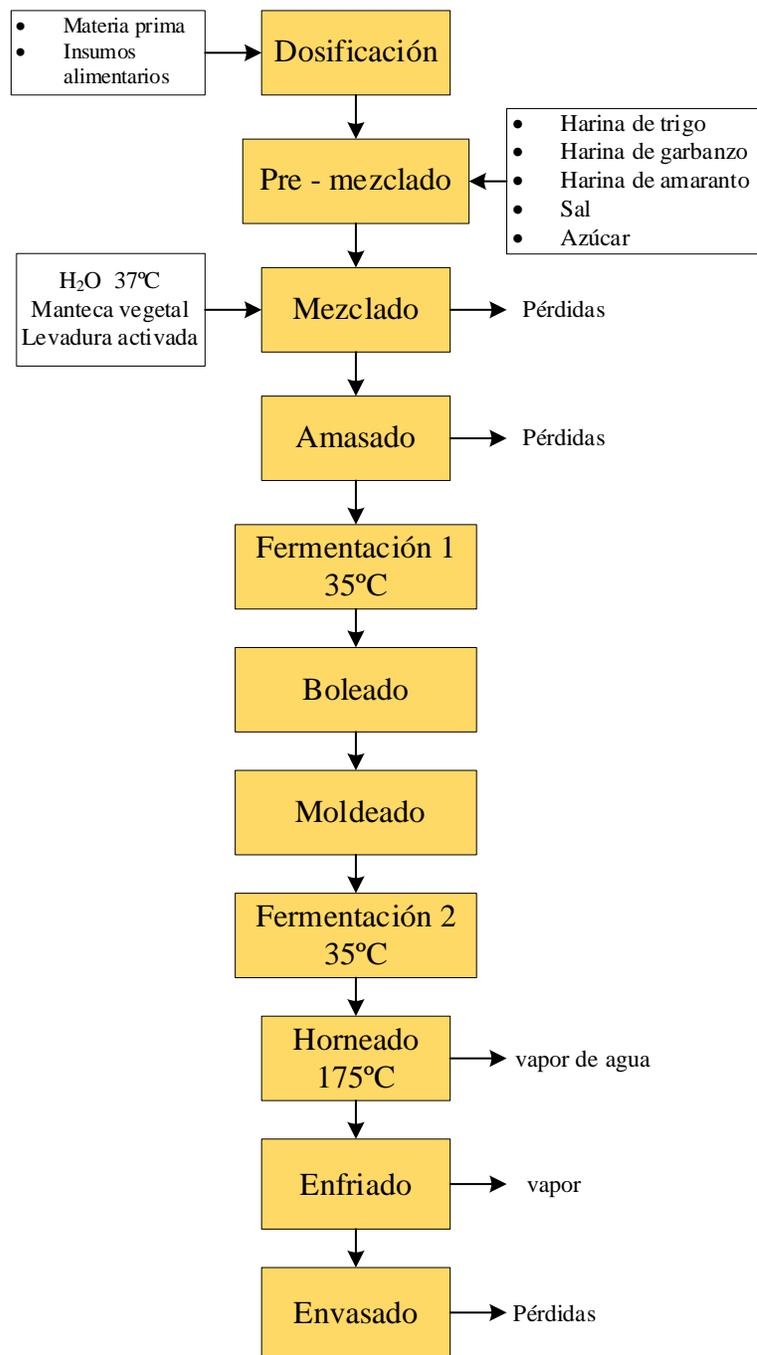
Los insumos utilizados en la elaboración de pan hamburguesa tipo americano son: manteca vegetal, sal, azúcar, levadura y agua, obtenidas de la tienda local. El aditivo alimentario, propionato de calcio (E282) se obtiene de la tienda “Esencial” (Anexo B).

3.7.2 Reactivo químico

Los reactivos utilizados para la determinación de acidez es hidróxido de sodio (0,1N) y la fenolftaleína al (0,1%) Anexo B.

3.8 Diagrama de flujo para el proceso de elaboración de pan hamburguesa tipo americano

En la figura 3.5, se muestra el diagrama de flujo para el proceso de elaboración de pan hamburguesa tipo americano.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.5: Diagrama de flujo del proceso de elaboración de pan hamburguesa tipo americano

3.8.1 Descripción del diagrama del proceso de elaboración de pan hamburguesa tipo americano

A continuación, se describe las operaciones necesarias para llevar a cabo el proceso de elaboración de pan hamburguesa tipo americano.

Dosificación

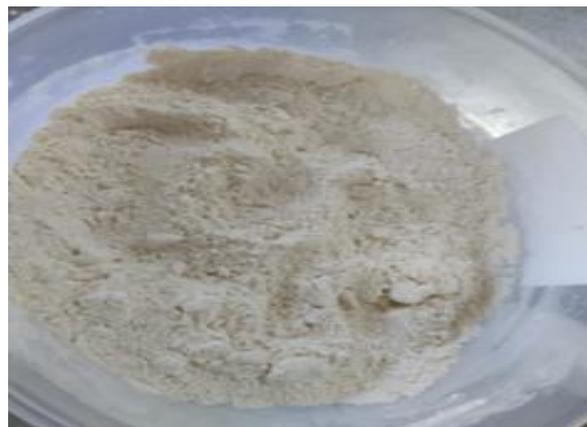
La figura 3.6, muestra las materias primas e insumos en fuentes plásticas para ser pesados.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.6: Dosificación

Pre – mezclado

En la figura 3.7, se observa el proceso de pre – mezclado de las harinas de (trigo 46%, garbanzo 6,5%, amaranto 4,5%), sal 0,84 % y azúcar 2,19 %, para facilitar la homogenización de las materias primas e insumos durante el mezclado y posterior amasado.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.7: Pre - mezclado

Mezclado

Para el mezclado se añade la levadura activada 3,69 %, manteca vegetal 6 % el o de agua (30,89 %) que queda de la preparación de la levadura a temperatura 33°C para facilitar la integración de toda la mezcla; proceso que se realiza durante 4 minutos (figura 3.8)



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.8: Mezclado

Activación de la levadura: En un vaso de plástico se coloca 2 g de levadura, 10 gr de agua y 1,18 g de azúcar a temperatura de 37 °C.

Amasado

El proceso de amasado (figura 3.9), se realiza de forma manual mediante movimientos envolventes estirando y plegando la masa, sobre una mesa de acero inoxidable durante unos 10 minutos hasta obtener una masa suave, lisa y manejable.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.9: Amasado

Fermentación 1

Para el proceso de fermentación de la masa (figura 3.10), se deja por un tiempo de 20 minutos a una temperatura de 35 grados



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.10: Fermentación

Boleado

Se realiza el pesado de 80 g de masa, se bolea y se coloca dentro los aros de acero inoxidable (figura 3.11).



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.11: Boleado

Moldeado

La figura 3.12, muestra la etapa donde se da forma la masa dentro los aros de acero inoxidable, para que tengan el mismo tamaño.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.12: Moldeado

Fermentación 2

El proceso de fermentación 2 de la masa se realiza en aros de acero inoxidable (Figura 3.13), por un tiempo de 30 minutos a una temperatura de 35 grados.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.13: Fermentación 2

Horneado

Para el proceso de horneado (Figura 3.14), se pre calienta el horno a una temperatura de 175 °C por media hora, luego se hornea el pan hamburguesa tipo americano por un tiempo de 26 minutos.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.14: Horneado

Enfriado

La figura 3.15, muestra el enfriamiento del pan hamburguesa tipo americano a temperatura ambiente por un tiempo de 12 minutos.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.15: Enfriado

Envasado

La figura 3.16, muestra el pan hamburguesa tipo americano envasado en bolsa de polietileno con cierre hermético



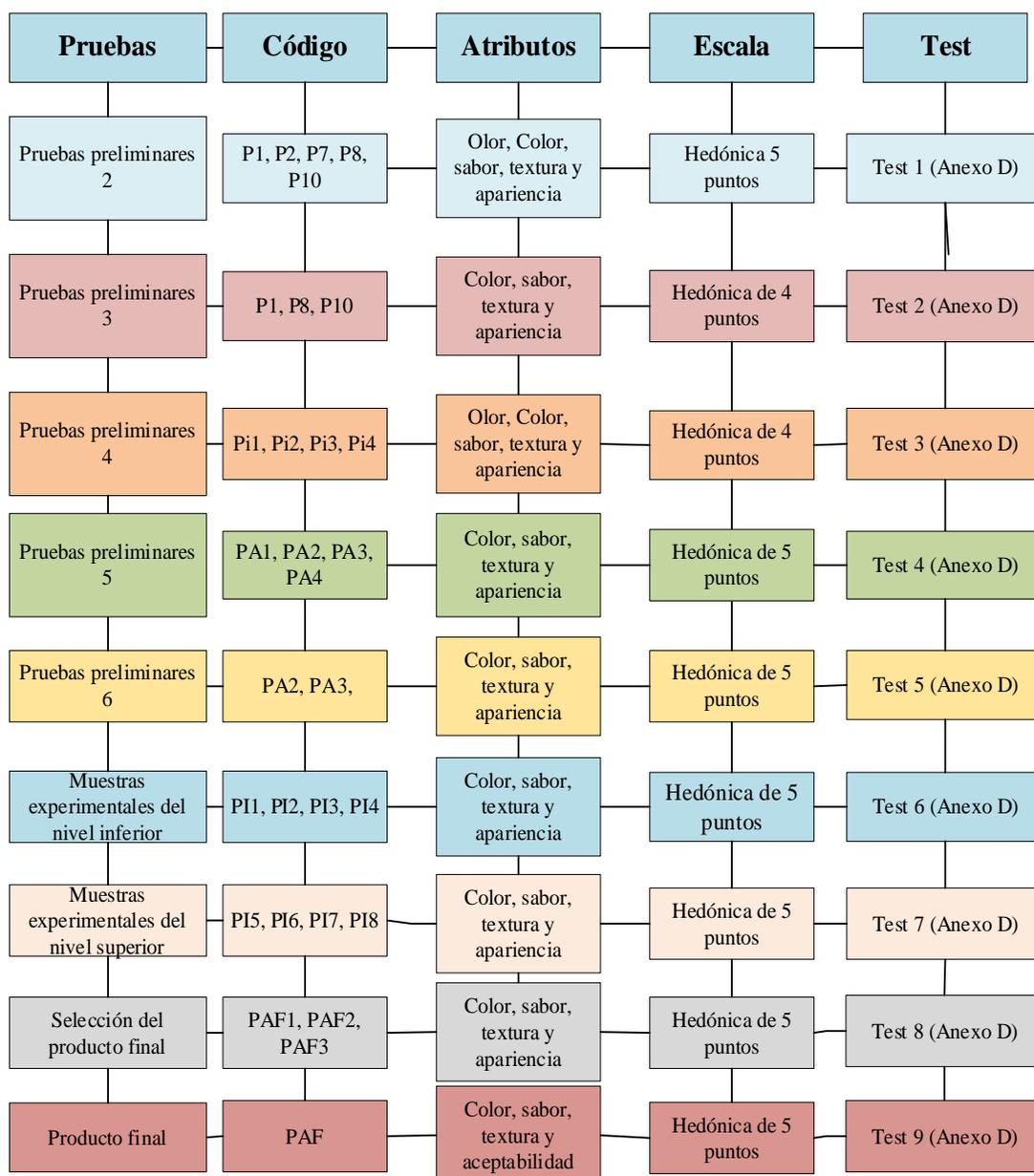
Fuente: Elaboración propia
Figura 3.16: Envasado

3.9 Análisis sensorial de los alimentos

La evaluación sensorial es la ciencia que se encarga de percibir las propiedades organolépticas de los alimentos (olor, color, sabor, textura y apariencia) a través del uso de los sentidos del organismo y la vista. Mediante esta evaluación pueden

clasificarse los productos terminados, conocer que opina el consumidor sobre un determinado alimento, aceptación o rechazo. (Espinoza, 2007)

La figura 3.15, muestra las evaluaciones sensoriales realizadas, en el proceso de elaboración del pan.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.17: Pruebas preliminares de pan hamburguesa tipo americano

3.10 Diseño experimental

El diseño experimental es una técnica estadística que permite identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un estudio experimental de forma que con el mínimo número de pruebas se consiga extraer información útil para obtener conclusiones que permita optimizar la configuración de un producto. (Gabriel et al., 2017)

El diseño factorial 2^3 estudia el efecto de varios factores sobre una o varias respuestas, cuando se tiene el mismo interés sobre todos los factores, como también son útiles principalmente cuando el número de factores a estudiar está entre dos y cinco, rango en el cual su tamaño se encuentra entre cuatro y treinta y dos tratamientos. (Gutierrez & Vara, 2008)

3.10.1 Diseño factorial 2^3 en la etapa de dosificación del pan hamburguesa tipo americano

El diseño factorial 2^3 se aplica en la etapa de dosificación del pan hamburguesa donde las variables de control y variables respuestas son las siguientes:

Variables de control:

- ❖ Harina de trigo (A)
- ❖ Harina de garbanzo (B)
- ❖ Harina de amaranto (C)

La Tabla 3.1, muestra los niveles de las variables de control de harina trigo (A), garbanzo (B) y amaranto (C) para la etapa de dosificación del pan hamburguesa tipo americano.

Tabla 3.1**Matriz de diseño factorial 2^3 en la etapa de dosificación**

Combinaciones	Variables			Interacción				Variables respuestas		
	A	B	C	AB	AC	BC	ABC	pH	Acidez	Humedad
(1)	-	-	-	+	+	+	-	Y_1	Y_1	Y_1
A	+	-	-	-	-	+	+	Y_2	Y_2	Y_2
B	-	+	-	-	+	-	+	Y_3	Y_3	Y_3
Ab	+	+	-	+	-	-	-	Y_4	Y_4	Y_4
C	-	-	+	+	-	-	+	Y_5	Y_5	Y_5
Ac	+	-	+	-	+	-	-	Y_6	Y_6	Y_6
Bc	-	+	+	-	-	+	-	Y_7	Y_7	Y_7
Abc	+	+	+	+	+	+	+	Y_8	Y_8	Y_8

Fuente: Elaboración propia

Donde

(Y_i) = variables respuestas

Y_i = pH

Y_i = contenido de acidez (ácido láctico) (%)

Y_i = contenido de humedad (%)

La Tabla 3.2, indica los niveles de variación (nivel alto y nivel bajo), a ser aplicado en la etapa de dosificación.

Tabla 3.2**Niveles de variación de las variables en la etapa de dosificación**

Variables	Unidad	Nivel alto	Nivel bajo
Harina de trigo (A)	%	49,0	46,0
Harina de garbanzo (B)	%	6,5	5,5
Harina de amaranto (C)	%	4,5	2,5

Fuente: Elaboración propia

3.11 Operacionalización de variables en el proceso de elaboración del pan hamburguesa tipo americano

La Operacionalización de variables del proceso de elaboración de pan hamburguesa tipo americano se detalla mediante el cuadro 3.1.

Cuadro 3.1

Operacionalización de variables para la elaboración de pan hamburguesa tipo americano

Hipótesis	Variables	Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	
La aplicación de la metodología experimental de proceso de panificación permitirá obtener pan hamburguesa tipo americano a base de harina de trigo, garbanzo y amaranto de calidad nutricional para la provincia Cercado Tarija.	variable dependiente – efecto	Pan hamburguesa tipo americano	Es un pan con poca miga y una corteza más bien blanda, que encontramos en cualquier hamburguesería y al tener esa textura esponjosa y de fácil sujeción con ambas manos, el pan americano seguirá reinando como la tapa perfecta a la carne. (Mesas & Alegre, 2002)	Harina de trigo	Ceniza (%) Materia grasa (%) Fibra (%)
				Harina de garbanzo	Hidratos de carbono (%) Humedad (%)
				Harina de amaranto	Valor energético (kcal/100g) Proteína (%)
				Pan hamburguesa tipo americano	Ceniza (%) Materia grasa (%) Fibra (%) Hidratos de carbono (%) Humedad (%) Calcio (mg/100g) Proteína (%) Fosforo (mg/100g) Magnesio (mg/100g) Hierro (mg/100g)
	variable independiente – causas	Proceso de panificación	Las operaciones unitarias del amasado se obtienen mediante la fuerza física y esta operación es de mezclar y homogenizar una serie de ingredientes así transformarlos en una sola masa (Flecha, 2017).	Análisis fisicoquímico	Ceniza (%) Materia grasa (%) Fibra (%) Hidratos de carbono (%) Humedad (%) Valor energético (kcal/100g) Proteína (%)
				Análisis microbiológico	Recuento en placas (UFC/g)
				Diseño experimental	ANVA Pruebas de tukey
				Control del proceso experimental	Dosificación (%) pH Humedad Acidez

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Características de las harinas de trigo, garbanzo y amaranto

Para la caracterizar las harinas de trigo, garbanzo y amaranto, se toma en cuenta los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que se detallan a continuación:

4.1.1 Análisis fisicoquímico de la harina de trigo

En la Tabla 4.1, se puede observar los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la harina de trigo, extraídos del Anexo A.

Tabla 4.1

Análisis fisicoquímicos de la harina de trigo

Componentes	Unidad	Resultados
Cenizas	%	0,66
Fibra	%	0,84
Materia grasa	%	0,86
Hidrato de carbono	%	76,82
Humedad	%	11,04
Proteína total (Nx6,25)	%	9,78
Valor energético	Kcal/100 g	354,14

Fuente: CEANID, 2023

La Tabla 4.1, muestra los resultados de análisis fisicoquímicos de la harina de trigo que está compuesta por: cenizas 0,66%; fibra 0,84%; materia grasa 0,86%; hidratos de carbono 76,82%; humedad 11,04%; proteína total (Nx6,25) 9,78% y valor energético 354,14 Kcal/100g.

4.1.2 Análisis microbiológico de la harina de trigo

La Tabla 4.2, indica los resultados obtenidos de los análisis microbiológicos de la harina de trigo, extraídos del Anexo A.

Tabla 4.2

Análisis microbiológico de la harina de trigo

Microorganismos	Unidad	Resultados
Bacterias aerobias mesófilas	UFC/g	1,0x10 ⁴
Coliformes totales	UFC/g	4,0x10 ²
Mohos y levaduras	UFC/g	8,0x10 ²

Fuente: CEANID, 2023

En la Tabla 4.2, se muestra los resultados de análisis microbiológicos de la harina de trigo que contiene: bacterias aerobias mesófilas 1,0x10⁴ (*) UFC/g; coliformes totales 4,0x10² (*) UFC/g, mohos y levaduras 8,0x10² (*)UFC/g.

4.1.3 Análisis fisicoquímico de la harina de garbanzo

En la Tabla 4.3, se puede observar los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la harina de garbanzo, extraídos del Anexo A.

Tabla 4.3

Análisis fisicoquímicos de la harina de garbanzo

Componentes	Unidad	Resultados
Cenizas	%	3,10
Fibra	%	2,64
Materia grasa	%	6,69
Hidrato de carbono	%	65,54
Humedad	%	4,39
Proteína total (Nx6,25)	%	17,64
Valor energético	Kcal/100 g	392,93

Fuente: CEANID, 2023

En la Tabla 4.3, se muestra los resultados de análisis fisicoquímicos de la harina de garbanzo contiene: cenizas 3,10%; fibra 2,64%; materia grasa 6,69%; hidratos de carbono 65,54%; humedad 4,39%; proteína total (Nx6,25) 17,64% y valor energético 392,93 Kcal/100g.

4.1.4 Análisis microbiológico de la harina de garbanzo

La Tabla 4.4, muestra los resultados obtenidos de análisis microbiológicos de la harina de garbanzo, extraídos del Anexo A.

Tabla 4.4

Análisis microbiológico de la harina de garbanzo

Microorganismos	Unidad	Resultados
Bacterias aerobias mesófilas	UFC/g	7,1x10 ³
Coliformes totales	UFC/g	8,0x10 ¹
Mohos y levaduras	UFC/g	1,8x10 ³

Fuente: CEANID, 2023

La Tabla 4.4, se muestra los resultados de análisis microbiológicos de la harina de garbanzo que contiene: bacterias aerobias mesófilas 7,10x10³ (*) UFC/g; coliformes totales 8,0x10¹(*) UFC/g, mohos y levaduras 1,8x10³ (*) UFC/g.

4.1.5 Análisis fisicoquímico de la harina de amaranto

En la Tabla 4.5, se puede observar los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la harina de amaranto, extraídos del Anexo A.

Tabla 4.5

Análisis fisicoquímicos de la harina de amaranto

Componentes	Unidad	Resultado
Cenizas	%	2,70
Fibra	%	1,40
Materia grasa	%	7,26
Hidrato de carbono	%	68,31
Humedad	%	5,67
Proteína total (Nx6,25)	%	14,66
Valor energético	Kcal/100 g	397,22

Fuente: CEANID, 2023

En la Tabla 4.5, muestra los resultados de análisis fisicoquímicos de la harina de amaranto contiene: cenizas 2,70%; fibra 1,40%; materia grasa 7,26%; hidratos de

carbono 68,31%; humedad 5,67%; proteína total (Nx6,25) 14,66% y valor energético 397,22 Kcal/100g.

4.1.6 Análisis microbiológico de la harina de amaranto

Como se puede observar la Tabla 4.6, indica los resultados obtenidos de análisis microbiológicos de la harina de amaranto, extraídos del Anexo A.

Tabla 4.6

Análisis microbiológico de la harina de amaranto

Microorganismo	Unidad	Resultado
Bacterias aerobias mesófilas	UFC/g	$2,6 \times 10^4$
Coliformes totales	UFC/g	$8,0 \times 10^1$
Mohos y levaduras	UFC/g	$2,0 \times 10^2$

Fuente: CEANID, 2023

La Tabla 4.6, muestra los análisis microbiológicos de la harina de garbanzo que contiene: bacterias aerobias mesófilas $2,6 \times 10^4$ (*) UFC/g; coliformes totales $8,0 \times 10^1$ (*) UFC/g, mohos y levaduras $2,0 \times 10^2$ (*) UFC/g.

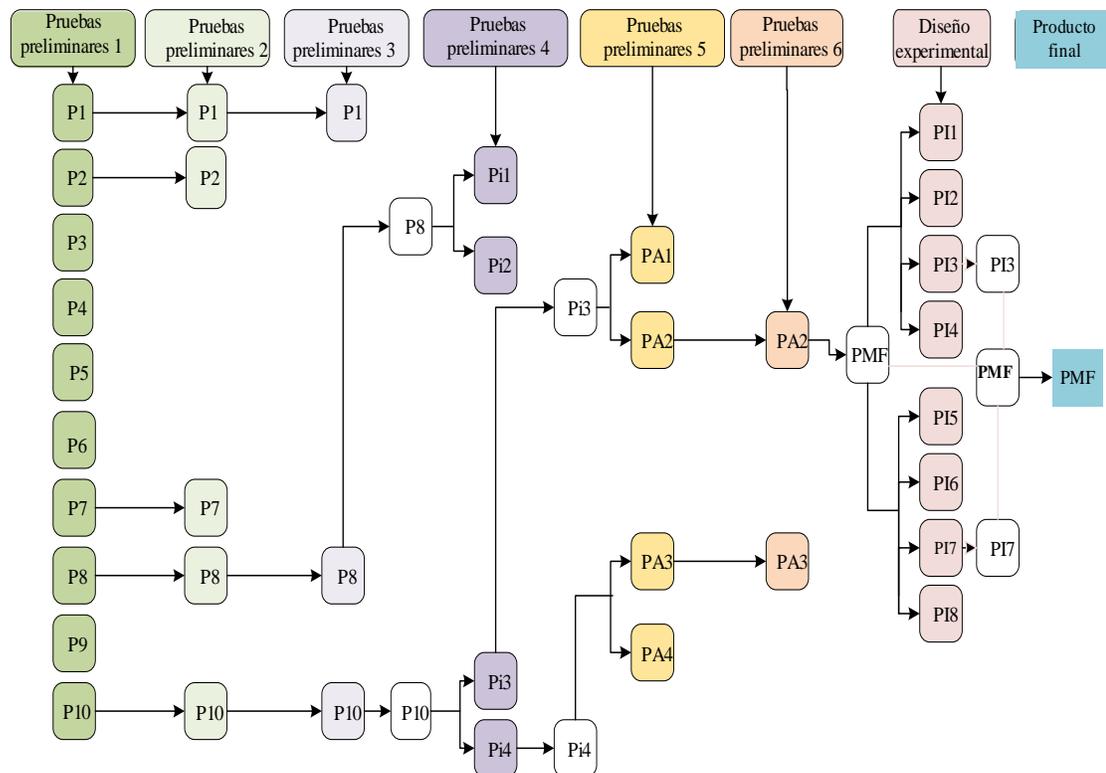
4.2 Caracterización de las variables en el proceso de elaboración de pan hamburguesa tipo americano

La caracterización a nivel experimental de las variables del proceso de elaboración de pan hamburguesa tipo americano, se detalla a continuación:

4.2.1 Desarrollo de pruebas preliminares para la elaboración de pan común

Para desarrollar la parte experimental del presente trabajo, se procede a elaborar muestras de pan común con la finalidad de establecer una técnica experimental para la elaboración de este tipo de pan. Para tal efecto las pruebas preliminares 1 comprende diez muestras (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9 y P10) de donde se toma 5 muestras para formar las pruebas preliminares 2 (P1, P2, P7, P8 y P10) de estas se toma en cuenta 3 muestras para pruebas preliminares 3 (P1, P8 y P10) de donde se obtiene dos muestras (P8 y P10), en estas muestras se incorpora harina de garbanzo generando

cuatro muestras para las pruebas preliminares 4 (Pi1, Pi2, Pi3 y Pi4), quedando Pi3 y Pi4 seleccionadas que se incorpora harina de amaranto de donde se generan 4 muestras que forma las pruebas preliminares 5 (PA1, PA2, PA3 y PA4) de estas se toma en cuenta dos muestras para la prueba preliminar 6, de donde se obtiene finalmente la muestra de pan hamburguesa tipo americano, como se muestra en la figura 4.1.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.1: Pruebas preliminares para obtener la muestra ideal del pan hamburguesa tipo americano

En base a la figura 4.1, se procede a describir las pruebas preliminares, que se detallan a continuación:

4.2.2 Elaboración de pan común para las pruebas preliminares 1

Las pruebas preliminares 1 formado por 10 muestras tiene la siguiente formulación: harina de trigo, manteca vegetal, azúcar y agua, la variación de los porcentajes, se muestra en la Tabla 4.7.

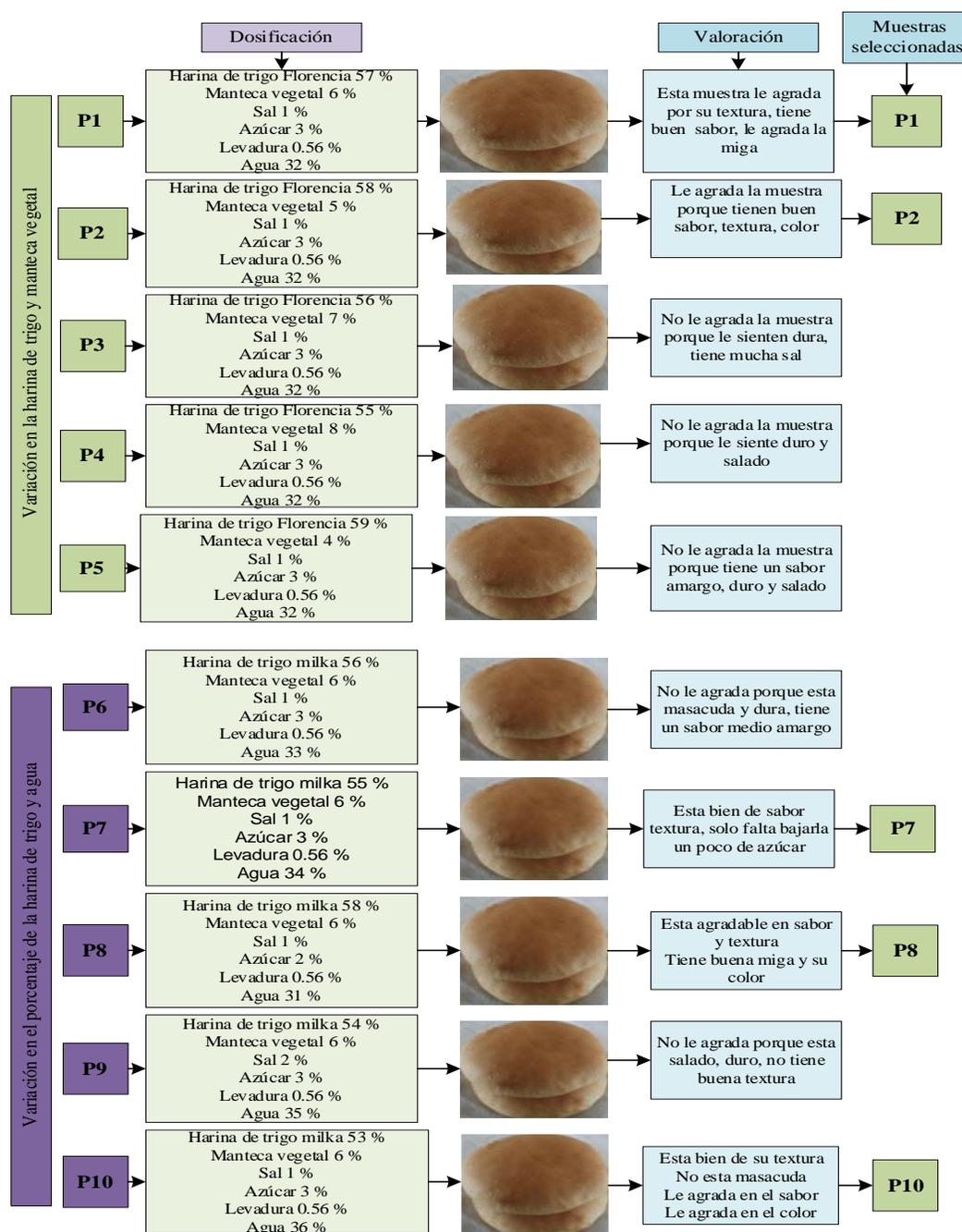
Tabla 4.7

Variación en la dosificación de pan común para la prueba preliminar 1

Materia prima/ insumos	Rango	Unidad
Harina de trigo	53 - 59	%
Manteca vegetal	4 - 8	%
Azúcar	2 - 3	%
Agua	31 - 36	%

Fuente: Flecha, 2017

En base a la Tabla 4.7, se realiza las formulaciones para las muestras de pruebas preliminares 1, variando el porcentaje de harina de trigo (Milka e Florencia) y manteca vegetal en las muestras (P1, P2, P3, P4 y P5) en las restantes cinco muestras se utiliza distintos porcentajes de agua y harina de trigo Milka (P6, P7, P8, P9 y P10). En la figura 4.2, se detallan la variación en las formulaciones de la masa para la elaboración de pan común.



Fuente: Elaboración propia

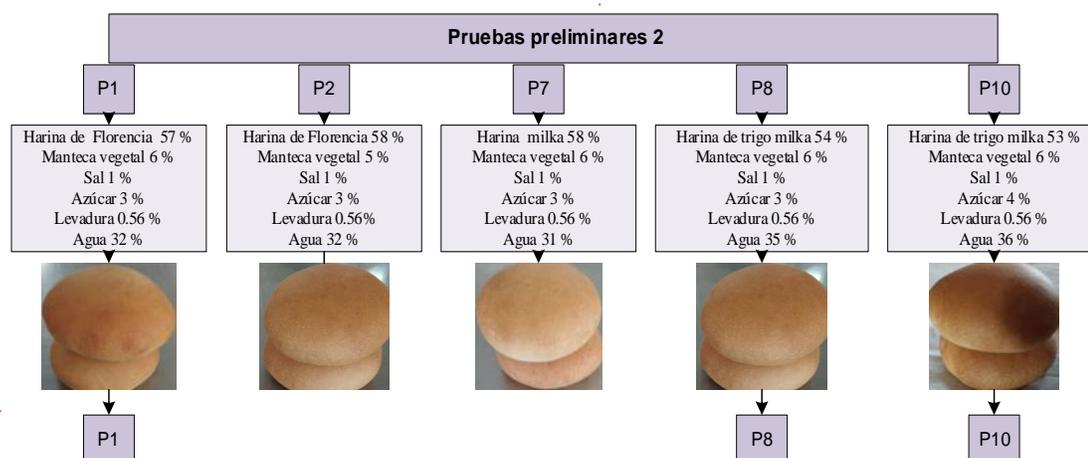
Figura 4.2: Elaboración de pan común para las pruebas preliminares 1

Según la figura 4.2, en base a la valoración sensorial de pruebas preliminares 1, fueron evaluadas de manera subjetiva por el personal del Laboratorio del Taller de Alimentos, se observa que las muestras de mayor grado de aceptación son: (P1, P2, P7, P8 y P10),

por presentar buen sabor, textura esponjosa y corteza blanda; mientras que las muestras P3, P4, P5, P6 y P9, presentan sabores no tan agradables, corteza crocante y textura gomosa. Para tal efecto, se toma en cuenta el tiempo de fermentación de la masa de 20 a 30 minutos, en el horneado de 20 a 24 minutos y la temperatura entre 170 a 180 °C.

4.2.3 Elaboración de pan común para las pruebas preliminares 2

En base a las muestras seleccionadas de la figura 4.2, se procede a elaborar cinco muestras de pan común (P1, P2, P7, P8 y P10), tomando en cuenta la valoración de los jueces, con el fin de reformular su dosificación para mejorar el tiempo de amasado de 6 a 8 minutos y el tiempo de horneado de 19 a 24 minutos, hasta obtener mejores muestras de pan que forman las pruebas preliminares 2 que se detalla en la figura 4.5.



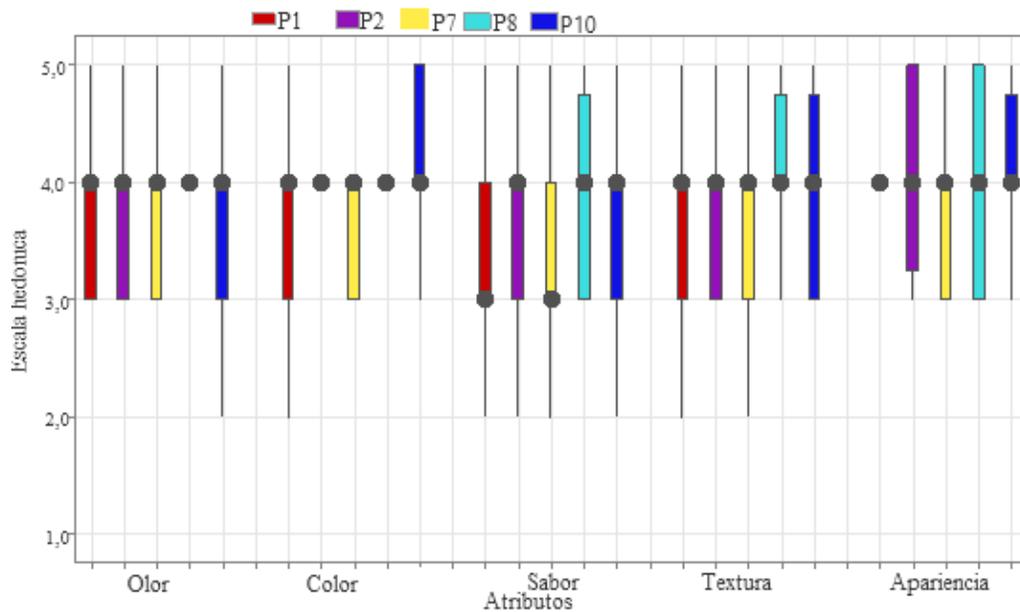
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3: Variación en la formulación de pan común para pruebas preliminares 2

De acuerdo a la formulación de la figura 4.3, se realiza una evaluación sensorial en escala hedónica de cinco puntos, con los atributos olor, color, sabor, textura y apariencia; utilizando 20 jueces no entrenados.

4.2.3.1 Estadístico caja y bigote de pan común de las pruebas preliminares 2

La figura 4.4, muestra el estadístico de caja y bigote de datos extraídos del Anexo C olor (Tabla C.1), color (Tabla C.3), sabor (Tabla C.6), textura (Tabla C.8) y apariencia (Tabla C.10).



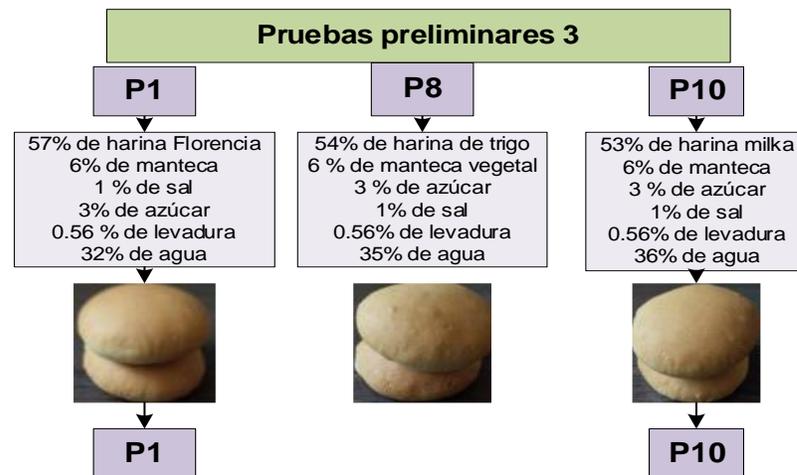
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.4: Caja y Bigote de pan común de las pruebas preliminares 2

Según la figura 4.4, se observan los resultados de las medianas en función de los atributos de las muestras evaluadas: 4,0 (P1, P8 y P10) color, textura y apariencia, 3,0 (P1) sabor, 4,0 (P8 y P10) sabor. El análisis estadístico de varianza indica que si existe diferencia significativa entre los atributos: olor, sabor, textura y apariencia Anexo C para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.2.4 Selección de las muestras de pan común de pruebas preliminares 3

En a las muestras seleccionadas (P1, P8 y P10), se procede a elaborar pan común con la finalidad de mejorar el tiempo de amasado y el tiempo de horneado, hasta obtener las muestras ideales de pan, que se detallan en la figura 4.5.



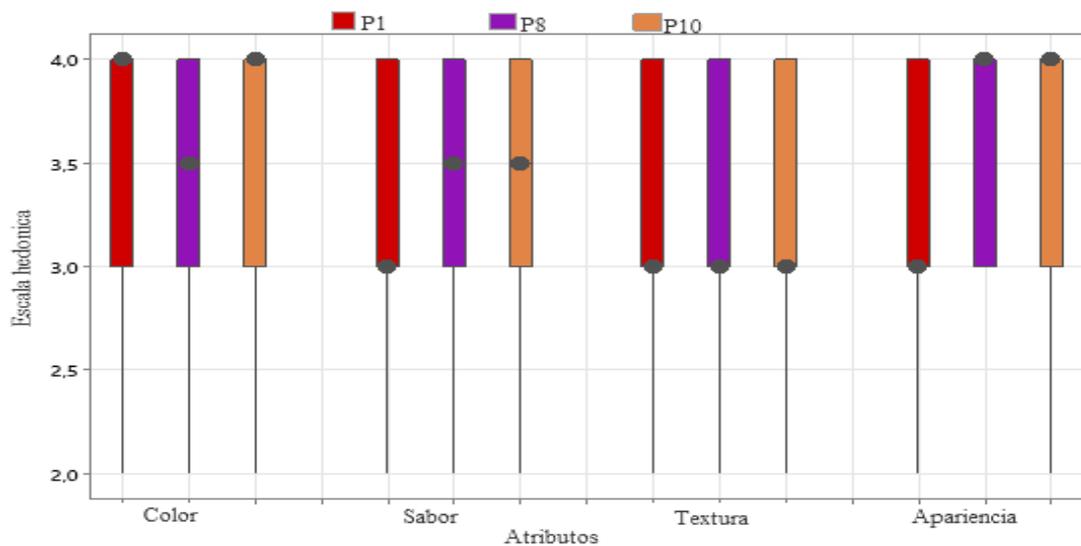
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.5: Variación en la dosificación de pan común de pruebas preliminares 3

De acuerdo a las formulaciones mencionadas, se realiza una evaluación sensorial con escala hedónica de cinco puntos valorando los atributos; color, sabor, textura y apariencia, con el fin de obtener 2 muestras.

4.2.4.1 Estadístico caja y bigote de pan común de pruebas preliminares 3

La figura 4.6, muestra el estadístico de caja y bigote de datos extraídos del Anexo C color (Tabla C.12), sabor (Tabla C.14), textura (Tabla C.16) y apariencia (Tabla C.18).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.6: Caja y bigote de pan común para las pruebas preliminares 3

La figura 4.6, muestra los resultados de las medianas en función de los atributos de las muestras evaluadas: 4,0 (P10) color; 3,5 (P8 y P10) sabor; 3,0 (P8 y P10) textura; 4,0 (P8 y P10) apariencia. Realizando el análisis estadístico de varianza se pudo evidenciar que no existe diferencia significativa entre los atributos color, sabor, textura, pero si existe diferencia en el atributo apariencia (Anexo C), para un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

4.2.5 Incorporación de harina de garbanzo en pan común en pruebas preliminares 4

La incorporación de harina de garbanzo en la formulación de pan común (P8 y P10) de las muestras preliminares 3 tiene la finalidad de establecer el porcentaje máximo y mínimo de harina de garbanzo, para sustituir parcialmente la harina de trigo. La formulación se muestra en la Tabla 4.8.

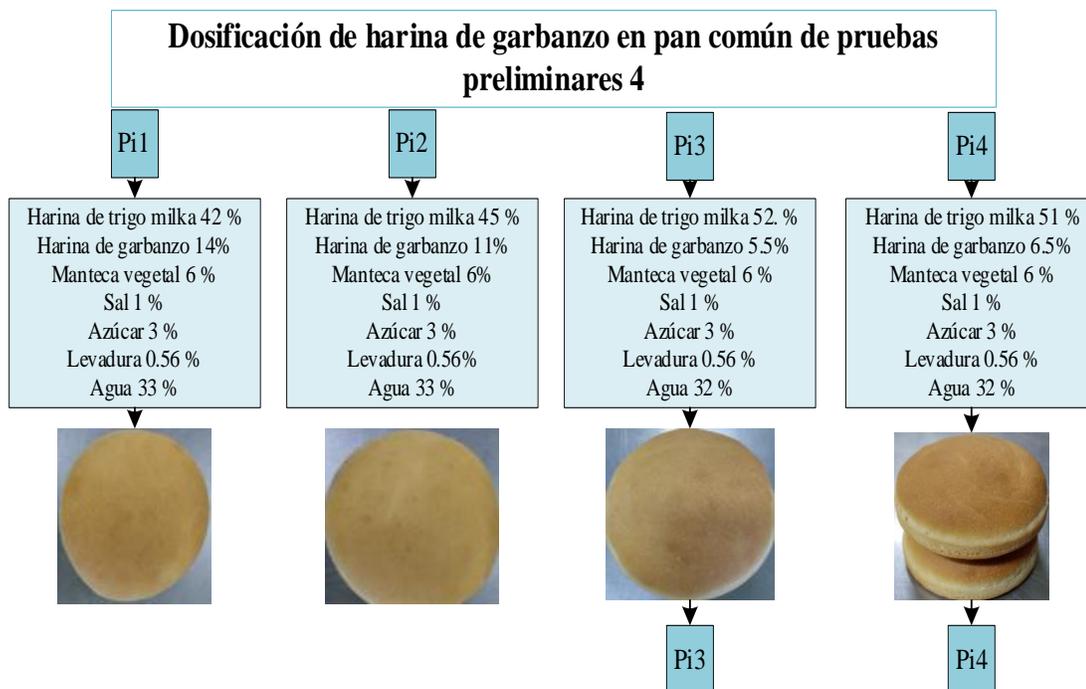
Tabla 4.8

Variación en la dosificación de pan común incorporando harina de garbanzo

Harinas	Rangos	Unidad
Harina de trigo Milka	42 – 52	%
Harina de garbanzo	5.5 – 14	%

Fuente: Elaboración propia

En base a los datos de la Tabla 4.8 se realiza la formulación en la muestra (P8 y P10) recodificando la muestra (Pi1, Pi2, Pi3 y Pi4), variando la harina de trigo Milka y garbanzo, con el fin de elevar el valor nutricional del pan, que se detalla en la figura 4.7.



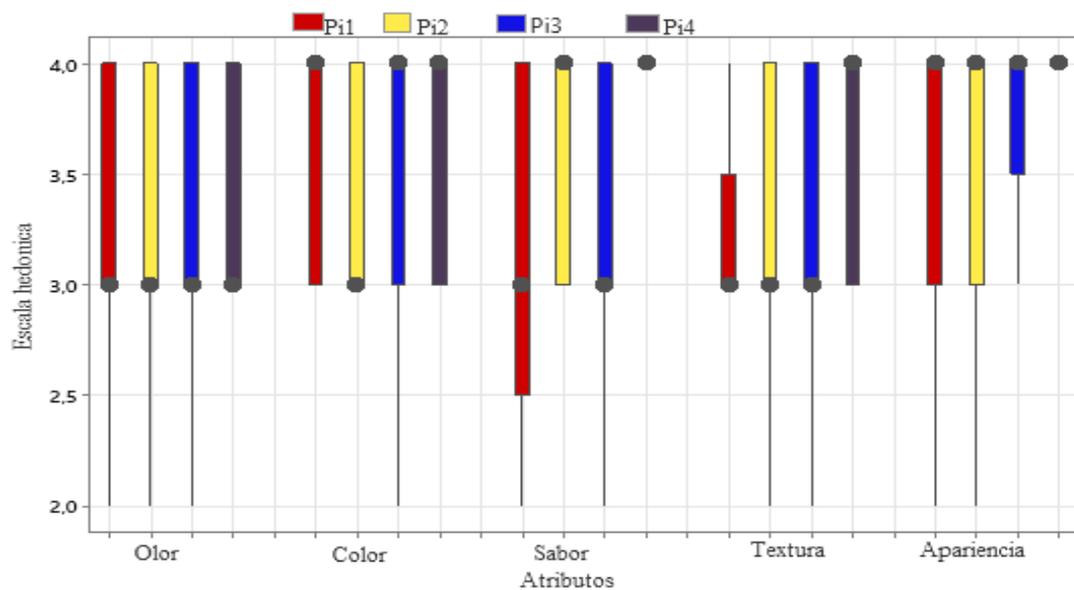
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.7: Dosificación de la harina de garbanzo en pan común de pruebas preliminares 4

De acuerdo a la figura 4.7, se procede a realizar una evaluación sensorial con escala hedónica de cinco puntos valorando los atributos olor, color, sabor, textura y apariencia, con el fin de seleccionar dos muestras de pan.

4.2.5.1 Estadístico caja y bigote incorporando harina de garbanzo en pan común de pruebas preliminares 4

La figura 4.8, muestra el estadístico de caja y bigote de datos extraídos del (Anexo C) olor (Tabla C.20), color (Tabla C.22), sabor (Tabla C.24), textura (Tabla C.27) y apariencia (Tabla C.29).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.8: Caja y Bigote incorporando harina de garbanzo en pruebas preliminares 4

Se observa en la figura 4.8, que los resultados de las medianas en función de los atributos de las muestras evaluadas: 4,0 (Pi3 y Pi4) color; 3,0 (Pi3) sabor; 4,0 (Pi4) sabor; 3,0 (Pi3) textura; 4,0 (Pi4) textura; 4,0 (Pi3 y Pi4) apariencia. En el análisis estadístico de varianza si existe diferencia significativa entre los atributos: olor, color, textura y apariencia (Anexo C) con un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.2.6 Incorporación de harina de amaranto en pan hamburguesa tipo americano en pruebas preliminares 5

Por último, se procede a la incorporación de harina de amaranto en las muestras (Pi3 y Pi4), seleccionadas en base a los resultados de caja y bigote de la (figura 4.8), con la finalidad de establecer el porcentaje máximo y mínimo adecuado a ser incorporado. La formulación se muestra en la Tabla 4.9.

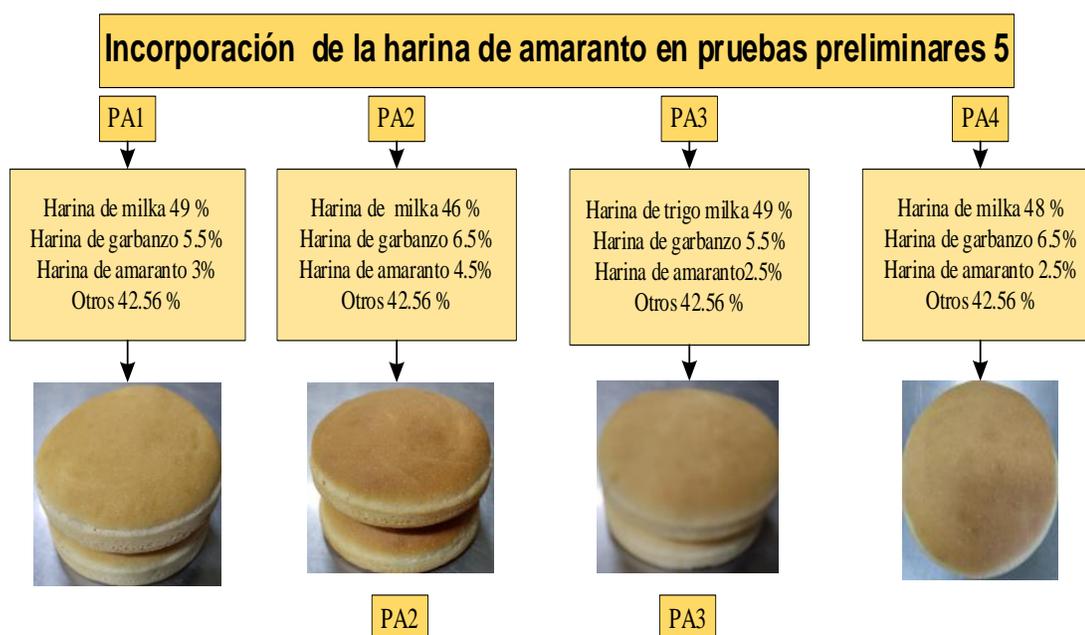
Tabla 4.9

Variación en la dosificación de harina de trigo y amaranto

Harinas	Rangos	Unidad
Harina de trigo Milka	46 – 49	%
Harina de amaranto	2,5 – 4,5	%

Fuente: Elaboración propia

En base a los datos de la Tabla 4.9, las muestras Pi3 y Pi4 se recodifica como muestra (PA1, PA2, PA3 y PA4) variando la dosificación de harina de amaranto. La formulación de las muestras se detalla en la figura 4.9.



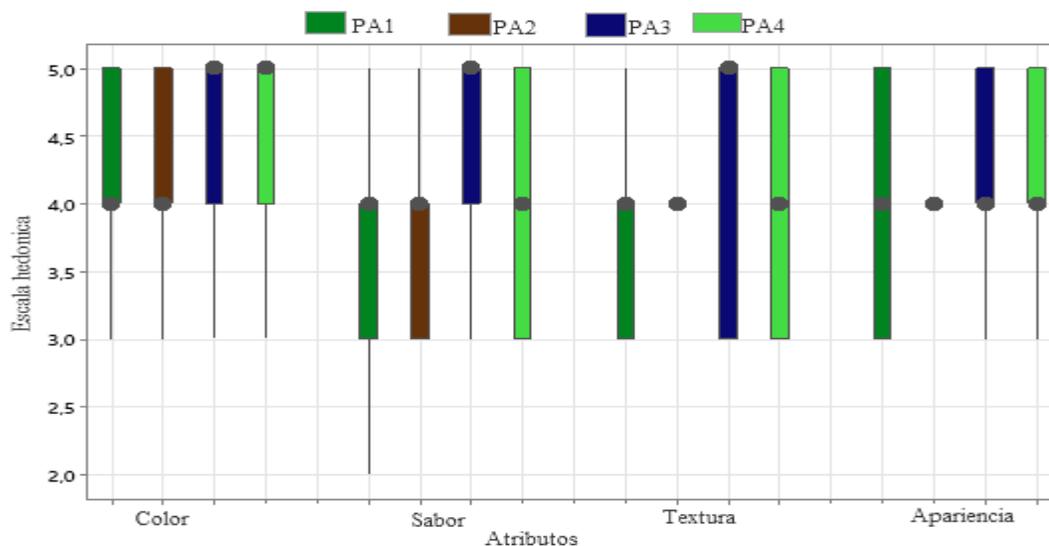
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.9: Incorporación porcentual de harina de amaranto en pan de garbanzo

Se procede a realizar una evaluación sensorial con escala hedónica de cinco puntos para los atributos color, sabor, textura y apariencia, con el fin de seleccionar dos muestras de pan hamburguesa tipo americano.

4.2.6.1 Estadístico caja y bigote para la incorporación de harina de amaranto en pan hamburguesa tipo americano de pruebas preliminares 5

La figura 4.10, muestra el estadístico de caja y bigote de datos extraídos del Anexo C color (Tabla C.31), sabor (Tabla C. 33), textura (Tabla C.36) y apariencia (Tabla C. 38).



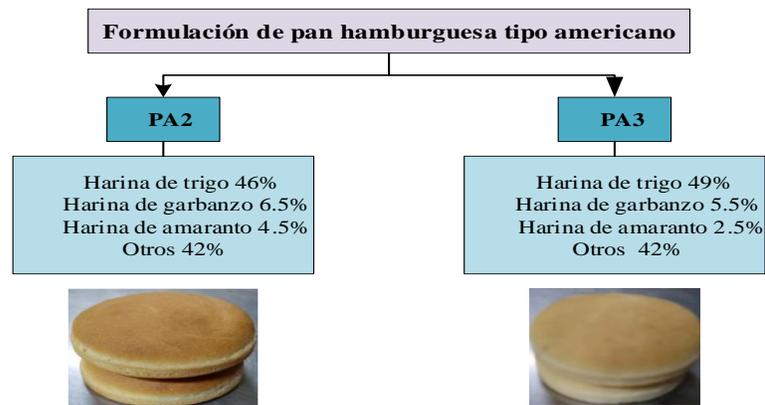
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.10: Caja y bigote para la incorporación de harina de amaranto en el pan hamburguesa tipo americano

Se observa en la figura 4.10, que los resultados de las medianas en función de los atributos de las muestras evaluadas: 4,0 (PA1 y PA2) color; 5,0 (PA3) color; 4,0 (PA2) sabor; 5,0 (PA3) sabor; 4,0 (PA2 y PA3) textura; 5,0 (PA3) textura; 4,0 (PA2 y PA3) apariencia. Así mismo realizando el análisis estadístico de varianza, se puede evidenciar que si existe diferencia significativa en los atributos color, sabor, textura y apariencia (Anexo C), de las muestras evaluadas con un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.2.7 Selección de la muestra final de pan hamburguesa tipo americano para las pruebas preliminares 6

Se considera las muestras (PA2 y PA3), la muestra PA2 (harina de trigo 46%, garbanzo 6.5% y amaranto 4.5%); PA3 (harina de trigo 49%, garbanzo 5.5% y amaranto 2.5%), seleccionadas de acuerdo a los jueces evaluadores sin experiencia, obteniendo la siguiente formulación que se detalla en la figura 4.11.



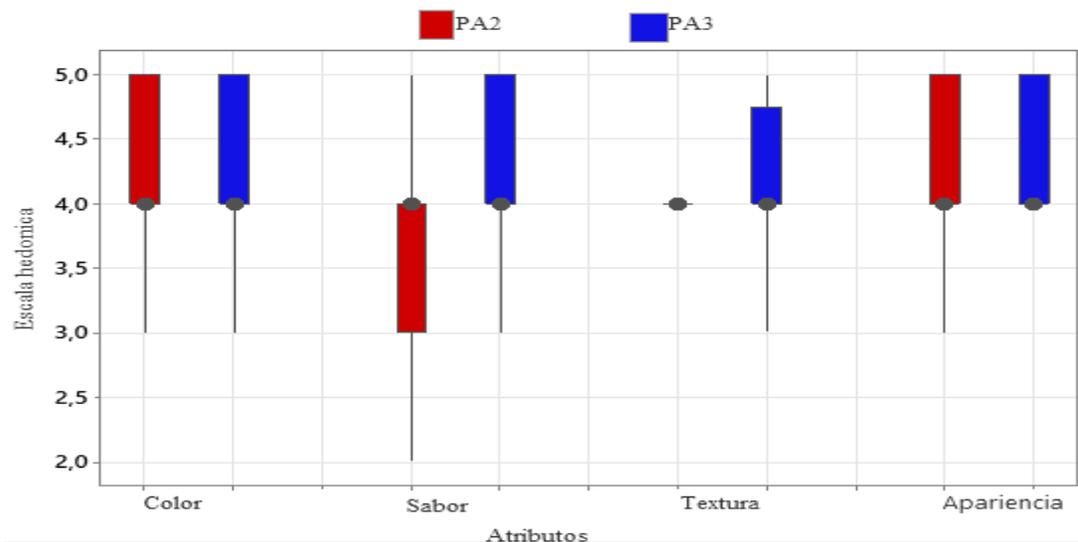
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.11: Formulación de pan hamburguesa tipo americano

De acuerdo a las formulaciones mencionadas en la Figura 4.11, se realiza una evaluación sensorial con escala hedónica de cinco puntos para los atributos color, sabor, textura y apariencia, con el fin de obtener la muestra final.

4.2.7.1 Estadístico de caja y bigote para selección de la muestra final de pan hamburguesa tipo americano de pruebas preliminares 6

La figura 4.12, muestra el estadístico de caja y bigote de datos extraídos del Anexo C color (Tabla C.65), sabor (Tabla C.68), textura (Tabla C.71) y apariencia (Tabla C.74).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.12: Caja y bigote para selección de la muestra final de pan hamburguesa tipo americano de pruebas preliminares 6

Según la figura 4.12, se puede observar que los resultados de la mediana en función de los atributos de las muestras evaluadas: 4,0 (PA2 y PA3) color, sabor, textura y apariencia. El análisis estadístico de varianza indica que no existe diferencia significativa en el atributo: color, pero si existe diferencia significativa entre los atributos sabor, textura y apariencia para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.2.7.1.1 Estadístico de Tukey para atributo sabor para la muestra final de pan hamburguesa tipo americano

La Tabla 4.10 muestra los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo sabor, extraídos del Anexo C (Tabla C.70).

Tabla 4.10

Estadístico de Tukey para el atributo de sabor de pruebas finales de pan hamburguesa tipo americano

Tratamientos	N	Media	Agrupación	
PAI2	20	4,25	A	
PAI1	20	3,75		B

Fuente: Elaboración propia

Conforme a la evaluación sensorial realizada para los atributos sensoriales de las pruebas finales de pan hamburguesa tipo americano según el análisis estadístico de varianza para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$, se observa que los jueces eligen la muestra PAI2 (49 % de harina de trigo, 5,5 % harina de garbanzo y 2,5 % harina de amaranto), por su color, sabor, textura y apariencia.

4.2.7.2 Control de humedad, acidez y pH en las pruebas finales de pan hamburguesa tipo americano

La Tabla 4.11 muestra los resultados obtenidos del contenido de humedad, acidez y pH de las muestras PA2 y PA3 utilizando las técnicas que se detallan en el Anexo F; con la finalidad de complementar los resultados de la evaluación sensorial.

Tabla 4.11**Resultado del contenido de humedad, acidez y pH en pan hamburgués tipo americano**

Parámetros	Muestras	
	PA2	PA3
pH	5,80	5,81
Acidez (%)	0,18	0,20
Humedad (%)	24,58	23,18

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 4.11 muestra los resultados obtenidos del contenido de humedad, acidez y pH de las muestras PA2 y PA3 utilizando las técnicas que se detallan en el Anexo F.

Observando la Tabla 4.11, la muestra PA2 tiene un contenido de pH 5,80, acidez 0,18 % y humedad del 24,58 %, para la muestra PA3 presenta un pH 5,81, acidez 0,20 % y humedad 23,18 %.

4.3 Diseño factorial 2³ en la etapa de dosificación para la elaboración de pan hamburguesa tipo americano

En base a la muestra (PA3), se procede a realizar de manera experimental el diseño factorial en la etapa de dosificación para la elaboración de pan hamburguesa tipo americano, siendo las variables respuestas: pH, contenido de acidez (ácido láctico) y contenido humedad.

4.3.1 Variable respuesta del pH en la etapa de dosificación de pan hamburguesa tipo americano

Para realizar el diseño experimental 2³, se toma en cuenta las variables independientes: los porcentajes de harina de trigo (A), harina de garbanzo (B) y harina de amaranto (B) y como variables respuesta: el pH en el pan hamburguesa tipo americano, las muestras obtenidas son valoradas en el centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) y los resultados de cada muestra en (Anexo A). El análisis estadístico de varianza de la variable respuesta del pH (Tabla 4.12), fueron introducidos

en el programa de STATGRAPHICS Centurión XVI.I para Windows, extraídos de Anexo E.

Tabla 4.12

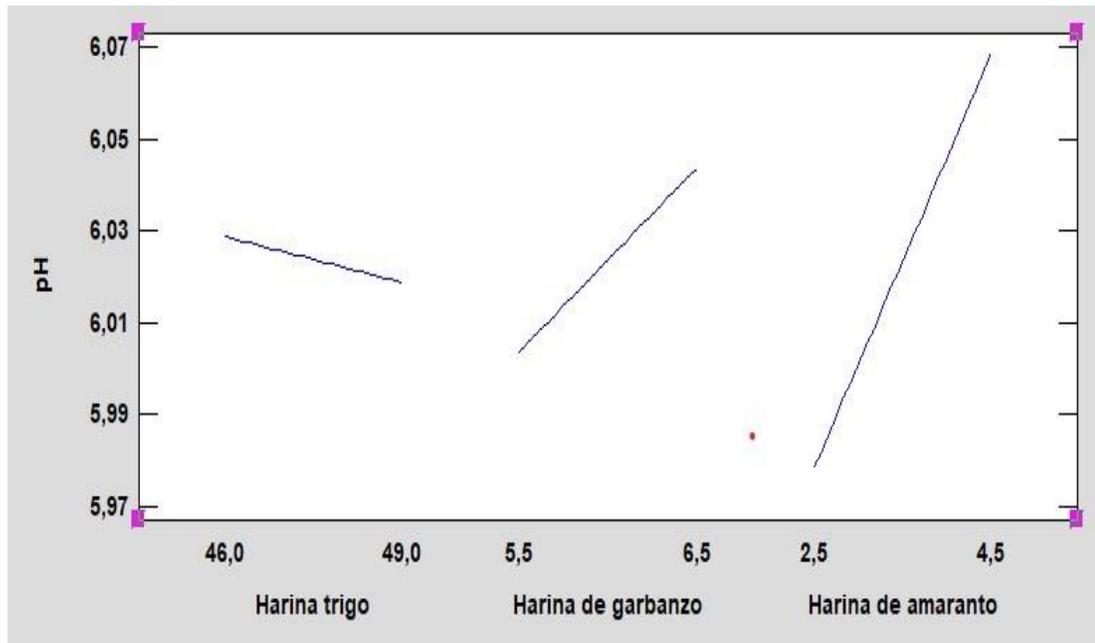
Análisis de varianza de la variable respuesta del pH

Fuente de varianza (FV)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrados medios (CM)	F _{cal}	F _{tab}
Factor A	0,00040	1	0,00040	0,03	0,86730
Factor B	0,00640	1	0,00640	0,48	0,51050
Factor C	0,03240	1	0,03240	2,43	0,16270
AB	0,01102	1	0,01102	0,83	0,39310
AC	0,00062	1	0,00062	0,05	0,83470
BC	0,00062	1	0,00062	0,05	0,83470
ABC	0,00090	1	0,00090	0,07	0,80240
Error total	0,09320	7	0,01331	-	-
Total	0,17798	15	-	-	-

Fuente: Elaboración Propia

Según el análisis de varianza (Tabla 4.12), se puede observar que para los factores A (harina de trigo), factor B (harina de garbanzo), interacción AC (harina de trigo- harina de garbanzo), interacción BC (harina de garbanzo – harina de amaranto) e interacción ABC (harina de trigo – harina de garbanzo – harina de amaranto), no existe diferencia significativa ya que $F_{cal} < F_{tab}$, por lo tanto, se acepta la hipótesis planteada. Sin embargo, para el factor C (harina de amaranto) e interacción AB (harina de trigo – harina de garbanzo), existe diferencia significativa, ya que $F_{cal} > F_{tab}$, por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada y se puede decir que el factor C y la interacción AB son significativas en la etapa de dosificado, por lo que se rechaza la hipótesis planteada para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

En la figura 4.13, se muestran los efectos principales de los factores: A (harina de trigo), B (harina de garbanzo) y C (harina de amaranto), con relación a la variable respuesta pH.

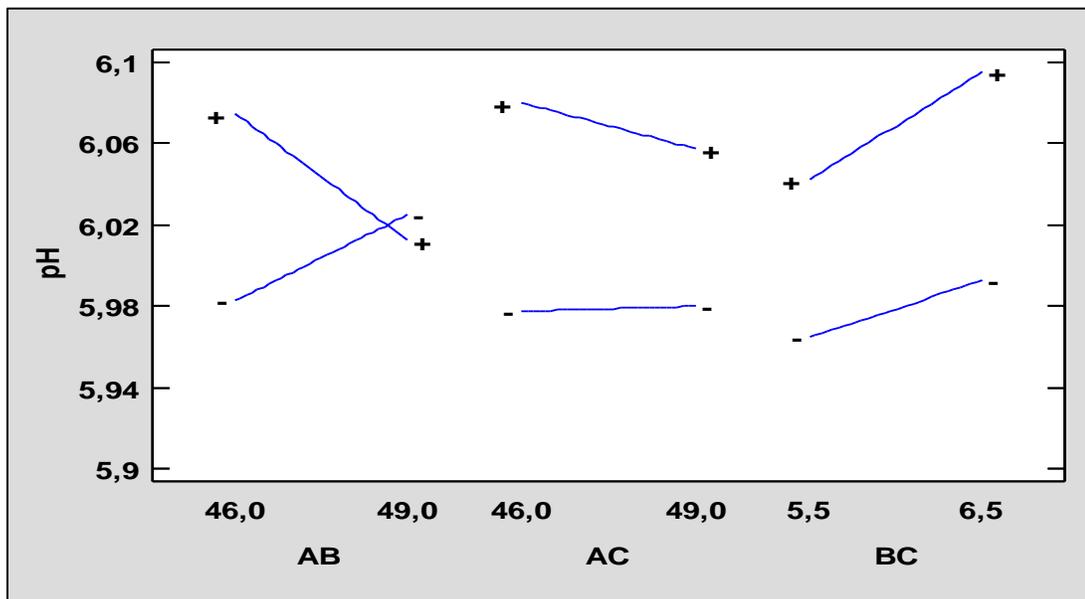


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.13: Efectos principales para el pH

De acuerdo a la figura 4.13, se puede observar que el factor A (harina de trigo), ya que la variación entre los rangos de sus niveles (46,0 – 49,0) %, no muestra un aumento del pH, en cambio para el factor B (harina de garbanzo) y factor C (harina de amaranto) influyen significativamente en el pH a medida que aumenta su porcentaje entre (5,5 – 6,6) % y (2,5 – 4,5) % respectivamente.

En la figura 4.14, se muestran las interacciones para los factores: AB (harina de trigo – harina de garbanzo), AC (harina de trigo – harina de amaranto) y BC (harina de garbanzo – harina de amaranto) en función de la variable respuesta del pH.

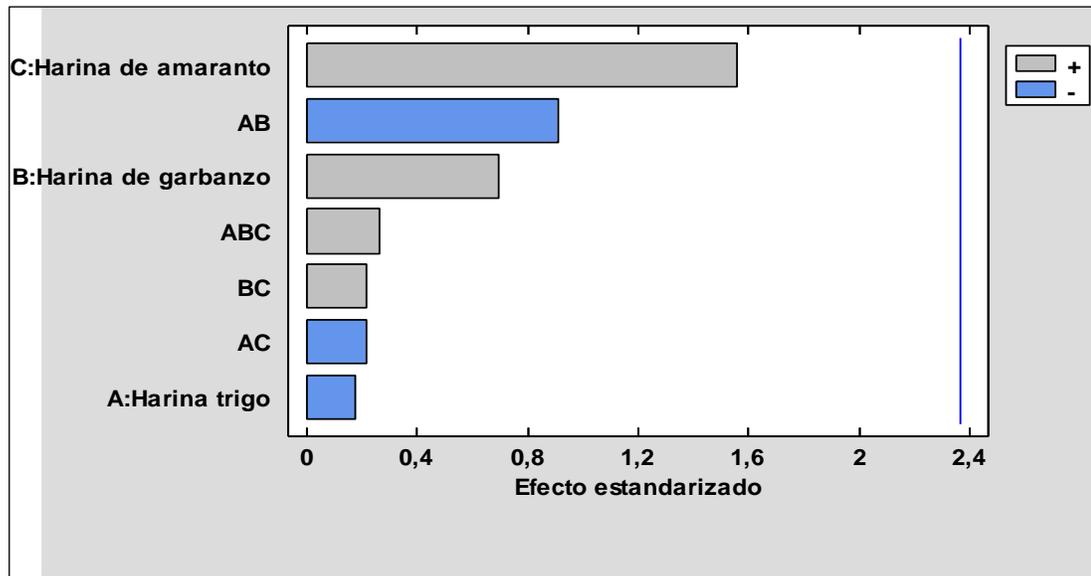


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.14: Interacción de factores para el pH

De acuerdo la figura 4.14, se puede observar que el valor de pH para la interacción AB se ve más afectado cuando el porcentaje de harina de trigo se encuentre en su nivel alto y bajo entre los valores (46,0 – 49,0) % es decir, el porcentaje de harina de trigo agregado según sus niveles de variación de acuerdo con el diseño puede llegar a ser significativo haciendo que el pH disminuya o aumente en función al porcentaje de del factor A (harina de trigo). Así mismo, para la interacción BC la variación del pH tanto para el nivel bajo del factor B (harina de garbanzo) influye levemente en la variación del pH, en cuanto a su nivel alto no se encuentra una considerable variación.

La figura 4.15 muestra el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en el diseño factorial. Por lo tanto, el nivel de significancia de los factores e interacciones se determina con la línea vertical de referencia que tiene un valor de (2,40).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.15: Diagrama de Pareto estandarizado por el pH

La figura 4.15 muestra el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en el diseño factorial. Por lo tanto, el nivel de significancia de los factores e interacciones según el diagrama de Pareto para los factores (A, B y C) e interacciones (AB, AC, BC y ABC) no son estadísticamente significativos, porque no pasan la línea de referencia, para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.3.2 Variable respuesta del porcentaje de acidez en la etapa de dosificación del pan hamburguesa tipo americano

En el diseño experimental 2^3 se toma en cuenta las variables independientes: los porcentajes de harina de trigo (A), harina de garbanzo (B) y harina de amaranto (B) y variable respuesta: la acidez del pan hamburguesa tipo americano, las muestras obtenidas son valoradas en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) y los resultados se muestra en el Anexo A. El análisis estadístico de varianza de variable la respuesta del contenido de acidez (Tabla 4.13), son introducidos en el programa de STATGRANPHICS Centurión XVI.I para Windows, extraídos de (Anexo E).

Tabla 4.13

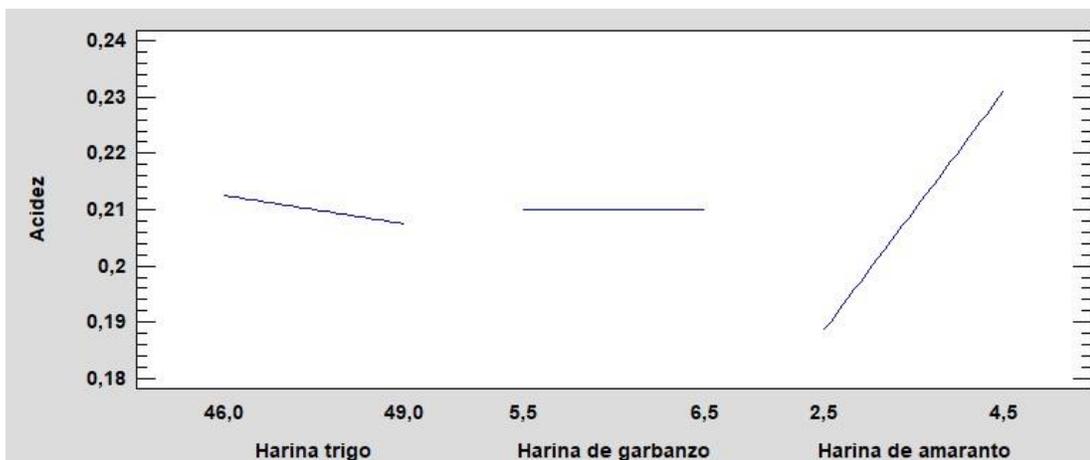
Análisis de varianza de la variable respuesta contenido de acidez

Fuente de varianza (FV)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrados medios (CM)	F _{cal}	F _{tab}
Factor A	0,00010	1	0,00010	0,03	0,8609
Factor B	0,00000	1	0,00000	0,00	1,0000
Factor C	0,00722	1	0,00720	2,39	0,1662
AB	0,00040	1	0,00040	0,13	0,7269
AC	0,00002	1	0,00002	0,01	0,9301
BC	0,00002	1	0,00002	0,01	0,9301
ABC	0,00022	1	0,00022	0,07	0,7929
Error total	0,02117	7	0,00302	-	-
Total	0,05640	15	-	-	-

Fuente: Elaboración Propia

Según el análisis de varianza (Tabla 4.13), se puede observar que para los factores A (harina de trigo), factor B (harina de garbanzo), interacción AB (harina de trigo – harina de garbanzo), interacción AC (harina de trigo- harina de garbanzo), interacción BC (harina de garbanzo – harina de amaranto) e interacción ABC (harina de trigo – harina de garbanzo – harina de amaranto), no existe diferencia significativa ya que $F_{cal} < F_{tab}$, por lo tanto, se acepta la hipótesis planteada. Sin embargo, para el factor C (harina de amaranto), existe diferencia significativa, ya que $F_{cal} > F_{tab}$, por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada y se puede decir que el factor C es significativo en la etapa de dosificación para un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

En la figura 4.16, se muestra los efectos principales de los factores: A (harina de trigo), B (harina de garbanzo) y C (harina de amaranto), con relación a la variable respuesta de acidez.

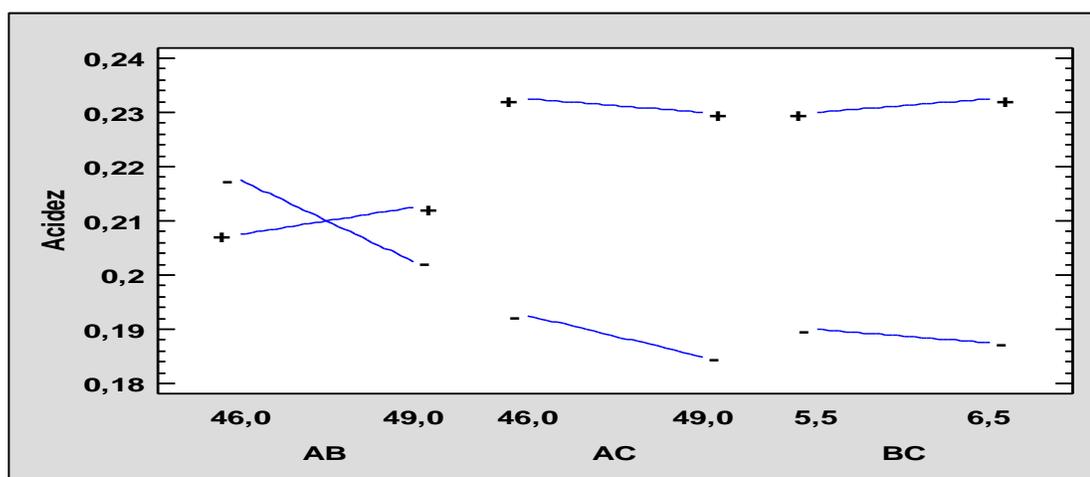


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.16: Efectos principales para el contenido acidez

De acuerdo a la figura 4.16, se puede observar que el factor A (harina de trigo), factor B (harina de garbanzo), ya que la variación entre los niveles alto y bajo (46,0 – 49,0) % y (5,5 – 6,5) %, no afecta al contenido de acidez, en cambio para el factor C (harina de amaranto) si influye significativamente la acidez a medida que aumenta su porcentaje (2,5 – 4,5) %.

En la figura 4.17, se muestra las interacciones para los factores: AB (harina de trigo – harina de garbanzo), AC (harina de trigo – harina de amaranto) y BC (harina de garbanzo – harina de amaranto) en función de la variable de acidez.

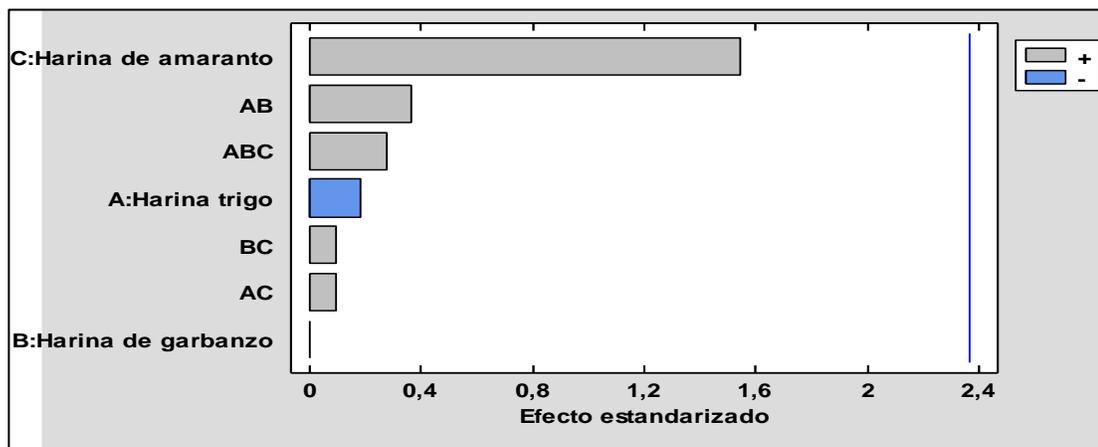


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.17: Interacción de factores para el contenido acidez

De acuerdo a la figura 4.17, se puede observar que el valor de acidez para la interacción AB (harina de trigo – harina de garbanzo) se ve la más afectada que la interacción AC (harina de trigo – harina de amaranto) y BC (harina de garbanzo – harina de amaranto) en sus niveles altos y bajos del contenido acidez (ácido láctico).

La figura 4.18 muestra el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en el diseño factorial. Por lo tanto, el nivel de significancia de los factores e interacciones se determina con la línea vertical de referencia con un valor de (2,40).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.18: Diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de acidez

De acuerdo a la figura 4.18 muestra el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en el diseño factorial. Por lo tanto, el nivel de significancia de los factores e interacciones de (2.40), de tal manera si las barras graficadas en el diagrama de Pareto para los factores (A, B y C) e interacciones (AB, AC, BC y ABC) no son estadísticamente significativos, porque no sobrepasan la línea de referencia, para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.3.3 Variable respuesta del porcentaje de contenido humedad en el pan hamburguesa tipo americano

Para realizar el diseño experimental 2^3 se toma en cuenta las variables independientes: los porcentajes de harina de trigo (A), harina de garbanzo (B) y harina de amaranto (B) y como variable respuesta: la humedad en el pan hamburguesa tipo americano, las muestras obtenidas son valoradas en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo

(CEANID) y los resultados de cada muestra encuentran en el Anexo A. El análisis estadístico de varianza de la variable respuesta del contenido de acidez (Tabla 4.14), son introducidos en el programa de STATGRAPHICS Centurión XVI.I para Windows, extraídos de (Anexo E).

Tabla 4.14

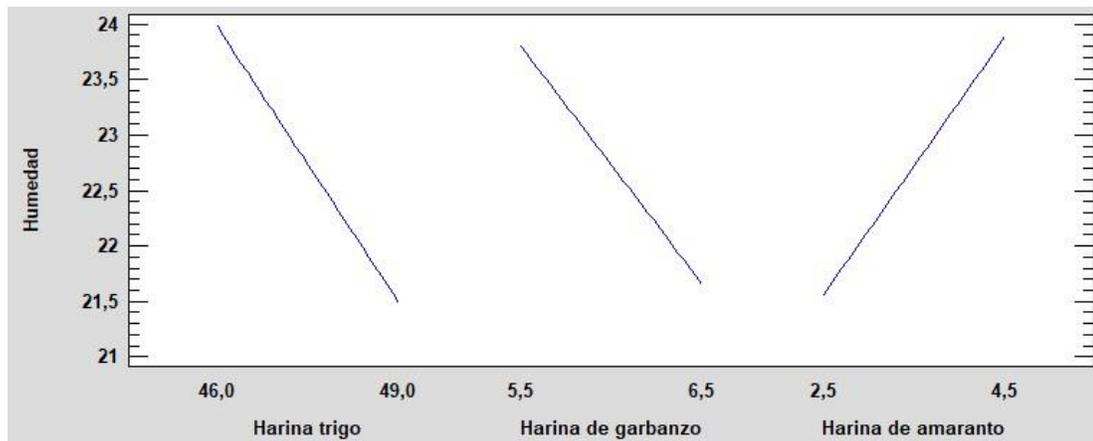
Análisis de varianza de la variable respuesta de contenido humedad

Fuente de varianza (FV)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrados medios (CM)	F_{cal}	F_{tab}
Factor A	24,8253	1	24,8253	5,05	0,0595
Factor B	18,5115	1	18,5115	3,76	0,0935
Factor C	21,6923	1	21,6923	4,41	0,0739
AB	0,2835	1	0,2835	0,06	0,8171
AC	0,4865	1	0,4865	0,10	0,7623
BC	23,1121	1	23,1121	4,70	0,0669
ABC	3,2851	1	3,2851	0,67	0,4407
Error total	34,4332	7	4,9190	-	-
Total	127,3230	15	-	-	-

Fuente: Elaboración Propia

Según el análisis de varianza (Tabla 4.14), se puede observar que para los factores A (harina de trigo), factor B (harina de garbanzo), factor C (harina de amaranto), interacción BC (harina de garbanzo – harina de amaranto) e interacción ABC (harina de trigo - harina de garbanzo – harina de amaranto), existe diferencia significativa ya que $F_{cal} > F_{tab}$, por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada. Sin embargo, para la interacción AB (harina de trigo – harina de garbanzo) e interacción AC (harina de trigo – harina de amaranto), no existe diferencia significativa, ya que $F_{cal} < F_{tab}$, por lo tanto, se acepta la hipótesis planteada para un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

En la figura 4.19, se muestra los efectos principales de los factores: A (harina de trigo), B (harina de garbanzo) y C (harina de amaranto), con relación a la variable respuesta de humedad.

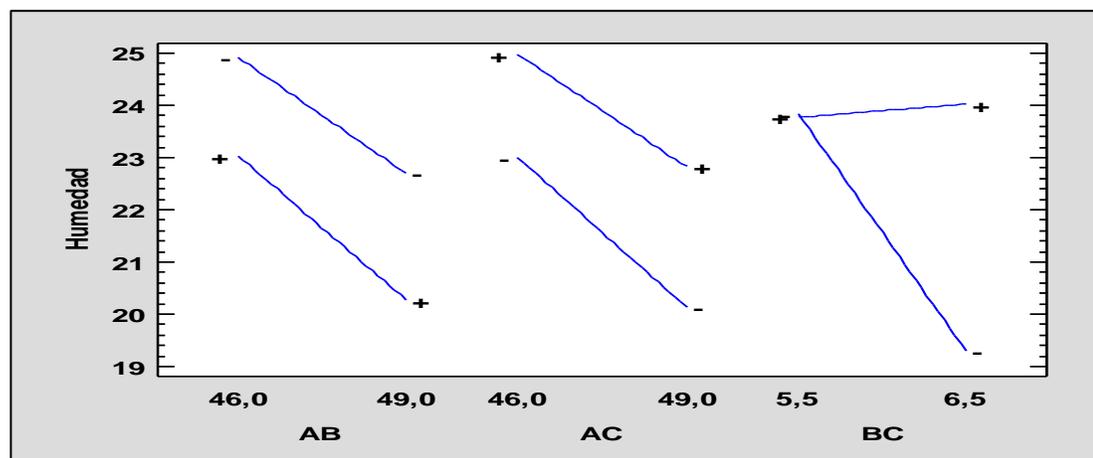


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.19: Efectos principales para el contenido de humedad

De acuerdo a la figura 4.19, se puede observar que el factor A (harina de trigo), factor B (harina de garbanzo), ya que la variación entre los niveles bajo y alto (46,0 – 49,0) % y (5,5 – 6,5) %, no muestra variación con el contenido de humedad, en comparación con el factor C (harina de amaranto); que varía entre el nivel es (2,5 – 4,5) %, refleja influencia significativa sobre el porcentaje de humedad.

En la figura 4.20, se muestra las interacciones para los factores: AB (harina de trigo – harina de garbanzo), AC (harina de trigo – harina de amaranto) y BC (harina de garbanzo – harina de amaranto) en función de la variable de humedad.

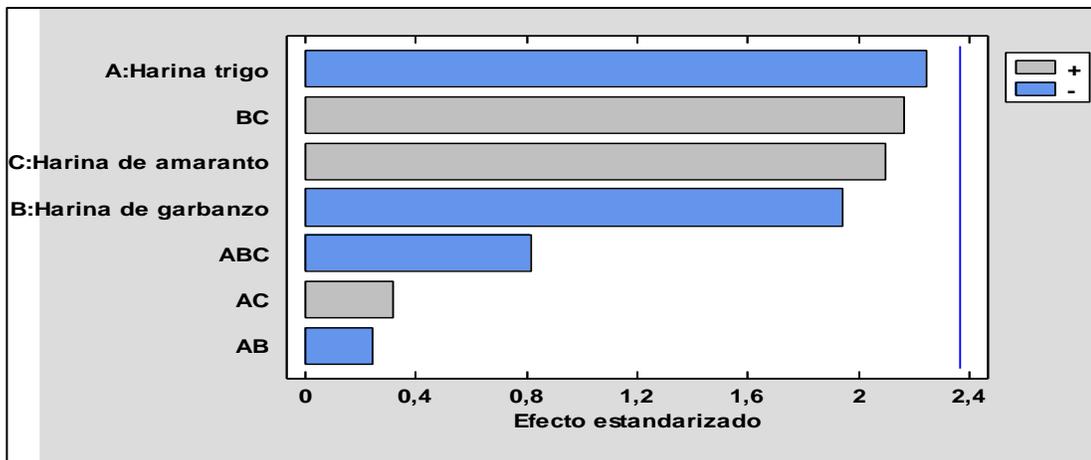


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.20: Interacción de factores para el contenido de humedad

En la figura 4.20, se puede observar que para la interacción AB (harina de trigo – harina de garbanzo), AC (harina trigo – harina de amaranto) y BC (harina de garbanzo – harina de amaranto) en las tres interacciones tienden a disminuir el porcentaje de humedad por el agregado de las harinas de garbanzo y amaranto ya que son más pesadas y tienen menos contenido de humedad.

La figura 4.21 muestra el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en el diseño factorial. Por lo tanto, el nivel de significancia de los factores e interacciones se determina con la línea vertical de referencia con un valor de (2,40).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.21: Diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de humedad

De acuerdo a la figura 4.21, muestra el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en el diseño factorial. Por lo tanto, el nivel de significancia de los factores e interpretaciones de (2,40), de tal manera si las barras graficadas en el diagrama de Pareto para los factores (A, B y C) e interacciones (AB, AC, BC y ABC) no son estadísticamente significativos, porque no sobrepasan la línea de referencia, para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

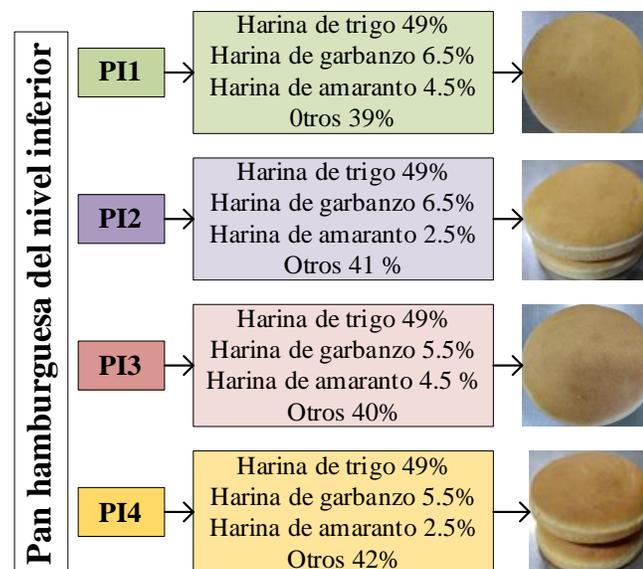
4.4 Selección de la muestra de pan hamburguesa tipo americano en función de la dosificación del diseño factorial 2³

De acuerdo al diseño factorial 2³ en la etapa de dosificación se procede a seleccionar la muestra de pan americano en función de la harina de trigo, harina de garbanzo y

harina de amaranto del nivel inferior y superior, con la finalidad de mejorar la muestra ideal de pan hamburguesa tipo americano.

4.4.1 Selección de la muestra de pan hamburguesa tipo americano del nivel inferior del diseño factorial

En base al diseño factorial 2^3 en el proceso de dosificación, se toma cuatro muestras de pan hamburguesa tipo americano en función del porcentaje de harina de trigo, garbanzo y amaranto con el fin de identificar el efecto de dosificación del porcentaje de harina en el nivel inferior, detalle que se observa en la figura 4.22.



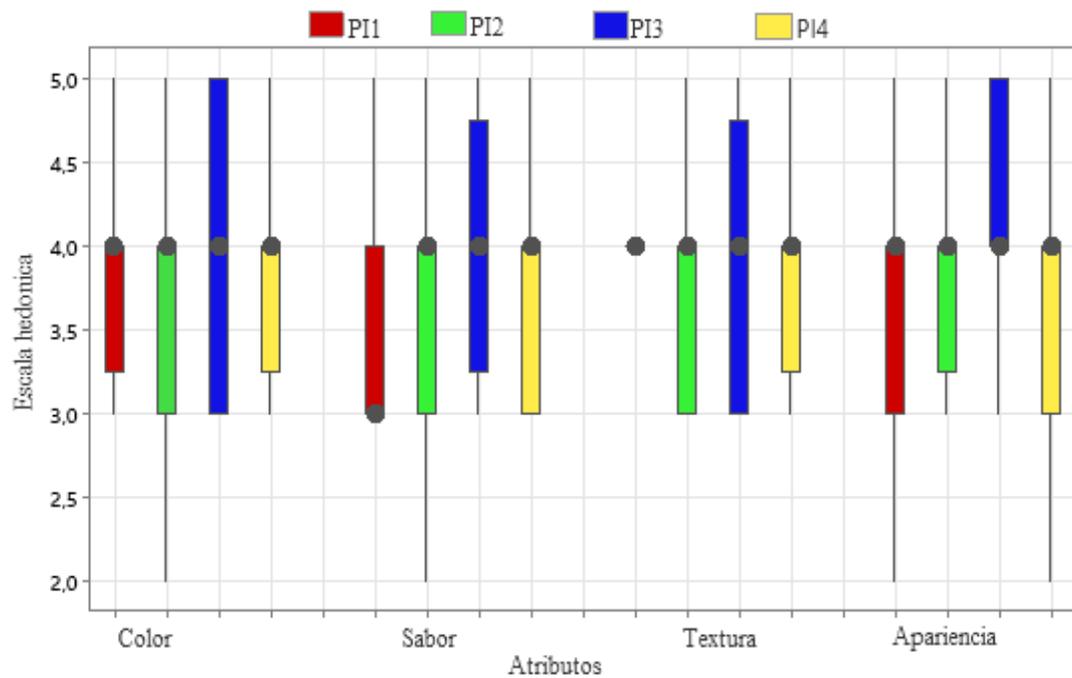
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.22: Pan hamburguesa del nivel inferior

De acuerdo a la figura 4.22, se procede a realizar una evaluación sensorial de escala hedónica de cinco puntos con los atributos color, sabor, textura y apariencia, con el fin de seleccionar una muestra de pan hamburguesa del nivel inferior.

4.4.1.1 Estadístico de caja y bigote de pan hamburguesa tipo americano del nivel inferior del diseño factorial

La figura 4.23, muestra el estadístico de caja y bigote de datos extraídos del Anexo C color (Tabla C. 49), sabor (Tabla C.51), textura (Tabla C. 53) y apariencia (Tabla C.55).



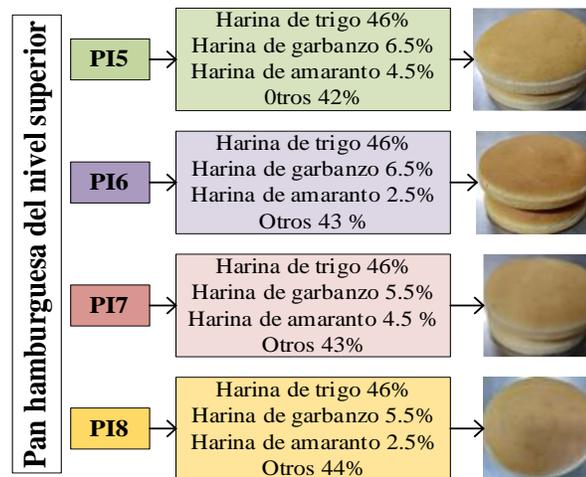
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.23: Caja y bigote del pan hamburguesa tipo americano del nivel inferior

De acuerdo a la figura 4.23, se observa que los resultados de las medianas en función de los atributos de las muestras evaluadas: 4,0 (PI1, PI2, PI3, PI4) color; 4,0 (PI2, PI3, PI4) sabor; 3,0 (PI1) sabor; 4,0 (PI1, PI2, PI3, PI4) textura; 4,0 (PI1, PI2, PI3, PI4) apariencia. El análisis estadístico de varianza indica que no existe diferencia significativa atributo textura, pero si existe diferencia entre los atributos color, sabor y apariencia (Anexo C) para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.4.2 Selección de la muestra de pan hamburguesa tipo americano del nivel superior del diseño factorial

En basa al diseño factorial en el proceso de la dosificación, se toma cuatro muestras del pan hamburguesa tipo americano en función del porcentaje de harina de trigo, garbanzo y amaranto con el fin de identificar el efecto de dosificación del porcentaje de harina en el nivel superior, detalle que se observa en la figura 4.24.



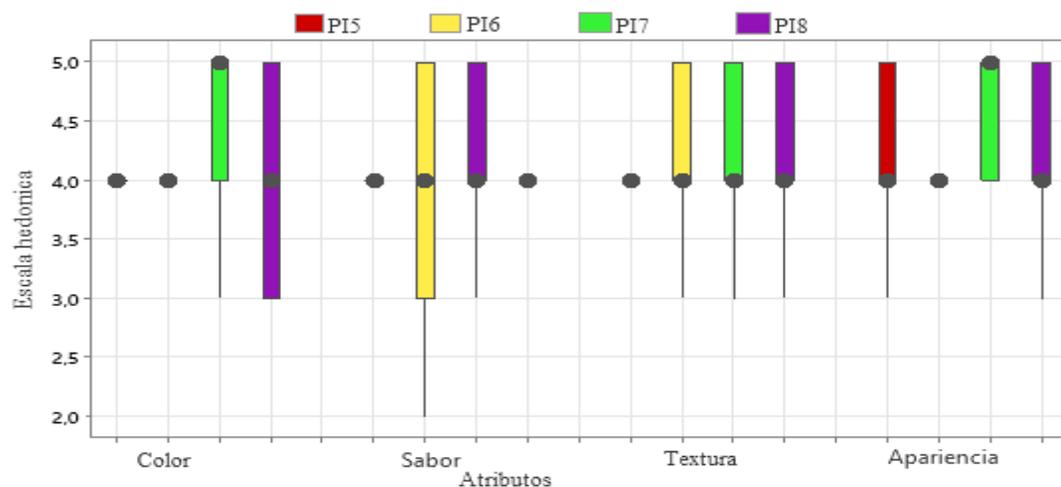
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.24: Pan hamburguesa del nivel superior

De acuerdo a la figura 4.24, se procedió a realizar una evaluación sensorial de escala hedónica de cinco puntos con los atributos color, sabor, textura y apariencia, con el fin de seleccionar una muestra de pan hamburguesa del nivel superior.

4.4.2.1 Estadístico de caja y bigote de pan hamburguesa tipo americano del nivel superior del diseño factorial

La figura 4.25, muestra el estadístico de caja y bigote de datos extraídos del Anexo C color (Tabla C.57), sabor (Tabla C.59), textura (Tabla C.61) y apariencia (Tabla C.63).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.25: Caja y bigote de pan hamburguesa tipo americano del nivel superior

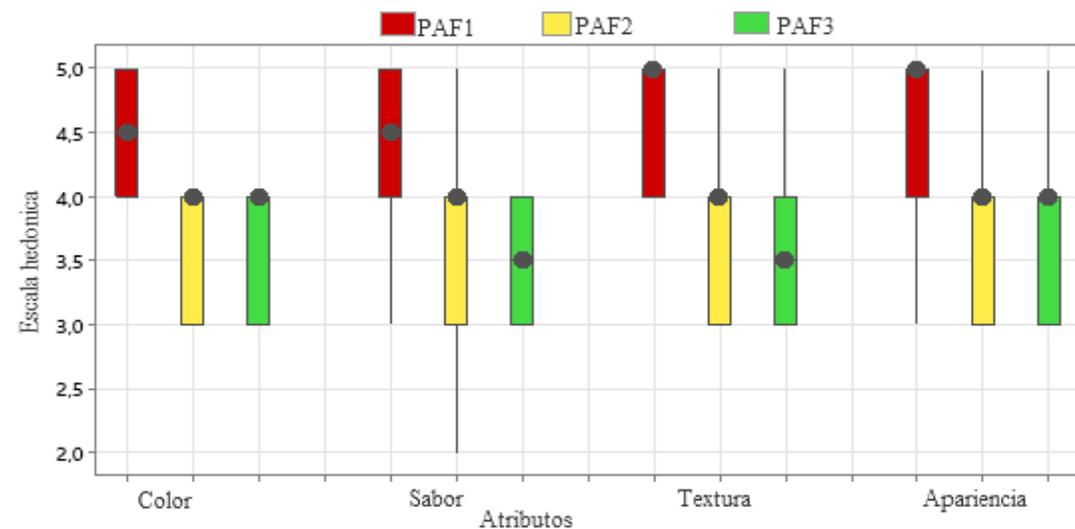
De acuerdo a la figura 4.25, se observa que los resultados de las medianas en función de los atributos de las muestras evaluadas: 4,0 (PI5, PI6, PI8) color; 5,0 (PI7) color; 4,0 (PI5, PI6, PI7, PI8) sabor; 4,0 (PI5, PI6, PI7, PI8) textura; 4,0 (PI5, PI6, PI8) apariencia; 5,0 (PI7) apariencia. El análisis estadístico de varianza indica que no existe diferencia significativa en el atributo textura, pero si existe diferencia entre los atributos color, sabor y apariencia (Anexo C) para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.5 Selección del producto final de pan hamburguesa tipo americano

De acuerdo a una evaluación sensorial realizada se selecciona la muestra (PI3 y PI7) del diseño factorial que presentan diferencias significativas según el análisis estadístico por las valoraciones de jueces. Estas dos muestras (PI3 y PI7) se cambia su codificación a (PAF2 y PAF3), son valoradas con la muestra ideal (PA) el cual cambia su codificación por (PAF1). Así mismo, se utiliza con escala hedónica de 5 puntos con la finalidad de elegir el producto final.

4.5.1 Estadístico de caja y bigote para comparar muestra experimental e ideal de pan hamburguesa tipo americano

La figura 4.26, muestra el estadístico de caja y bigote de datos extraídos del Anexo C color (Tabla C.31), sabor (Tabla C.32), textura (Tabla C.33) y apariencia (Tabla C.34).



Fuente: Elaboración propia

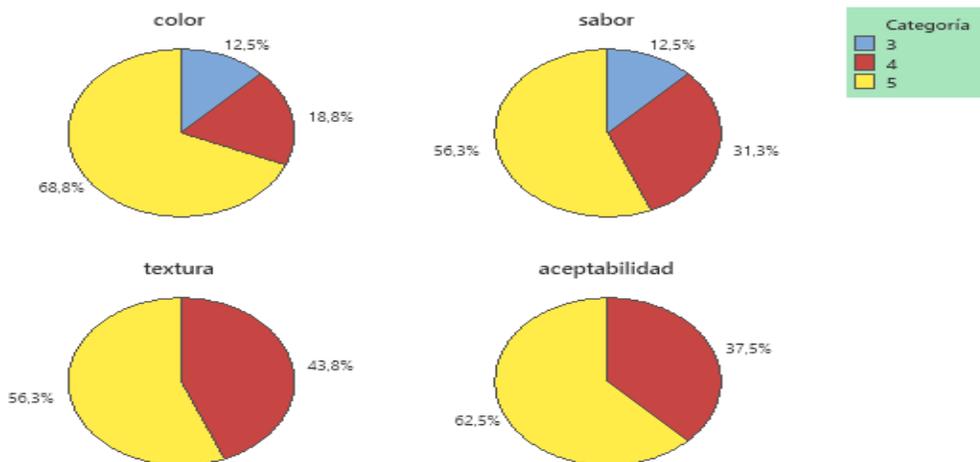
Figura 4.26: Caja y bigote para elegir la muestra de pan hamburguesa tipo americano

De acuerdo a la figura 4.26, se observa que los resultados de las muestras para los atributos; color, sabor 4,5 (PAF1); textura y apariencia 5,0 (PAF1); color, sabor, textura y apariencia 4,0 (PAF2); color y apariencia 4,0 (PAF3); sabor y textura 3,5 (PAF3). Realizando el análisis estadístico de varianza si existe diferencia significativa entre los atributos: color, sabor, textura y apariencia en la muestra PAF1 para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. Ver (Anexo C)

4.6 Evaluación sensorial para la muestra final de pan hamburguesa tipo americano

Para realizar la valoración final de producto, se realiza una evaluación sensorial a la muestra PAF1 de pan hamburguesa tipo americano se lleva a cabo con la escala hedónica de cinco puntos, con el fin de ver el grado de aceptación que presenta el pan hamburguesa tipo americano ante 16 jueces no experimentados.

En la figura 4.27, se observa los resultados obtenidos de la evaluación sensorial expresados en porcentaje según la escala hedónica, para los atributos: color, sabor, textura y apariencia, datos extraídos del Anexo C.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.27: Torta estadística de valoración final de pan hamburguesa tipo americano

Según la figura 4.27, se muestran los resultados en porcentajes de 16 jueces no entrenados para los atributos: color de 5,0 (68,80%) y 4,0 (18,80 %), sabor con 5,0

(56,3%) y 4,0 (31,30 %), textura con 5,0 (56,30 %) y 4,0 (43,80 %), aceptabilidad 5,0 (62,50 %) y 4,0 (37,50 %). En base a los datos obtenidos, se puede concluir que más del 90 % de los evaluadores (15 jueces), han calificado al producto con 5 y 4 puntos (bueno y muy bueno), por lo tanto, se considera que el producto es satisfactorio.

4.7 Caracterización del producto terminado

En la caracterización del producto terminado, se toma en cuenta los parámetros fisicoquímicos, minerales y microbiológicos del pan hamburguesa tipo americano que se detallan a continuación:

4.7.1 Análisis fisicoquímico del pan hamburguesa tipo americano

La Tabla 4.15, detalla los resultados del análisis fisicoquímico del pan hamburguesa tipo americano datos extraídos del Anexo A.

Tabla 4.15

Análisis fisicoquímicos del pan hamburguesa tipo americano

Componentes	Unidad	Resultado
Ceniza	%	1,73
Fibra	%	1,97
Grasa	%	7,01
Hidrato de carbono	%	57,08
Humedad	%	25,75
Proteína total (Nx6,25)	%	8,43
Valor energético	Kcal/100 g	325,13

Fuente: CEANID, 2023

La Tabla 4.15, muestra los resultados de análisis fisicoquímico del pan hamburguesa tipo americano: ceniza 1,73 %, fibra 1,97 %, grasa 7,01 %, hidratos de carbono 57,08 %, humedad 25,75 %, proteína total (Nx6,25) 8,43% y valor energético 325,13 Kcal/100g.

4.7.2 Análisis de minerales del pan hamburguesa tipo americano

La Tabla 4.16, detalla los resultados obtenidos del análisis del contenido de minerales en el pan hamburguesa tipo americano, extraídos del Anexo A.

Tabla 4.16

Análisis de minerales en el pan hamburguesa tipo americano

Minerales	Unidad	Resultados
Calcio	mg/100g	31,2
Hierro	mg/100g	2,5
Fosforo	mg/100g	66,6
Magnesio	mg/100g	45,5

Fuente: CEANID, 2023

La Tabla 4.16, muestra los resultados de análisis de minerales en el pan hamburguesa tipo americano: calcio 31,2 mg/100g, hierro 2,5 mg/100g, fosforo 66,6 mg/100g y magnesio 45,5 mg/100g.

4.7.3 Análisis microbiológico en el pan hamburguesa tipo americano

La Tabla 4.17 detalla los resultados de análisis microbiológicos del pan hamburguesa tipo americano, datos extraídos del Anexo A.

Tabla 4.17

Análisis microbiológico del pan hamburguesa tipo americano

Microorganismos	Unidad	Resultados
Bacterias aerobias mesófilas	UFC/g	$3,0 \times 10^2$
Staphylococo aureus	UFC/g	$<1,0 \times 10^1 (*)$
Mohos y levaduras	UFC/g	$<1,0 \times 10^1 (*)$

Fuente: CEANID, 2023

En la Tabla 4.17, se observa los resultados de los análisis microbiológicos del pan hamburguesa tipo americano: bacterias aerobias mesófilas $3,0 \times 10^2$ UFC/g,

staphylococo aureus $<1,010^1$ UFC/g, mohos y levaduras $<1,0 \times 10^1$ UFC/g (*) y se observa que no existe desarrollo de colonias.

4.8 Control de acidez, pH y humedad en el pan hamburguesa tipo americano durante el almacenamiento

Para llevar a cabo el control de pH, acidez (ácido láctico) y humedad durante el almacenamiento, se elabora dos muestras (PF1S y PF1C) en base a la formulación del producto final, donde la muestra (PF1S) no lleva conservante y la otra muestra contiene como conservante propionato de calcio (PF1C), ambas son envasadas en bolsas de polietileno con cierre hermético y se realiza un control cada 2 días.

4.8.1 Control de acidez en el pan hamburguesa tipo americano durante el almacenamiento

La Tabla 4.18, muestra los resultados obtenidos de la variación de acidez (ácido láctico) en las muestras de pan hamburguesa sin conservante (PF1S) y con conservante (PF1C); en función del tiempo de almacenamiento, datos extraídos de Anexo G.

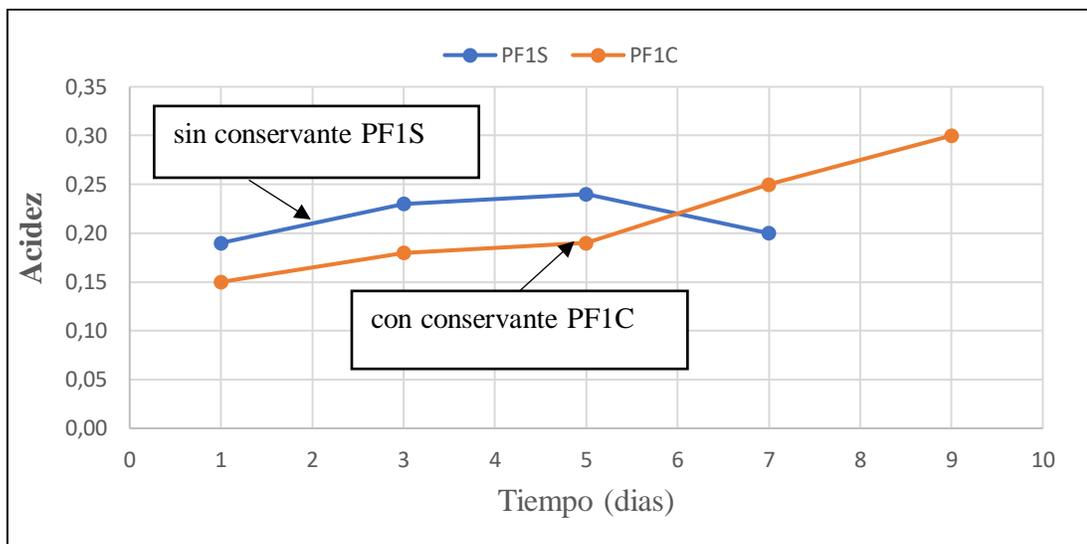
Tabla 4.18

Control de acidez en el pan hamburguesa tipo americano

Tiempo (días)	Acidez (ácido láctico)	
	PF1S	PF1C
1	0,19	0,15
3	0,23	0,18
5	0,24	0,19
7	0,20	0,25
9		0,30

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.28, se muestra el control de acidez durante el almacenamiento en base a los resultados de la Tabla 4.18



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.28: Control de acidez en el pan hamburguesa durante el almacenamiento

De acuerdo a la figura 4.28, las muestras PF1S y PF1C presentaron el primer día un valor de acidez inicial de 0,19% (PF1S) y 0,15% (PF1C), para el quinto día tienen una acidez 0,24 % (PF1S) y 0,19 % (PF1C), en el séptimo día la muestra (PF1S) llega a descender su valor de acidez y la muestra (PF1C) empieza a tener un aumento de acidez.

De acuerdo al control de acidez realizado en el pan hamburguesa tipo americano se puede evidenciar que la muestra PF1C (con conservante) tiene un aumento más lento del contenido de acidez de (0,15 a 0,30) %. En cambio, en la muestra PF1S (sin conservante) existe una variación de aumento más rápido del contenido de acidez hasta el quinto día, luego empieza a descender observando que el propionato de calcio influye sobre el valor de la acidez de la muestra.

4.8.2 Control de pH en el pan hamburguesa tipo americano durante el almacenamiento

La Tabla 4.19 muestra los resultados obtenidos de la variación de pH en el pan hamburguesa sin conservante (PF1S) y con conservante (PF1C); en función del tiempo de almacenamiento, datos extraídos del Anexo G.

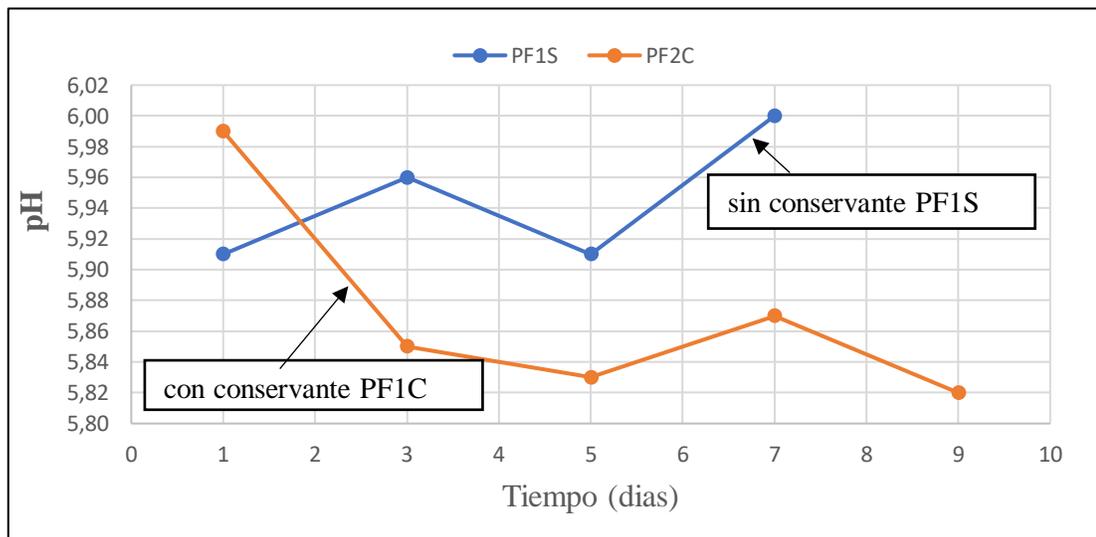
Tabla 4.19

Variación del pH en el pan hamburguesa tipo americano

Tiempo (días)	pH	
	PF1S	PF1C
1	5,91	5,99
3	5,96	5,85
5	5,91	5,83
7	6,00	5,87
9	-	5,82

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.29, se muestra el control de pH en el pan hamburguesa durante el almacenamiento en base a los resultados de la Tabla 4.19.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.29: Control de pH en el pan hamburguesa durante el almacenamiento

La figura 4.29, las muestras PF1S y PF1C, presentan al primer día un valor de pH de 5,91 (PF1S) y 5,99 (PF2C), para el tercer día la muestra PF1S presentan un aumento de pH 5,96 y la muestra PF1C presenta un descenso de pH 5,85, en el quinto día empieza a descender para las 2 muestras y en el séptimo día empiezan a tener un aumento de acidez.

De tal manera, que el control de pH en la muestra PF1S aumenta su valor de pH de 5,91 a 6, en cambio la muestra PF1C tiende un descenso del valor de pH de 5,99 a 5,82,

indicando que el propionato de calcio regula el pH dando al producto un mayor tiempo de conservación.

4.8.3 Control de humedad en el pan hamburguesa tipo americano durante el almacenamiento

La Tabla 4.20 muestra los resultados obtenidos de la variación del contenido de humedad en el pan hamburguesa sin conservante (PF1S) y con conservante (PF1C); en función del tiempo de almacenamiento, datos extraídos del Anexo G.

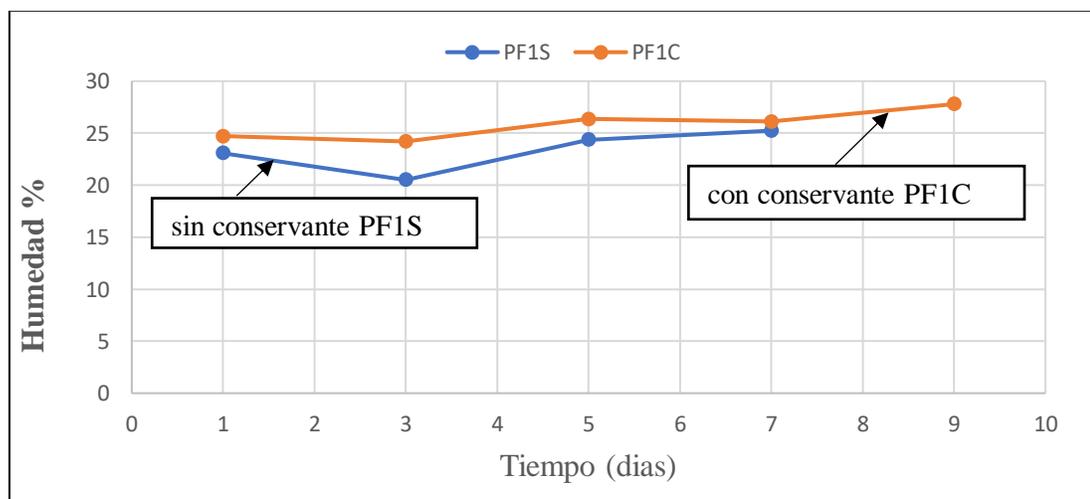
Tabla 4.20

Variación del contenido de humedad en el pan hamburguesa tipo americano

Tiempo (días)	Humedad (%)	
	PF1S	PF1C
1	23,08	24,70
3	20,50	24,90
5	24,36	26,36
7	25,24	26,11
9	-	27,79

Fuente: Elaboración propia

La figura 4.30 muestra el control del contenido de humedad en el pan hamburguesa durante el almacenamiento en base a los datos de la Tabla 4.20.



Fuente: Elaboración propia

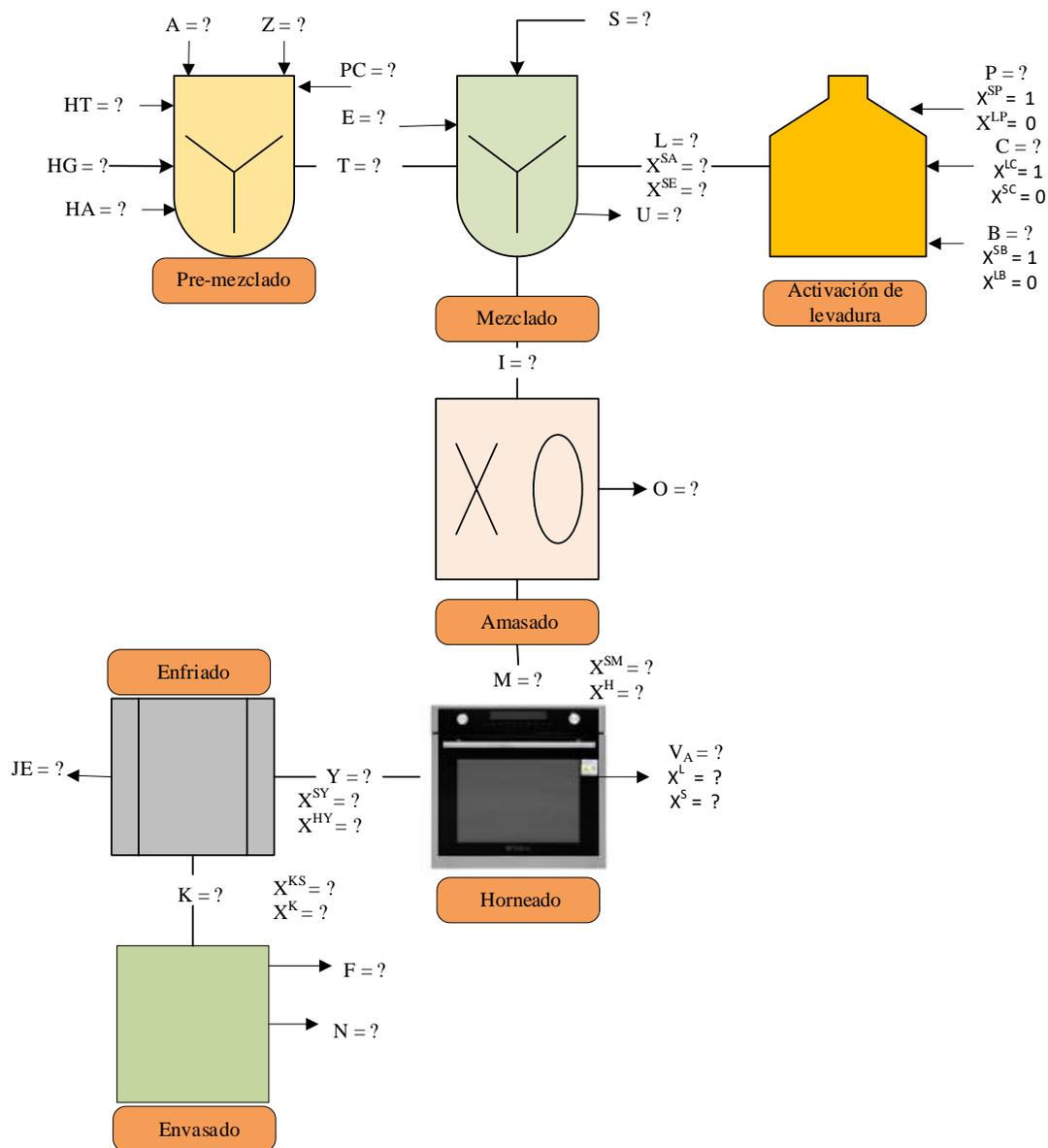
Figura 4.30: Control de contenido humedad en el pan hamburguesa

En la figura 4.30, se puede observar el contenido de humedad en función del tiempo de las muestras PF1S y PF1C, donde la muestra sin conservante (PF1S) tiene un aumento más rápido en contenido de humedad alcanzando un valor de 25,24 % en un tiempo de 7 días, mientras tanto la muestra con conservante (PF1C), tiene un tiempo de 9 días alcanzando una humedad de 27,79 %, a temperatura ambiente de 25 °C.

De acuerdo al control de contenido de humedad en la muestra PF1S (sin conservante) llega a ascender su valor de (23,08 a 25,24) %. En cambio, la muestra PF1C (con conservante) varía el contenido de humedad de (24,70 a 27,79) %. Por tanto, la adición de propionato de calcio afecta directamente en el contenido de humedad del pan hamburguesa tipo americano.

4.9 Balance de materia en el proceso de elaboración de pan hamburguesa tipo americano

En la figura 4.31, se muestra el balance de materia general para el proceso de elaboración de pan hamburguesa tipo americano para un cálculo de 1068 gramos de panificación.



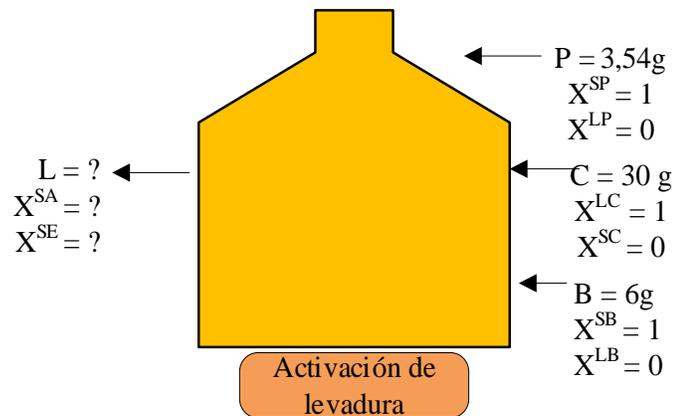
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.31: Balance de materia general en el proceso de elaboración de pan hamburguesa tipo americano

T =	mezcla de harina, sal y azúcar (g)	P =	azúcar para activar levadura (g)
E =	manteca vegetal (g)	C =	agua para activar levadura (g)
L =	levadura activada (g)	JE =	vapor de agua (g)
X^{SB} =	fracción sólida de levadura	HT =	harina de trigo (g)
X^{SP} =	fracción solida del azúcar	HG =	harina de garbanzo (g)
X^{SA} =	fracción sólida de levadura activada	HA =	harina de amaranto (g)
X^{LP} =	fracción líquida del azúcar	X^H =	contenido de humedad de la masa
X^{Lc} =	fracción líquida del agua	X^{Hy} =	contenido de humedad del pan
X^{SE} =	fracción líquida de levadura activada	X^{KS} =	contenido de humedad del pan después del enfriamiento
X^{Sy} =	fracción sólida del pan	X^L =	fracción líquida del vapor de agua
XSM =	fracción sólida de la masa	S =	agua (g)
X^K =	fracción sólida del pan después del enfriamiento	O =	pérdida (g)
X^S =	fracción sólida del vapor de agua	B =	levadura (g)
I =	masa total (g)	N =	pan envasado (g)
M =	masa (g)	F =	pérdida en el envasado (g)
A =	azúcar para el pre - mezclado (g)	Z =	sal para el pre- mezclado (g)
Y =	pan hamburguesa tipo americano (g)	U =	pérdida (g)
V_A =	vapor de agua (g)	PC =	conservante propionato de calcio (g)
K =	pan después del enfriado (g)		

4.9.1 Balance de materia para activación de la levadura

En la figura 4.32, se muestra la etapa de activación de levadura para realizar el balance de materia correspondiente.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.32: Balance de materia para activación de la levadura

Balance general de materia para la activación de levadura.

$$P + C + B = L \quad \text{Ecuación (4.1)}$$

Para el cálculo de la levadura activada, se realizó balance parcial en componentes sólidos en base a la ecuación (4.1)

$$P * X^{SP} + C * X^{SC} + B * X^{SB} = L * X^{SA} \quad \text{Ecuación (4.2)}$$

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

$$P * X^{SP} + B * X^{SB} = L * X^{SA} \quad \text{Ecuación (4.3)}$$

Reemplazando ecuación (4.1) en la ecuación (4.3) para hallar la fracción sólida de la levadura activada.

$$P * X^{SP} + B * X^{SB} = (P + C + B) * X^{SA} \quad \text{Ecuación (4.4)}$$

$$X^{SA} = \frac{P * X^{SP} + B * X^{SB}}{(P + C + B)}$$

$$X^{SA} = \frac{3.54 * 1 + 6 * 1}{(3.54 + 30 + 6)} = 0,24$$

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

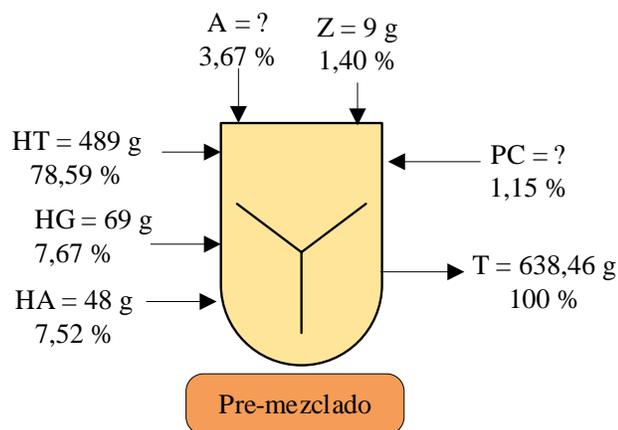
$$P * X^{SP} + B * X^{SB} = L * X^{SA}$$

$$L = \frac{P * X^{SP} + B * X^{SB}}{X^{SA}}$$

$$L = \frac{3,54 * 1 + 6 * 1}{0,24} = 39,75 \text{ g.}$$

4.9. 2 Balance de materia en la etapa de pre - mezclado

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



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.33: Pre-mezclado

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

$$PC = T * (0,0115)$$

Ecuación (4.5)

$$PC = 638,46 * (0,0115)$$

$$PC = 7,34 \text{ g}$$

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

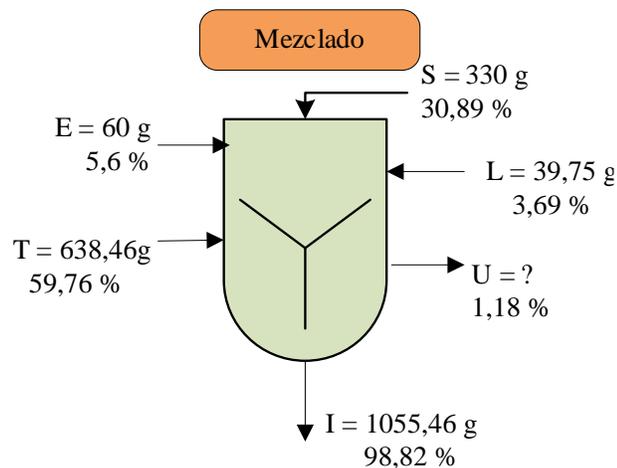
$$A = T * (0,0367) \quad \text{Ecuación (4.6)}$$

$$A = 638,46 * (0,0367)$$

$$A = 23,43 \text{ g}$$

4.9.3 Balance de materia en la etapa de mezclado

En la figura 4.34, se muestra la etapa de mezclado para realizar el balance de materia correspondiente.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.34: Balance de materia en la etapa de mezclado

Para el cálculo de U (pérdida) en la etapa de mezclado se tomó en cuenta los porcentajes de rendimiento en la etapa de mezclado.

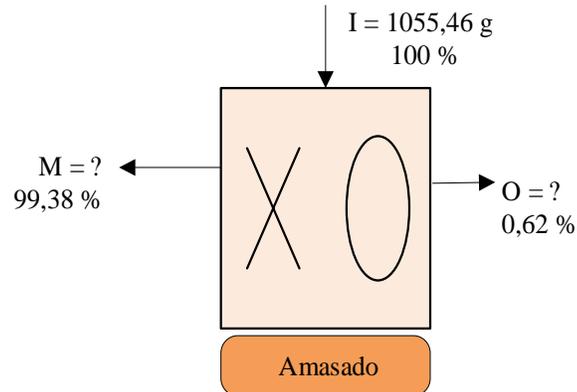
$$U = I * (0,0118) \quad \text{Ecuación (4.7)}$$

$$U = 1055,46 * (0,0118)$$

$$U = 12,60 \text{ g de pérdida de masa en el mezclado}$$

4.9.4 Balance de materia en la etapa de amasado

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



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.35: Balance de materia en la etapa de amasado

Para el cálculo de O (pérdida) en la etapa de amasado se toma en cuenta los porcentajes de rendimientos en la etapa de amasado.

$$O = I * (0,62) \quad \text{Ecuación (4.8)}$$

$$O = 1055,46 * (0,0062)$$

$$O = 6,54 \text{ g.}$$

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

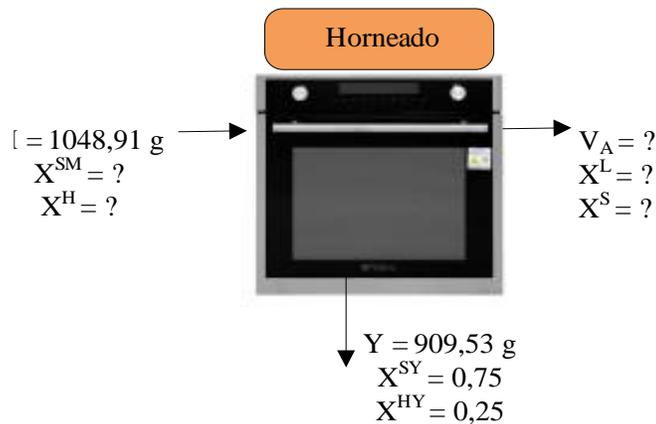
$$M = I * (0,9938) \quad \text{Ecuación (4.9)}$$

$$M = 1055,46 * (0,9938)$$

$$M = 1048,91 \text{ g}$$

4.9.5. Balance de materia parcial en la etapa de horneado

En la figura (4.36), se muestra la etapa de horneado para realizar el balance de materia correspondiente.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.36: Horneado

Balance general en la etapa de horneado de pan hamburguesa tipo americano

$$M = V_A + Y \quad \text{Ecuación (4.10)}$$

Para el cálculo del agua evaporada (V_A) durante la etapa del horneado se tomó en cuenta las cantidades de salida y entrada en la ecuación (4.10)

Despejando V_A en base a la ecuación 4.10.

$$V_A = M - Y \quad \text{Ecuación (4.11)}$$

$$V_A = 1048,91 - 909,53$$

$$V_A = 139,38 \text{ g.}$$

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

$$M * X^H = V_A * X^L + Y * X^{HY} \quad \text{Ecuación (4.12)}$$

$$X^H = \frac{V_A * X^L + Y * X^{HY}}{M} = \frac{139,38 * 1 + 909,53 * 0,25}{1048,91} = 0,35$$

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

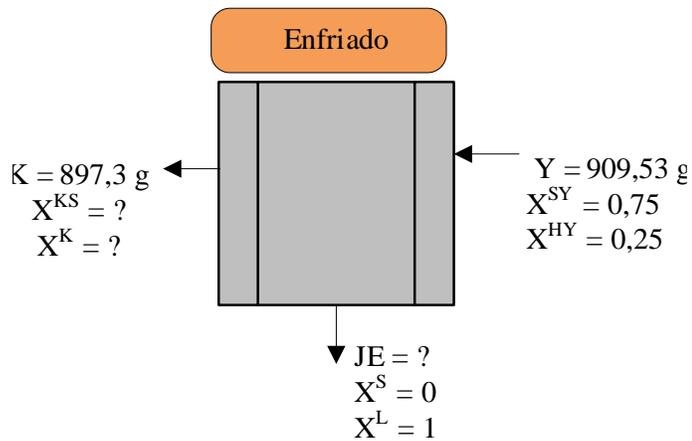
$$\text{Así mismo: } X^H + X^{SM} = 1 \quad \text{Ecuación (4.13)}$$

$$\text{Entonces: } X^{SM} = 1 - X^H \quad \text{Ecuación (4.14)}$$

$$X^{SM} = 1 - 0,35 \rightarrow X^{SM} = 0,65$$

4.9.6 Balance de materia en la etapa de enfriado

En figura (4.37), se muestra la etapa de enfriado del pan hamburguesa para realizar el balance de materia correspondiente:



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.37: Enfriado

Balance de materia global en la etapa de horneado del pan hamburguesa

$$Y = JE + K \quad \text{Ecuación (4.15)}$$

Para el cálculo del agua evaporada (JE) durante el enfriado del pan hamburguesa se tomó en cuenta las cantidades de salida y entrada en base a la ecuación (4.15):

Despejando JE de la ecuación 4.15

$$JE = Y - K \quad \text{Ecuación (4.16)}$$

$$JE = 909,53 \text{ g} - 897,3 \text{ g}$$

$$JE = 12,23 \text{ g.}$$

Para hallar la humedad del pan hamburguesa (K) después del enfriado, se realizó el balance por componentes en líquido (agua) en base a la ecuación 4.15.

$$Y * X^{HY} = JE * X^L + K * X^{KS} \quad \text{Ecuación (4.17)}$$

$$X^{KS} = \frac{Y * X^{HY} + JE * X^L}{K} = \frac{909,53 * 0,25 + 12,23 * 1}{897,3}$$

$$X^{KS} = 0,27$$

Hallando la fracción sólida del pan hamburguesa después del enfriado:

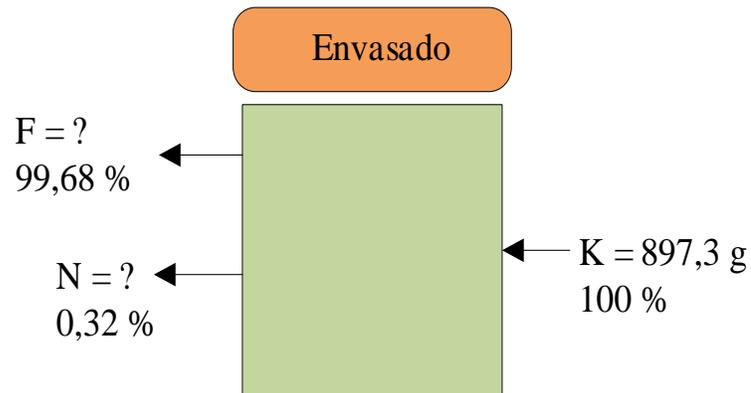
$$X^{KS} + X^K \quad \text{Ecuación (4.18)}$$

$$X^K = 1 - X^{KS}$$

$$X^k = 1 - 0,27 \rightarrow X^K = 0,73 \quad \text{Ecuación (4.19)}$$

4.9.7 Balance de materia en la etapa de envasado

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



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.38: Envasado

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

$$F = K * (0,9968) \quad \text{Ecuación. (4.20)}$$

$$F = 897,3 * (0,9968)$$

$$F = 894,42 \text{ g}$$

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

$$N = K * (0,0032) \quad \text{Ecuación (4.21)}$$

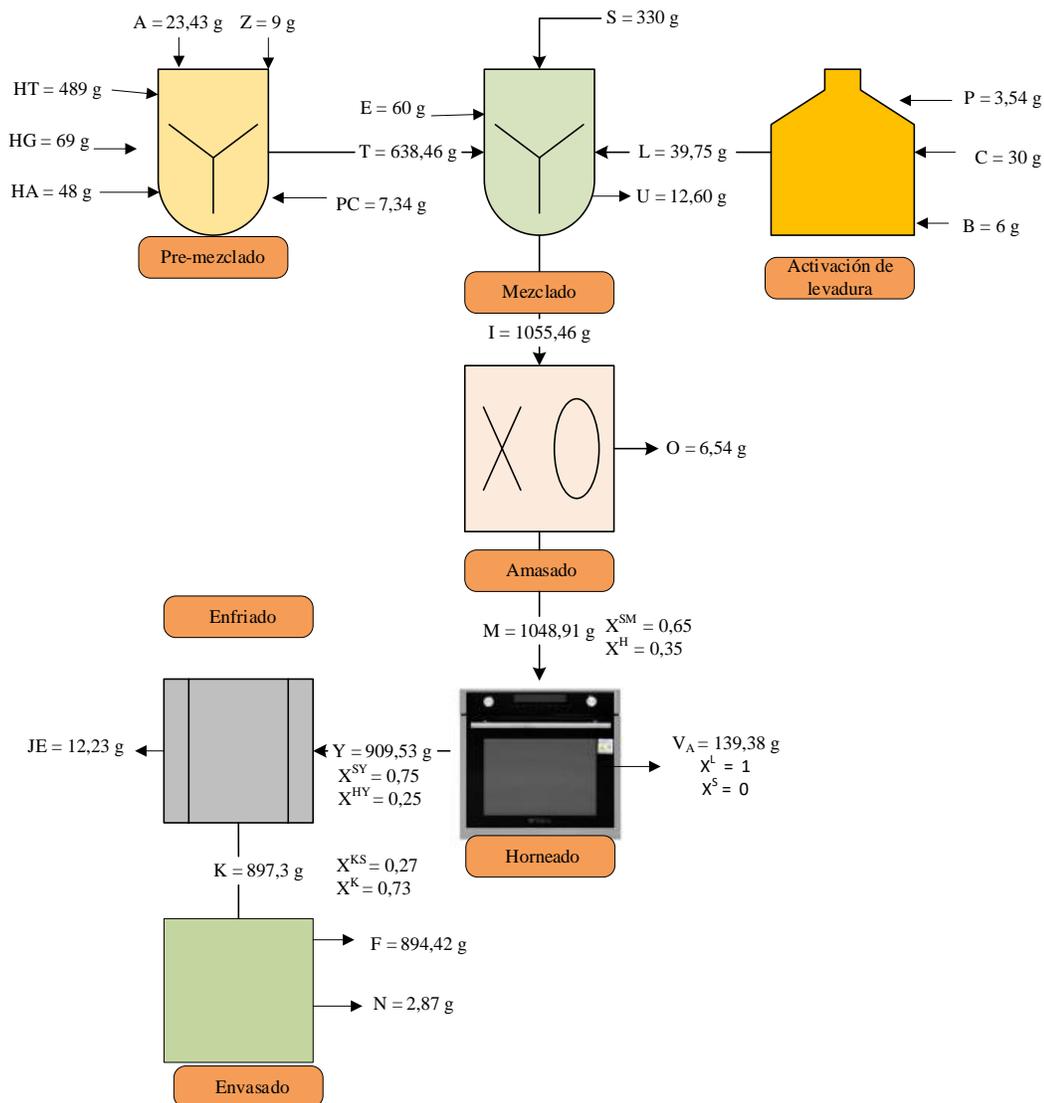
$$N = 897,3 * (0,0032)$$

$$N = 2,87 \text{ g}$$

Realizando el balance de materia para la elaboración de pan hamburguesa tipo americano, se pudo obtener 894,42 g. de pan hamburguesa y a partir de este se logró envasar 12 unidades de pan hamburguesa con peso neto de 68,54 g. cada uno.

4.10 Resumen general del balance de materia para el proceso de elaboración de pan hamburguesa tipo americano

En la figura 4.39, se muestra el resumen de los resultados obtenidos del balance general de materia para la elaboración de pan hamburguesa tipo americano.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.39: Resumen de los resultados obtenidos del balance general de materia para la elaboración de pan hamburguesa tipo americano.

4.11 Balance de energía para la etapa de fermentación de la masa del pan hamburguesa tipo americano

La etapa de fermentación de la masa del pan hamburguesa tipo americano se utilizó incubadora eléctrica con potencia de 1080 w durante 0,83 horas en la figura 4.39, se muestra la incubadora para determinar la energía eléctrica requerida en la etapa de fermentación.

P= 1080 W
T=0,83 horas
E=?



Fermentación

Fuente: Elaboración propia
Figura 4.39: Fermentación

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

$$E = P * T \quad \text{Ecuación (4.22)}$$

Donde:

E = Energía eléctrica W/h

P = potencia (W)

T = Tiempo (h)

Así mismo: 1 Kcal/h = 1,163 W → Por tanto: 1080 W → 928,63 Kcal/h

Reemplazando datos en la ecuación 4.22 para hallar la energía eléctrica requerida.

$$E = 928,63 \text{ Kcal/h} * 0,83 \text{ h}$$

$$E = 770,76 \text{ Kcal}$$

La cantidad de energía eléctrica requerida en la incubadora para llevar a cabo la fermentación durante 0,83 horas es de 770,76 Kcal para 1068 g de masa para pan hamburguesa tipo americano

4.12 Balance de energía para el horneado del pan hamburguesa tipo americano

El balance de energía para el horneado de la masa de pan se realizó para 1068 g de masa de pan y para el cual los cálculos, en detalles base a las condiciones de la ciudad de Tarija de 1866 msnm y presión atmosférica de 609 mmHg (Jiménez, 2022).

Para realizar el balance de energía en el horneado de pan se tomó en cuenta la cantidad de calor necesario para calentar el aire dentro del horno, el calor necesario para hornear el pan y el calor necesario para evaporar el agua del pan. En la figura 4.40, muestra el horno para el balance de energía del horneado del pan.



Horneado

Fuente: Elaboración propia
Figura 4.40: 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 del necesario para calentar el aire dentro del horno, inicialmente se determinó la masa del aire dentro del horno para el cual se utilizó la fórmula matemática para hallar el volumen del horno ecuación 4.23 (Cromer, 2006) y posteriormente la masa del aire en base de la densidad ecuación 4.24. (Treybal, 1997)

$$V = a * b * c \quad \text{Ecuación (4.23)}$$

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 4.23 para hallar el volumen del horno

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

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

Para determinar la masa de aire dentro el horno se utilizó la fórmula de densidad (Treybal, 1997).

$$\rho = \frac{m}{v} \quad \text{Ecuación (4.24)}$$

Donde:

P = Densidad del aire (1,18 kg /m³)

m = Masa del aire (kg)

v = Volumen del aire (m³)

Despejando m_{aire} y reemplazando datos en la ecuación despejada 4.24

$$m_{\text{aire}} = \rho * V \quad \text{Ecuación (4.25)}$$

$$m_{\text{aire}} = 1,18\text{kg/m}^3 * 0,20 \text{ m}^3$$

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

Para determinar la masa del aire dentro del horno se realizó en base a la ecuación 4.25 según (Treybal, 1997), se determinó el calor necesario para calentar el aire dentro del horno que inicia con la temperatura de 20° C y alcanza una temperatura final de 175° C.

$$Q_{\text{aire}} = m_{\text{aire}} * C_{p \text{ aire}} * \Delta T \quad \text{Ecuación (4.26)}$$

Donde:

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

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

$C_{p \text{ aire}} = \text{capacidad calorífica del aire (0,24 Kcal/kg } ^\circ\text{C)}$ (Lira & Guevara, 2018).

$\Delta T = (T_f - T_i)$ variación de temperatura en el horno (175 – 20) $^\circ\text{C}$

Reemplazando los datos en la ecuación 4.26:

$$Q_{\text{aire}} = 0,24 \text{ kg} * 0,24 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (175 - 20) ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{aire}} = 8,93 \text{ kcal}$$

4.12.2 Balance de energía para calentar los aros del pan hamburguesa tipo americano

Para determinar el calor necesario para calentar los aros del pan hamburguesa se utilizó la ecuación 4.27

$$Q_{\text{aros}} = m_{\text{aros}} * C_{p \text{ aros}} * \Delta T \quad \text{Ecuación (4.27)}$$

Donde:

$Q_{\text{aros}} = \text{calor necesario para calentar los aros de pan hamburguesa (Kcal)}$

$m_{\text{aros}} = \text{masa de los aros para el pan hamburguesa (0,399 kg)}$

$C_{p \text{ aros}} = \text{capacidad calorífica de los aros (0,22 kcal/ kg} ^\circ\text{C)}$ (Moesb et al, 2021)

$\Delta T = (T_f - T_i)$ variación de la temperatura en el horno (175 - 20) $^\circ\text{C}$

Reemplazando los datos en la ecuación 4.27

$$Q_{\text{aros}} = 0,399 \text{ kg} * 0,22 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (175 - 20) ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{aros}} = 13,61 \text{ kcal}$$

4.12.3 Balance de energía para calentar la bandeja del horno

Para determinar el calor necesario para calentar la bandeja en el horno, se utiliza la ecuación 4.28.

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

Donde:

$Q_{\text{bandeja}} = \text{calor necesario para calentar la bandeja del horno (Kcal)}$

$m_{\text{bandeja}} = \text{masa de la bandeja del horno (0,732kg)}$

$C_{p \text{ bandeja}}$ = capacidad calorífica de la bandeja (0,22 kcal/kg°C) (Moesb et al, 2021)

$\Delta T = (T_f - T_i)$ variación de la temperatura en el horno (175 - 20) °C

$$Q_{\text{bandeja}} = 0,732 \text{ kg} * 0,22 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (175 - 20) ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{bandeja}} = 24,96 \text{ Kcal}$$

4.12.4 Balance de energía para hornear la masa de pan hamburguesa

Para obtener el calor necesario para hornear la masa del pan hamburguesa, primero se determina el C_p del pan, en base a la ecuación 4.29. Según (Lewis, 1993), La ecuación es aplicada cuando se conozca la composición nutricional de la mezcla como ser: carbohidratos, agua, proteína, grasa, entre otras (Pág. 536).

$$C_{p \text{ pan}} = \underbrace{M_a * C_a}_{\text{(Agua)}} + \underbrace{M_c * C_c}_{\text{(carbohidratos)}} + \underbrace{M_p * C_p}_{\text{(proteínas)}} + \underbrace{M_g * C_g}_{\text{(grasa)}} + \underbrace{M_z * C_z}_{\text{(ceniza)}} \text{ Ecuación (4.29)}$$

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

La Tabla 4.21, se muestra los calores específicos de cada componente alimentario.

Tabla 4.21

Calor específico de componentes alimentarios

Componentes	Calor específico	Unidad
Agua (Ca)	0,9990451	Kcal/kg°C
Proteínas (Cp)	0,3824096	Kcal/kg°C
Carbohidratos (Cc)	0,3346084	Kcal/kg°C
Grasa (Cg)	0,4063102	Kcal/kg°C
Ceniza (Cz)	0,1912048	Kcal/kg°C

Fuente: Lewis, 1993

Para el valor de las fracciones de la masa de cada componente, se tomó en cuenta los resultados del pan hamburguesa tipo americano obtenido de acuerdo (CEANID, 2023) (Anexo A) y en base a estos datos se convierte en fracción obteniendo:

$$M_a = 0,2575 \text{ (fracción de masa del componente agua)}$$

$$M_p = 0,0843 \text{ (fracción de masa del componente proteína)}$$

$$M_c = 0,5708 \text{ (fracción de masa del componente carbohidrato)}$$

$$M_g = 0,0701 \text{ (fracción de masa del componente grasa)}$$

$$M_z = 0,0173 \text{ (fracción de masa del componente cenizas)}$$

Habiéndose obtenido los datos de fracciones de la masa y datos de Cp se reemplaza en la ecuación 4.29 para hallar el Cp del pan hamburguesa tipo americano.

$$C_{p \text{ pan}} = M_a * C_a + M_c * C_c + M_p * C_p + M_g * C_g + M_z * C_z$$

$$C_{p \text{ pan}} = (0,2575 * 0,9990451) + (0,5708 * 0,3346084) + (0,0843 * 0,3824096) + (0,0701 * 0,4063102) + (0,0173 * 0,1912048)$$

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

Habiéndose determinado el Cp del pan, se determinó el calor necesario para la cocción de la masa del pan hamburguesa tipo americano en base a la ecuación 4.30

$$Q_{\text{pan}} = m_{\text{pan}} * C_{p \text{ pan}} * \Delta T + m_{\text{agua evap}} * \lambda \quad \text{Ecuación (4.30)}$$

$$Q_{\text{pan}} = \text{calor necesario para la cocción de la masa del pan hamburguesa (Kcal)}$$

$$m_{\text{pan}} = \text{masa del pan hamburguesa (1,0489 kg)}$$

$$m_{\text{agua evap}} = \text{masa del agua evaporada (0,139 kg)}$$

$$C_{p \text{ pan}} = \text{calor específico del pan (0,51 Kcal/kg}^\circ\text{C)}$$

$$\lambda = \text{landa de evaporización del agua (547 Kcal/kg) (Ocon \& Tojo, 1970)}$$

$$\Delta T = (T_f - T_i) \text{ variación de la temperatura en el horno (175 - 20) }^\circ\text{C}$$

Reemplazando los datos en la ecuación 4.30

$$Q_{\text{pan}} = (1,0489 \text{ kg} * 0,51 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (175-20)) + 0,139 \text{ kg} * 547 \text{ Kcal/kg}$$

$$Q_{\text{pan}} = 158,94 \text{ Kcal}$$

4.12.5 Balance de energía para evaporar el agua de la masa del pan hamburguesa tipo americano

Para determinar el calor necesario para evaporar el agua de la masa del pan, se utilizó la ecuación 4.31. (Valiente, 1986)

$$Q_{\text{agua evap}} = m_{\text{pan}} * X_{\text{pan}} * \lambda \quad \text{Ecuación (4.31)}$$

Donde:

$Q_{\text{agua evap}}$ = calor para evaporar el agua de la masa del pan hamburguesa tipo americano (Kcal)

m_{pan} = masa del pan (1,0489 kg)

X_{pan} = contenido humedad de la masa (0,35)

λ = landa de vaporización del agua (547 Kcal/kg) (Ocon & Tojo, 1970)

Reemplazando datos en la ecuación 4.31

$$Q_{\text{agua evap}} = 1,0489 \text{ kg} * 0,35 * 547 \text{ Kcal/kg}$$

$$Q_{\text{agua evap}} = 200,81 \text{ Kcal}$$

4.13 Balance de energía para determinar la cantidad de calor total necesario en la elaboración de pan hamburguesa tipo americano

Para determinar la cantidad total de calor necesario para llevar a cabo la elaboración de la masa, el calentamiento de la masa y el horneado de la masa para el pan hamburguesa, se utiliza la ecuación 4.32. Valiente, 1986)

$$Q_T = \sum Q_i \quad \text{(Ecuación (4.32))}$$

Donde:

Q_T = calor total necesario para llevar a cabo el proceso

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

Reemplazando los datos en la ecuación 4.32:

$$Q = Q_{\text{aire}} + Q_{\text{aros}} + Q_{\text{bandeja}} + Q_{\text{pan}} + Q_{\text{agua evap}}$$

$$Q = 8,93 \text{ Kcal} + 13,61 \text{ Kcal} + 24,96 \text{ Kcal} + 158,94 \text{ Kcal} + 200,81 \text{ Kcal}$$

$$Q = 407,25 \text{ kcal}$$

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Realizado el análisis fisicoquímico de la harina de trigo presenta: cenizas 0,66%; fibra 0,84%; materia grasa 0,86%; hidratos de carbono 76,82%; humedad 11,04%; proteína total (Nx6,25) 9,78% y valor energético 354,14 Kcal/100g.
- Por otro lado, el análisis fisicoquímico para la harina de garbanzo presenta: cenizas 3,10%; fibra 2,64%; materia grasa 6,69%; hidratos de carbono 65,54%; humedad 4,39%; proteína total (Nx6,25) 17,64% y valor energético 392,93 Kcal/100g.
- Realizado el análisis fisicoquímico de la harina de amaranto presenta: cenizas 2,70%; fibra 1,40%; materia grasa 7,26%; hidratos de carbono 68,31%; humedad 5,67%; proteína total (Nx6,25) 14,66% y valor energético 397,22 Kcal/100g.
- Realizada la evaluación sensorial de las pruebas preliminares de pan hamburguesa tipo americano se indica que la muestra con mayor aceptación por los jueces es la muestra PA3 en los atributos (sabor, textura y apariencia), por ser la que cumple con la mayoría de los atributos sensoriales para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.
- Aplicado el diseño factorial 2^3 en la etapa de dosificación para el pan hamburguesa tipo americano se pudo establecer que entre las variables; harina de trigo (A), harina de garbanzo (B) y harina de amaranto (C), tras realizar en el programa Statgraphics.
- Realizada la interacción de factores y efectos principales de las variables respuesta (pH, contenido de acidez y humedad) se concluye que para el pH en la interacción de factores A, B y C el que tiene influencia es el factor A (harina de trigo), para el de efectos principales, el factor B (harina garbanzo) y factor C (harina de amaranto) es el que más influye por el pH que evidencia una diferencia significativa en el diseño factorial 2^3 , en cambio para el contenido de

acidez los factores C (harina de amaranto) influye en efectos principales y el factor A (harina de trigo) influye en la interacción mostrando mayor porcentaje de acidez, que llegan a mostrar diferencia significativa en el diseño factorial 2^3 . En el contenido de humedad en el factor B (harina de garbanzo) y factor C (harina de amaranto) tanto para la interacción de los factores y como efecto principal, refleja una mayor influencia significativa sobre el porcentaje de humedad.

- Realizada la selección del pan hamburguesa tipo americano, se concluye conforme la preferencia de los jueces, la muestra más aceptada es PAF1 como muestra final para los atributos (color, sabor, textura y apariencia) de las muestras evaluadas para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.
- Luego de efectuar el control de acidez (ácido láctico), pH y contenido de humedad en el pan hamburguesa tipo americano sin y con conservante se concluye que en el almacenamiento para la muestra sin conservante (PF1S), presenta; un valor de acidez de (0,20 %), pH (6) y humedad (25,24 %), por un tiempo de almacenamiento de siete días. Mientras que la muestra con conservante (PF1C), presenta un valor de acidez (0,30 %), pH (5,82) y humedad (27,79 %), en un tiempo de almacenamiento de 9 días.
- Realizado el análisis fisicoquímico del pan hamburguesa tipo americano: ceniza 1,73 %, fibra 1,97 %, grasa 7,01 %, hidratos de carbono 57,08%, humedad 25,75 %, proteína total (Nx6,25) 8,43% y valor energético 325,13 kcal/100g, calcio 31,2 mg/100g, hierro 2,5 mg/100g, fosforo 66,6 mg/100g y magnesio 45,5 mg/100g.
- Realizado el análisis microbiológico del pan hamburguesa tipo americano: bacterias aerobias mesófilas $3,0 \times 10^2$ UFC/g, staphylococo aureus $<1,010^1$ UFC/g, mohos y levaduras $<1,0 \times 10^1$ UFC/g. Donde (*) no se observa desarrollo de colonias.

- Realizando el balance de materia a partir de 1068 g de masa para pan hamburguesa tipo americano se obtiene 894,42 g de pan (12 unidades de 68,42 g). Así mismo, para determinar la cantidad total de calor necesario para las diferentes operaciones del proceso (calentamiento del horno, aros, bandeja, calor para evaporar el agua y horneado del pan), se requiere 407,25 Kilocalorías.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda elaborar productos panificados a base de harinas de: quinua, centeno, maíz u otros tipos de harinas, con la finalidad de enriquecer la masa para brindar a la población tarijeña una variedad de productos horneados con calidad nutricional con la finalidad de incluir al mercado local variedad de panes para prevenir enfermedades cardiovasculares.
- Se recomienda elaborar pan hamburguesa tipo americano a base de harinas de garbanzo y amaranto como sugerencia en el desayuno familiar y escolar por su alto valor nutricional.
- Se recomienda elaborar productos panificados con harina de garbanzo, amaranto, quinua, centeno, maíz y otras harinas nutritivas, con la finalidad de disminuir el consumo de harina de trigo porque este genera sobrepeso y tiene un valor nutricional poco beneficioso para la salud.