

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La harina es uno de los elementos fundamentales en la alimentación mundial. Desde tiempos ancestrales, la comunidad de todas partes del mundo la han utilizado como elemento principal para la elaboración de alimentos. Hoy en día, la harina de trigo es el principal componente de casi todos los postres a nivel mundial. Además de estar presente en seis de las diez comidas más populares del mundo (Rodríguez, 2017).

En Bolivia el total de la producción de trigo disponible, antes de pasar por el proceso de la molienda, treinta por ciento (30%) a treinta y cinco por ciento (35%) tiene un destino de consumo familiar; y alrededor del 70 % del trigo restante tiene destino la molienda para la elaboración o procesamiento con el fin de obtener primero los subproductos como la harina de trigo y afrecho. Posterior a ello la obtención de harinas fortificadas con diferentes fines (Quiroga, 2013).

Según el “Ministerio De Desarrollo Productivo y Economía, 2014”, consumo per cápita de harina de trigo en Bolivia, es de 69 kg, un consumo promedio en la región, considerando que la Argentina consume 93,6 Kg por habitante. (Pág. 2)

El amaranto es un grano cultivado en los valles interandinos de Bolivia, en los departamentos de Tarija, Cochabamba, Chuquisaca y La Paz. Es aprovechado en su totalidad: el grano y la planta en sí, como verdura o forraje para los animales. Se puede emplear en muchos platillos como sopas (grano y harina), pasteles, galletas, panes (harina, grano entero, grano reventado), cereal para el desayuno (entero, reventado o germinado y molido). Se adapta a diferentes tipos de suelos, climas y soporta muy bien la escasez de agua; también, ha sido considerado por la Organización Mundial de la Salud: como uno de los alimentos recomendados para el futuro, y la NASA lo incluye como un alimento para un futuro lejano (Calderon, 2017).

Según (Arias, 2002), indica: “está demostrado que al agregar harina integral a los panes causa un efecto detrimental significativo en las propiedades funcionales de la masa, disminuyendo la esponjosidad y el volumen del producto horneado, una posible razón

es el incremento en la proporción de germen en la masa. Además, que en los últimos años se ha incrementado el consumo de harina integral para la elaboración de panes, debido a la contribución benéfica de la fibra de los cereales a la salud humana.

En la actualidad existe un interés creciente por la nutrición y los hábitos alimenticios saludables, que a la hora de adquirir un producto uno de los principales motivos que se tienen en cuenta a la hora de seleccionar los alimentos, es que sean nutritivos y saludables (Álvarez & Álvarez, 2009).

Por consiguiente, (Alegre & Asmat, 2016), indican que; “actualmente en el mundo se está desarrollando un nuevo estilo de vida, orientado al consumo de alimentos saludables y nutricionalmente de buena calidad” (Pág. 16).

La producción de pan pita en la provincia Cercado de la ciudad de Tarija es mínima, donde las únicas panaderías a nivel semi industriales lo elaboran con harina de trigo refina son: Señor del pan, Mercedes y Los Reyes.

1.2 Justificación

- El presente trabajo de investigación pretende elaborar pan pita con harina integral de trigo y harina de amaranto, con la finalidad de brindar otra alternativa de consumo en cuanto a panes saludables para la población de la provincia Cercado de Tarija.
- Se pretende mejorar la composición nutricional del pan pita utilizando harina integral de trigo y harina de amaranto; debido a que el pan es un alimento de consumo habitual y con gran demanda en el mercado de la provincia Cercado del departamento de Tarija.
- Se pretende incentivar el consumo de harina integral de trigo y aprovechar sus propiedades nutricionales de la misma; ya que su contenido en proteína e hidratos de carbono coadyuvan a prevenir enfermedades como ser diabetes y trastornos digestivos en las personas.

- Debido a que la mayor producción de amaranto se encuentra en la provincia Cercado del departamento Tarija, se pretende aprovechar el subproducto, el cual es la harina de amaranto y de tal manera aumentar su valor agregado.

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 para la elaboración de pan tipo pita a base de harinas integrales de trigo y amaranto; con la finalidad de obtener un producto de calidad para la provincia Cercado de Tarija.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar las propiedades fisicoquímicas de la harina integral de trigo, con la finalidad de establecer su composición nutricional.
- Determinar las propiedades fisicoquímicas de la harina de amaranto, con la finalidad de establecer su composición nutricional.
- Determinar las propiedades microbiológicas de la harina integral de trigo, con la finalidad de establecer su carga microbiana.
- Determinar las propiedades microbiológicas de la harina de amaranto, con la finalidad de establecer su carga microbiana.
- Realizar la evaluación sensorial para comparar la muestra experimental e ideal, con el fin de obtener una muestra con mayor aceptación.
- Aplicar el diseño experimental en la etapa de dosificación, para establecer las variables de control en el proceso.

- Aplicar el diseño experimental en la etapa de cocción, para establecer las variables de control en el proceso.
- Determinar las características fisicoquímicas, en el producto final, con el objetivo de establecer su calidad nutricional.
- Determinar las características microbiológicas en el producto final, con el objetivo de establecer su carga microbiana.
- Realizar el balance de materia y energía, con la finalidad de establecer las corrientes de entrada y salida del proceso.

1.4 Planteamiento del problema

En la provincia Cercado de Tarija no se elabora pan pita a base de harina integral de trigo y amaranto. Por lo cual, no se aprovecha sus propiedades nutricionales que presentan ambas harinas como: el contenido en proteína y fibra, que contribuyen a la prevención de enfermedades como ser: colesterol, diabetes como también trastornos digestivos.

Tomando en cuenta la tendencia en los últimos años de la población en mejorar su dieta alimentaria y prevenir enfermedades. Se pretende con el presente trabajo de investigación elaborar pan pita con harina integral de trigo y amaranto, mediante el proceso de panificación, para obtener un producto de calidad, de esta manera brindar otra opción en cuanto al consumo de panes saludables en la provincia Cercado de Tarija.

1.5 Formulación del problema

¿Cuál será la metodología experimental del proceso a ser aplicado, para elaborar pan tipo pita a base de harinas integrales de trigo y amaranto, con el fin de obtener un producto de calidad para la provincia Cercado de Tarija?

1.6 Objeto del estudio

- Aplicación de la metodología experimental del proceso de panificación para la obtención de pan pita.

1.7 Campo de acción

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

- **Espacial**

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

- **Temporal**

El campo temporal donde se realizó el presente trabajo de investigación fue en las gestiones 2023-2024.

- **Institucional**

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

1.8 Hipótesis

El proceso de panificación aplicado para la elaboración de pan tipo pita a base de harina integral de trigo y amaranto, permitirá la obtención de un producto de calidad para la provincia Cercado de Tarija.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 Origen del pan pita

El pan pita es uno de los alimentos más antiguos y para explicar su origen nos tenemos que remontar al oriente medio, concretamente en Egipto. Hace muchos siglos, en 2500 a. C. aproximadamente, los egipcios cultivaban trigo y cebada, y estos cereales se usaban para hornear panes planos. Los árabes preparaban constantemente este pan, puesto que necesitaban hornearse muy poco tiempo y con una piedra caliente del desierto (Terris, 2022).

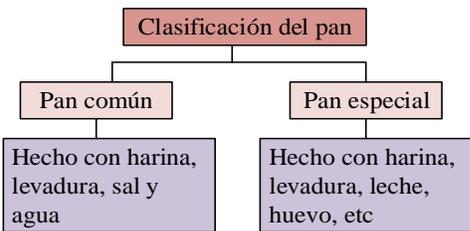
2.2 Definición de pan pita

Según (Perez & Flores, 2006), la definición de pan con respecto al Codex Alimentarius es la siguiente: Con la denominación genérica de pan, se entiende “el producto obtenido por la cocción en hornos a temperatura conveniente de una masa fermentada o no, hecha con harina y agua potable, con o sin el agregado de levadura, con o sin la adición de sal, con o sin la adición de otras sustancias permitidas” (Pag, 12), para esta clase de productos alimenticios.

El pan pita es un producto horneado, de una mezcla previamente fermentada, lo cual contiene por lo menos los siguientes ingredientes: agua, harina, levadura y sal, los cuales son responsables de las características de apariencia, textura y sabor; luego tenemos a los ingredientes secundarios como azúcar, grasa leche, huevos y otros los cuales proporcionan características de calidad; finalmente los ingredientes complementarios como los mejoradores que permiten asegurar un rendimiento constante durante el proceso (Villagaray, 2012).

2.3 Clasificación del pan

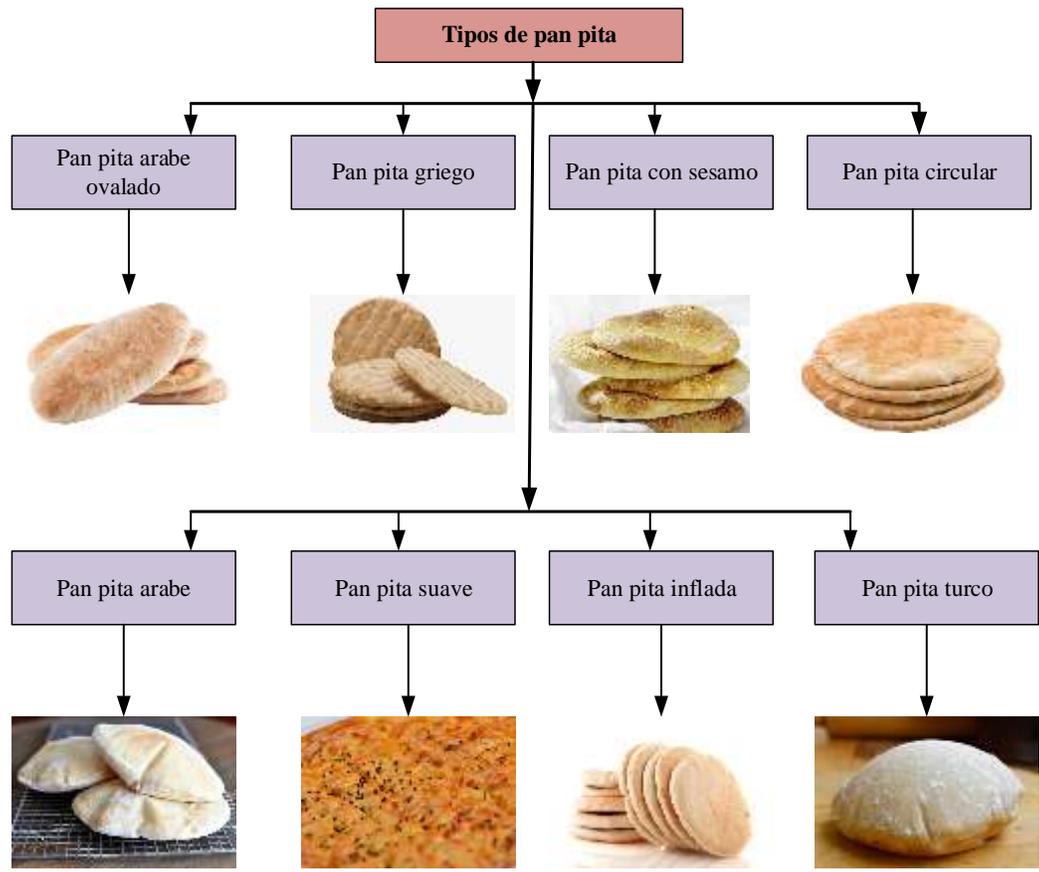
De acuerdo a la figura 2.1, la clasificación de pan que existe (Mesas & Alegre, 2002):



Fuente: Mesa y alegre
Figura 2.1: Clasificación de pan

2.4 Tipos de pan pita

En la figura 2.2, se muestran los tipos de pan pita (INDUSTRIAL BAKERY, 2023) son:



Fuente: INDUSTRIAL BEKERY, 2023
Figura 2.2: Tipos de pan pita

2.5 Propiedades nutricionales del pan pita

El pan de pita tiene un rico perfil de nutrientes; por lo tanto, puede ayudar a reducir los niveles de colesterol y reducir el riesgo de enfermedades cardíacas y diabetes. El contenido de fibra en el pan de pita integral es muy alto y ayuda a la digestión. El pan de pita es un alimento gratificante que aumenta la saciedad, lo cual es bueno para perder peso (Patel, 2022).

El pan de pita contiene vitaminas y minerales como hierro, calcio, potasio y muchos más. El calcio es adecuado para formar huesos fuertes y el hierro es vital en la creación de glóbulos rojos para transportar oxígeno al cuerpo. Las vitaminas ayudan a convertir los alimentos en energía y mantienen el cerebro y los nervios funcionando correctamente. Además, el pan de pita contiene altas cantidades de fibra (Patel, 2022). En la tabla 2.1, se muestra el valor nutricional del pan pita blanco e integral por cada 40 gramos.

Tabla 2.1

Valor nutricional de panes pita

Panes pita	Carbohidratos (g)	Proteína (g)	Grasas (g)	Fibra (g)	Sódio (mg)
Pan pita blanco	33.42	5,46	0,72	1,30	322
Pan pita integral	19,00	3,00	0,00	2,00	120

Fuente: FatSecret Platform, 2023

2.6 Características de la harina

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

2.6.1 Características de la harina integral de trigo

Es aquella que contiene todas las partes del trigo. La harina integral posee un nivel nutricional distinto al de la blanca. El grano conserva el salvado y el germen de trigo, componentes que contienen una gran cantidad de vitaminas B1, B3 y B5. Además, cuenta con minerales, hierro y ácidos grasos esenciales beneficiosos para nuestro organismo. La harina completa sólo se utiliza el endospermo. Harina patente es la mejor harina que se obtiene hacia el centro del endospermo. Harina clara es la harina que queda después de separar la patente (Ordóñez & Oviedo, 2014).

2.6.1.1 Composición química de la harina integral de trigo

La composición química de la harina integral de trigo, se muestra en la tabla 2.2 por cada 100 gramos.

Tabla 2.2

Composición química de la harina integral de trigo		
Harina	Cantidad	Unidad
Hidratos de Carbono	72,57	g
Proteína	13,70	g
Grasas	1,87	g
Fibra	12,20	g
Sodio	5,00	mg
Potasio	405,00	mg

Fuente: FatSecret Platform, 2021.

- ❖ **Hidratos de carbono:** Siendo el más importante en los cereales el almidón (conformado por amilosa y amilopectina), que constituyó un 64 % del grano completo de trigo y en el endospermo un 70%, es insoluble al agua fría, sin embargo, cuando se trata de agua caliente, es responsable de gelificación, resultado cuando se somete a temperaturas altas, como en la elaboración de pan durante el horneado (Pazmiño, 2013).

❖ **Proteínas:** Las proteínas contenidas en la harina, las podemos dividir en dos grupos: no formadoras de masa, que son aquellas proteínas solubles que no forman gluten, y no tienen importancia para la panificación; y formadoras de masa, aquellas proteínas insolubles como la gliadina y glutenina, que al combinarse con el agua forman una red que atrapa los granos de almidón, capaz de retener el dióxido de carbono (CO₂) liberado durante la fermentación, constituyendo el gluten. El contenido en gluten es característica del trigo, hablándose de trigos duros cuando su contenido es mayor al 13% (De la Vega, 2009).

❖ **Fibra:** Es la fracción de la pared celular de las plantas compuestas por la lignina y polisacáridos no almidónicos, resistentes a la hidrólisis de las enzimas digestivas del ser humano. Se clasifica en base a su solubilidad en agua como fibra soluble e insoluble (Matos & Chambilla, 2010).

- La fibra soluble contiene mayoritariamente pectinas, gomas y algunas hemicelulosas (arabinoxilanos y arabinogalactanos).
- La fibra insoluble contiene celulosa, lignina y algunas hemicelulosas (arabinoxilanos y arabinogalactanos).

Las propiedades que presenta la fibra dietética como la capacidad de retención de agua y aceite, tienen efectos benéficos en los productos alimentarios y efectos fisiológicos en el organismo del ser humano. Su consumo previene distintas enfermedades como el cáncer de colon, diabetes, enfermedades cardiovasculares, ayuda a la disminución del colesterol, etc. El contenido de fibra dietética se encuentra mayormente en las frutas y hortalizas, así como en los subproductos, como las cáscaras y hojas, las cuales pueden ser aprovechadas mediante procesos tecnológicos para la obtención de fibra dietética (Matos & Chambilla, 2010).

2.6.1.2 Propiedades nutricionales de la harina integral de trigo

Según (Yacila, 2020), cuando se muele completamente el grano de trigo, incluyendo el salvado, el endospermo y el germen, se produce lo que se llama harina integral. Siendo la popularidad de la harina integral creciente ya que permite la elaboración de una gran variedad de productos.

La harina integral de trigo de primera calidad contiene porcentajes mayores de proteína que una harina blanca de primera calidad. En la harina integral el valor nutritivo se debe a los aportes de proteína, vitaminas y minerales tanto del salvado como del germen (Arias, 2022).

La harina integral de trigo es un alimento muy rico en fibra insoluble, constituida principalmente por arabinoxilanos y, en menor proporción, celulosa y β -glucanos. Diferentes estudios han comprobado que el consumo de harina integral de trigo tiene efecto protector frente a diferentes enfermedades: Cardiovascular, cáncer colorrectal, obesidad y algunas gastrointestinales, como estreñimiento y enfermedad diverticular entre otras (Ruiz, 2015).

2.6.2 Características harina de amaranto

En varios países se hacen varios derivados del amaranto, las formas mayormente utilizadas de los granos de amaranto son en la forma de harina, como los cereales. Como harina compuesta, el amaranto se utiliza en la manufactura de pan con levadura y de otros productos de harina horneada. (Carpio, 2009).

2.6.2.1 Composición química de la harina de amaranto

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

Tabla 2.3

Composición química de la harina de amaranto		
Harina	Cantidad	Unidad
Hidratos de Carbono	75,43	g
Proteína	14,41	g
Grasas	17,55	g
Fibra	0.58	g
Ceniza	2.03	g

Fuente: Bustos Romo Fernanda Daniela, 2015

❖ **Proteínas:** El grano de amaranto el 65 % de las proteínas se localizan en el embrión y el resto en el endospermo, hecho que también lo diferencia de los cereales cuyas proteínas se encuentran mayoritariamente localizadas en el endospermo. Se ha observado que las proteínas de reserva del amaranto se encuentran en cuerpos proteicos, unidos a membranas en células del embrión y del endospermo, con forma y tamaño diferente (Coimbra & Salema, 1994).

2.6.2.2 Propiedades nutricionales de la harina de amaranto

La harina de amaranto puede aportar cantidades importantes de fibra dietética y vitaminas E y B, puede ser una fuente importante de niacina (para la producción de hormonas sexuales, del crecimiento y del metabolismo), de lisina (para la producción de anticuerpos, hormonas y enzimas), así como de fósforo (para la formación de hueso y la función renal) de magnesio (para el metabolismo del azúcar en sangre y relajante del músculo liso), puede servir como ayuda a la curación de herpes (Mapes, 2015).

2.7 Caracterización de insumos alimentarios utilizados en la elaboración del producto

En la figura 2.3, se muestran los insumos que se utilizarán en la elaboración pan pita con harina integral de trigo (Figueroa, 2010).



Fuente: Figueroa, 2010

Figura 2.3: Insumos para elaborar pan pita

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

2.7.1 Agua

La función principal del agua es hidratar la harina, facilitando la formación del gluten y con el trabajo mecánico del amasado, se le confieren a la masa sus características

plásticas: la cohesión, la elasticidad, la plasticidad y la tenacidad o nervio (Calvel, 1983).

Según Mesas & Alegre (2002), “la presencia de agua en la masa también es necesaria para el desarrollo de las levaduras que han de llevar a cabo la fermentación de la masa para la obtención del pan (Pág. 4).

2.7.2 Aceite de oliva

Según Baticón (2019) “conseguimos suavizar las masas, ayudar a que el calor entre y se distribuya mejor por todo el producto, potenciar su color dorado, dotarlo de más jugosidad, alargar su vida útil por consiguiente aportarle un sabor y aromas determinados.”

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

2.7.3 Levadura seca

Se definen como agentes fermentadores a todas las sustancias que contribuyen al aumento de volumen de la masa; el principal es el anhídrido carbónico (CO₂) que en la producción del pan se obtiene con la fermentación biológica. El anhídrido carbónico se combina con la masa glutínica, se encuentra presente en la harina y que mediante dilatación térmica este aumenta de volumen durante el trabajo (maduración de la masa) y posterior cocción (Bisio, 2016).

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

- ❖ **Levadura natural o levadura de masa:** se prepara a partir del microbiota que está en la propia harina. Para ello, en 3 o 4 etapas sucesivas, se mezclan harina y agua, se amasa y se deja reposar la masa para que fermente de modo espontáneo.

- ❖ **Levadura comercial o levadura de panadería:** se produce a partir de cultivos puros generalmente de *Saccharomyces cerevisiae*. Se comercializa en distintas formas: prensada, líquida, deshidratada activa o instantánea, en escamas. Tiene aplicación en todos los sistemas actuales de elaboración de pan.

- ❖ **Levaduras químicas o impulsores de masas:** son aditivos gasificantes, que básicamente consisten en la mezcla de un ácido y un compuesto alcalino, que con el amasado y el calor de la cocción reaccionan generando CO₂.

2.7.4 Sal fina

Su objetivo es dar sabor al pan. Además, es importante porque hace la masa más tenaz, actúa como regulador de la fermentación, favorece a la coloración de la corteza durante la cocción y aumenta la capacidad de retención de agua en el pan (Calvel, 1983).

La sal actúa sobre la formación del gluten, ya que la gliadina, uno de sus dos componentes, tiene menor solubilidad en el agua con sal, lo que da lugar en una masa con agua salada a la formación de una mayor cantidad de gluten (Figuroa, 2010).

2.8 Operaciones en el proceso de elaboración de productos panificados

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

2.8.1 Amasado

Sus objetivos son: lograr la mezcla de los distintos ingredientes y conseguir por medio del trabajo físico del amasado, las características plásticas de la masa, así como su perfecta oxigenación. El amasado se realiza en máquinas denominadas amasadoras, que constan de una artesa móvil donde se colocan los ingredientes y de un elemento

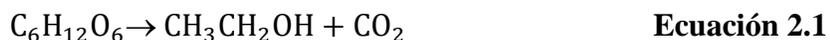
amasador cuyo diseño determina en cierto modo distintos tipos de amasadoras, siendo las de brazos de movimientos variados y las espirales que son las más utilizadas en la actualidad (Mesa & Alegre, 2022).

2.8.2 Fermentación panaria

De una forma sencilla se puede decir que la fermentación panaria, es la hinchazón de la masa que posteriormente permitirá la obtención de un pan alveolado, esponjoso y ligero y todo ello se debe a la producción de gas en el interior de la masa. La fermentación es la etapa de panificación con mayor influencia sobre el sabor y el aroma del pan. De una correcta fermentación se desprende una serie de reacciones que son decisivas en la conservación de un pan de calidad, al menos olfativa y gustativa, principalmente (Flecha, 2015). En los procesos de panificación se puede presentar dos tipos de fermentación y los cuales son:

2.8.2.1 Fermentación alcohólica

Es llevada a cabo por levaduras que transforman los azúcares fermentables en etanol, CO₂ y algunos productos secundarios. Los objetivos de la fermentación son la formación de CO₂, para que al ser retenido por la masa ésta se esponje, y mejorar el sabor del pan como consecuencia de las transformaciones que sufren los componentes de la harina (Mesas & Alegre, 2002). Según (Negro, 2022) la ecuación 2.1, es para fermentación alcohólica para el pan es la siguiente:



2.8.2.2 Fermentación láctica

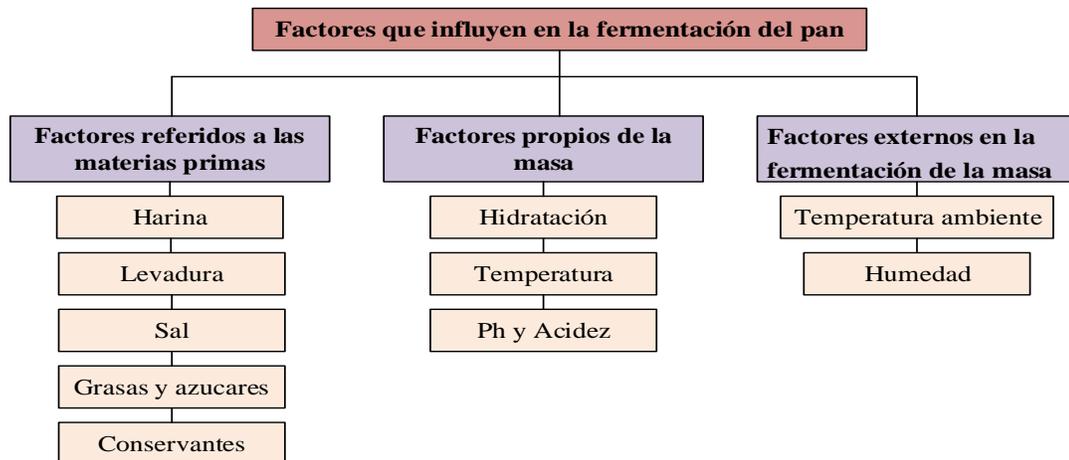
Esta fermentación se debe a los lactobacilos que llegan a la masa a través de la harina como también la levadura los puede contener. Actúan muy lentamente a temperaturas normales (25°C), incluso a bajas temperaturas lo hacen muy débilmente, pero, a 35° C es cuando ejerce su actividad plena.

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 (Flecha, 2015). Según (Parada, 2020) la ecuación 2.2, es para la fermentación láctica para el pan es la siguiente:



2.8.2.3 Factores que influyen en la fermentación del pan

Según (Flecha, 2015), los factores que influyen en la fermentación del pan en los productos, son referidos a materias primas, factores propios de la masa y factores externos (Pág. 51). En la figura 2.4, se muestran los factores que influyen en la fermentación del pan.



Fuente: Flecha, 2015

Figura 2.4: Factores que influyen en la fermentación del pan

A continuación, se describen los factores que influyen en la fermentación del pan pita con harina integral de trigo:

2.8.2.3.1 Factores referidos a las materias primas

Según (Flecha, 2015), los factores que influyen de la materia prima durante la fermentación son:

- ❖ **Harina:** la cantidad de maltosa que contiene la harina afecta directamente sobre la capacidad fermentativa por lo que supone un alimento directamente asimilable por la levadura. La velocidad de fermentación aumenta proporcionalmente al índice de maltosa. La calidad del gluten es un factor importante para la obtención de un buen pan. Un gluten de calidad y elástico permite un buen desarrollo. Un gluten de mala calidad no se estirará suficiente volviéndose rápidamente poroso dejando escapar el gas producido por la fermentación.

- ❖ **La levadura:** la cantidad de levadura tiene una acción directa sobre la actividad de la fermentación, por lo tanto, a mayor cantidad de levadura ésta consumirá más rápidamente el alimento, la velocidad será mayor pero no la cantidad de gas, ya que producirá la misma que con menos levadura. por lo tanto, la cantidad de gas no es proporcional a la cantidad de levadura añadida. no se produce más gas por haber echado más levadura, sino que se produce más rápidamente dióxido de carbono.

- ❖ **La sal:** es añadida a la masa en una dosis correcta, actuará directamente sobre el sabor del pan. Por el contrario, 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.

- ❖ **Grasas y azúcares:** con la adición de estos ingredientes en la masa y como hemos comentado en capítulos anteriores, la actividad fermentativa se reduce.

- ❖ **Los conservantes:** la dosificación de conservantes y reguladores del pH y los azúcares afectan negativamente a la fermentación. La adición de varios de los productos utilizados en la elaboración de panes de larga duración, como conservantes o anti mohos fundamentalmente propionatos o algún tipo de ácidos, con la presencia de estos componentes es necesario aumentar considerablemente la dosis de levadura.

2.8.2.3.2 Factores propios de la masa

- ❖ **Hidratación:** las masas blandas fermentan más deprisa que las masas duras, ello se debe a la acción de la levadura que es más favorable con mayor actividad de agua.
- ❖ **Temperatura:** la velocidad de la fermentación también depende de la temperatura a que se encuentre la levadura en la masa y también la temperatura que tenga la cámara de fermentación. El desarrollo de las enzimas también depende de la temperatura, entre (20 y 40) °C a medida que aumentamos un 1°C, la temperatura aumenta un 10% la velocidad de fermentación. La temperatura de la masa y temperatura de la cámara de fermentación y porcentaje de levadura añadida está directamente relacionada con la velocidad de producción de gas. Se puede comprobar cómo a medida que aumenta la temperatura y la dosis de levadura, disminuye el tiempo que tarda la masa en alcanzar el volumen óptimo de fermentación.
- ❖ **Acidez y 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 masenterius”, la acidez (pH óptimo de la masa a su entrada al horno deberá ser 5,2-5,5).

2.8.2.3.3 Factores externos en la fermentación de la masa

- ❖ **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 que se aumente 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.
- ❖ **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 y una falta de humedad provoca la deshidratación de la capa externa en la masa lo

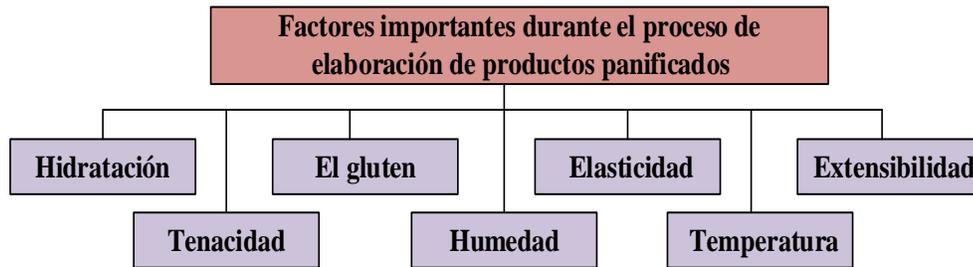
que hace poco extensible, para que se desarrolle la fermentación con normalidad. Durante el periodo de fermentación la masa debe cubrirse con telas o plásticos para evitar pérdidas superficiales en la parte externa de la masa, si esto ocurre en exceso, la masa experimenta mucha dificultad para fermentar y aumentar de volumen, aunque, la actividad fermentativa de las levaduras continúe.

2.8.3 Cocción

La cocción es la actividad mediante el cual el pan obtiene el color, textura y tamaño característico, para ello se debe tener en cuenta dos variables: la temperatura del horno y el tiempo de cocción; el cual repercutirá directamente en la calidad del producto (Rodríguez, 2020).

2.9 Factores importantes durante el proceso de elaboración de productos panificados

En la figura 2.5, se muestran los factores importantes durante el proceso de la elaboración de pan pita (Flecha, 2015. Pág 18).



Fuente: Flecha, 2015

Figura 2.5: Factores importantes durante el proceso de elaboración de productos panificados

A continuación, se describen los Factores importantes durante el proceso de elaboración de productos panificados:

2.9.1 Hidratación

La hidratación es la cantidad de agua necesaria para elaborar una masa. Se expresa en porcentajes sobre la cantidad de harina a preparar, por lo tanto; la tasa de hidratación es la que indica el número de litros de agua sobre 100 Kg de harina (Flecha, 2015).

2.9.2 El gluten

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

2.9.3 Elasticidad

Es la actitud que presenta la masa para retomar su forma inicial después de un proceso de formación. Al igual que la extensibilidad, es un factor necesario en las masas, ya que, en cierta medida, expresa el comportamiento de las masas durante la fermentación y cocción (Flecha, 2015).

2.9.4 Extensibilidad

Definida como la capacidad de la masa para dejarse estirar 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, 2015).

2.9.5 Tenacidad

La fuerza necesaria que hay que aplicar a una masa para deformarla, se la relaciona con proteico de la harina, la acción o no de aditivos, y fases del proceso en mayor o

menor medida repercuten directamente sobre ella, por lo que, la relación entre tenacidad y extensibilidad de una masa, es un factor determinante para obtener buenos resultados panificables (Flecha, 2015).

2.9.6 Humedad

En el contenido de humedad del pan, influyen la cantidad de agua aportada en el amasado, el tiempo de cocción, así como la temperatura del horno. El pan debe contener una humedad máxima del 38%. Si sobrepasa este porcentaje el medio es más favorable para la aparición de mohos (Tejero, 2020).

2.9.7 Temperatura

Para que una masa cruda de harina, llegue a generar gases en su interior, la temperatura ideal y tradicional de cocer el pan debe ser de unos 180-220°C en hornos industriales. Esta temperatura permite acelerar al máximo la expansión interna permitiendo que el pan se desarrolle bien y genere una corteza gruesa, una buena miga, textura y no salga crudo (Lirola, 2018).

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

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

La vida de conservación microbiológica de los productos de panadería de humedad alta, se relaciona con el pH y con el agua, en consecuencia, la reformulación del

producto para reducir tanto el pH como el agua se puede emplear para aumentar la vida útil. La reducción del pH se puede efectuar mediante el uso de acidulantes, como ácidos orgánicos (ácidos cítrico, láctico y acético) o cultivos de bacterias ácido lácticas (masas agrias). Los conservantes químicos se utilizan normalmente como barreras adicionales para controlar tanto el crecimiento de mohos como de bacterias en los productos de panadería (Ribotta & Tadini, 2009).

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.1 Desarrollo del trabajo experimental

La parte experimental del trabajo de investigación “Elaboración de pan pita con harina integral de trigo y amaranto”, se realizará en el laboratorio del Taller de Alimentos (LTA) y en el Laboratorio Académico de Ingeniería de Alimentos (LACIA), ambos dependientes de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho” del departamento de Tarija - Bolivia

3.2 Tipo de intervención experimental

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

- Análisis fisicoquímico y microbiológico de la harina integral de trigo.
- Análisis fisicoquímico y microbiológico de la harina de amaranto.
- Análisis fisicoquímico y microbiológico del pan pita con harina integral trigo y amaranto.
- Análisis experimental factorial 2^3 , en la de dosificación del pan pita con harina integral trigo y amaranto.
- Análisis sensorial para la obtención de pan pita con harina integral de trigo y amaranto.
- Análisis experimental factorial 2^2 , en la etapa de cocción del pan pita con harina integral trigo y amaranto.
- Operalización de las variables dependiente e independiente del proceso de elaboración de pan pita con harina integral de trigo y amaranto.

3.3 Paradigma de investigación

Según (Sánchez, 2013), representa al sistema de una investigación, dicho de otra manera, son los lentes con los que nos aproximamos al estudio sistemático e indagación coherente de la realidad. Determinando el problema y el camino para intentar describirlo, comprenderlo, explicarlo y transformarlo (Pág. 92).

De acuerdo a (Hurtado & Toro, 2005), es una “concepción del objeto de estudio de una ciencia, problemas a estudiar la naturaleza de sus métodos y de la forma de explicar e interpretar los resultados de la investigación realizada (Pág. 28).

3.3.1 Paradigma positivismo

El paradigma positivista, se caracteriza por el alto interés por la verificación y comprobación del conocimiento a través de predicciones; ya que lo importante es plantearse una serie de hipótesis, como predecir que algo va a suceder y luego verificarlo o comprobarlo (Ballina, 2004. Pág. 3). Según Ricoy (2006), indica que el “paradigma positivista se califica de cuantitativo, empírico analítico, racionalista, sistemático gerencial y científico tecnológico” (Pág.15). Por tanto, el paradigma positivista sustentará a la investigación que tenga como objetivo comprobar una hipótesis por medios estadísticos o determinar los parámetros de una determinada variable mediante la expresión numérica.

3.4 Tipo de investigación

Según (Arias, 2006) “en cuanto a los tipos de investigación, existen muchos modelos y diversas clasificaciones: según el nivel, diseño y propósito. Sin embargo, independientemente de su clasificación; todos son tipos de investigación, y al no ser excluyentes, un estudio puede ubicarse en más de una clase” (Pág. 23).

3.4.1 Enfoque de la investigación

Según Gallardo (2017), “el enfoque de la investigación es una forma de “ver” o plantear la resolución de un problema, pero dentro de grandes lineamientos o compromisos conceptuales” (Pág. 21). Sin embargo, (Hernandez et al., 2014), afirman que: “el enfoque se polarizo en dos aproximaciones principales de la investigación, el más importante es el enfoque cuantitativo. El cual emplea procesos cuidadosos, metódicos y empíricos en su esfuerzo para generar conocimiento (Pág. 4).

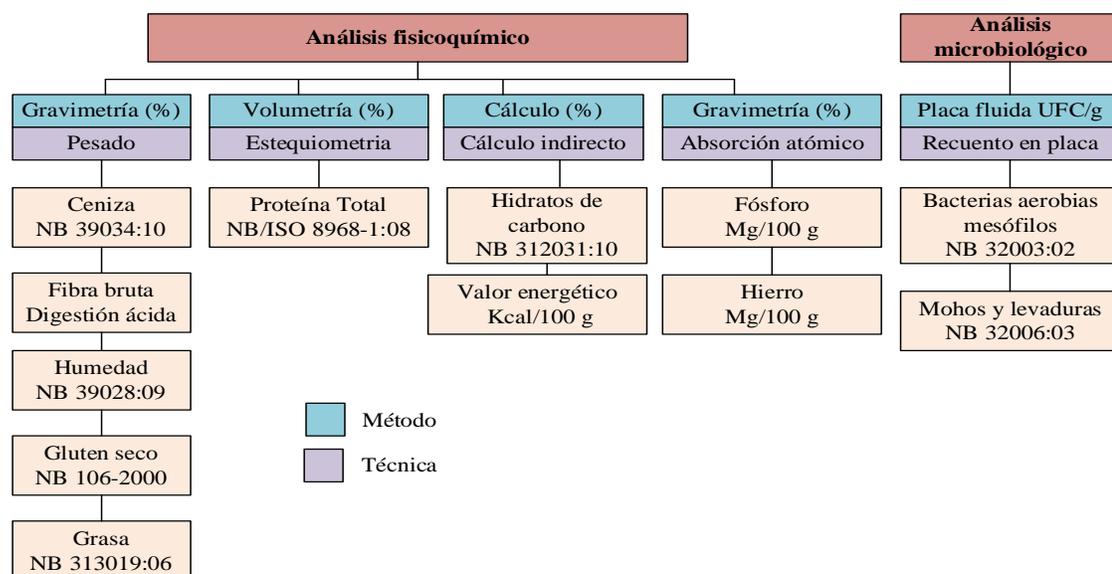
3.5 Métodos, técnicas e instrumentos de la investigación

Según (Maya, 2014), indica que: “el método permite observar un fenómeno interesante y explicar lo observado. Está compuesto por una serie de etapas que deben seguirse en forma ordenada y rigurosa.” (Pág. 13). Para (Rojas & Ignacio, 2011), “la técnica de investigación científica es un proceso típico, validado por la práctica, orientado generalmente a obtener y transformar información útil para la solución de problemas. Toda técnica prevé el uso de un instrumento de aplicación.” (Pág. 278)

Los métodos y técnicas que se utilizaron para la obtención de resultados fisicoquímicos y microbiológicos del presente trabajo de investigación son:

3.5.1 Análisis fisicoquímico y microbiología de la materia prima “harina integral de trigo”

En la figura 3.1, se muestra las técnicas o métodos de ensayo que se emplearon para determinar los análisis fisicoquímico y microbiológico de la harina integral de trigo, que se realizaron en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID); perteneciente a la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho” del departamento de Tarija - Bolivia.

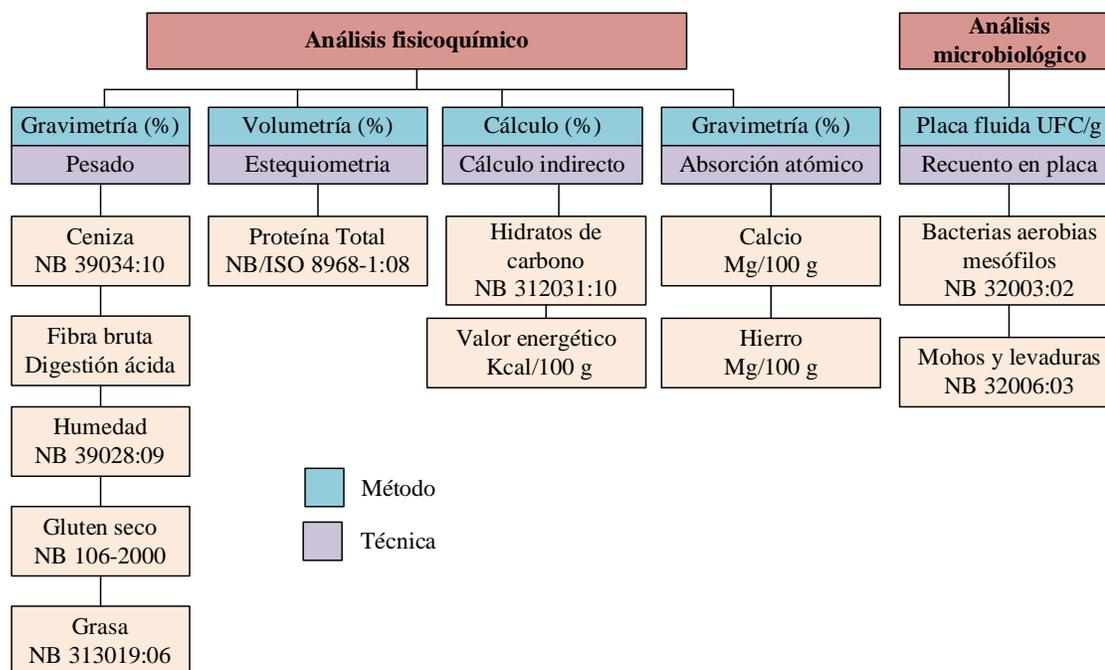


Fuente: CEANID, 2023

Figura 3.1: Análisis fisicoquímico y microbiología de la harina integral de trigo

3.5.2 Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la harina de amaranto

En la figura 3.2, se muestra las técnicas o métodos de ensayo que se emplearon para determinar los análisis fisicoquímico y microbiológico de la harina de amaranto, que se realizaron en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID); perteneciente a la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho” del departamento de Tarija - Bolivia

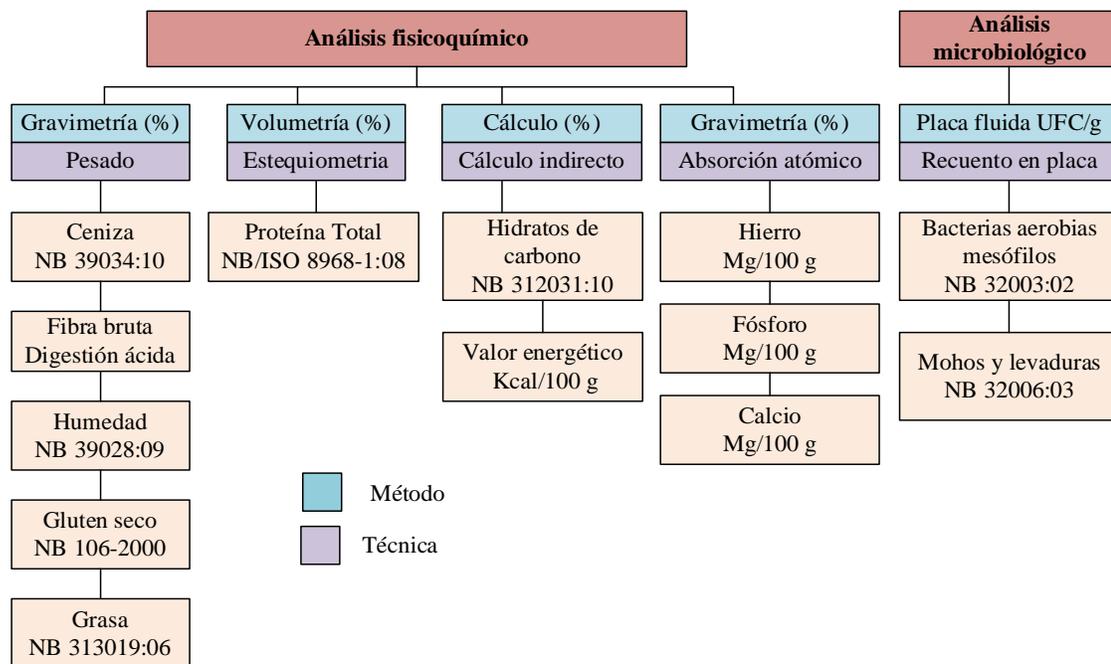


Fuente: CEANID, 2023

Figura 3.2: Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la harina de amaranto

3.5.3 Análisis fisicoquímicos y microbiológicos del pan pita de harina integral de trigo y amaranto

En la figura 3.3, se muestra las técnicas o métodos de ensayo que se emplearon para determinar los análisis fisicoquímico y microbiológico del pan tipo pita con 98* harina integral de trigo y amaranto, que se realizaron en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID); perteneciente a la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho” del departamento de Tarija - Bolivia

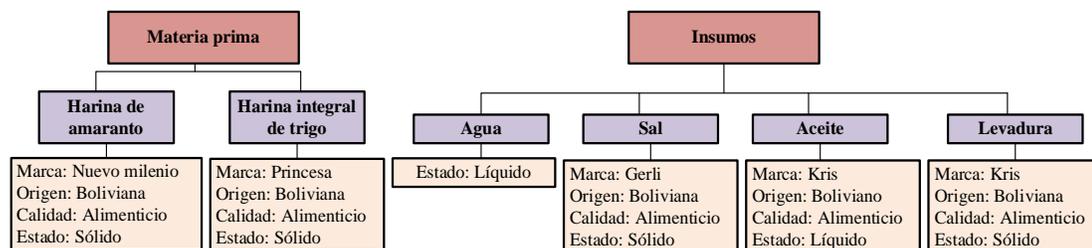


Fuente: CEANID, 2024

Figura 3.3: Análisis fisicoquímicos y microbiológicos del pan pita de harina integral de trigo y amaranto

3.6 Materia prima e insumos alimentarios

En la figura 3.4, se detallan las materias primas e insumos alimentarios que se utilizaron para la “elaboración de pan pita con harina integral de trigo y amaranto”



Fuente: Elaboración propia

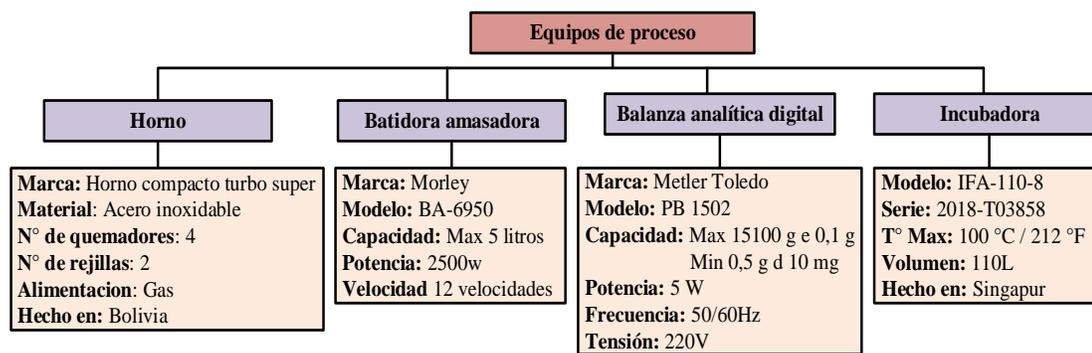
Figura 3.4: Materia prima e insumos alimentarios para la elaboración de pan pita con harina integral de trigo y amaranto

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

Los equipos, instrumentos, materiales de laboratorio y utensilios de cocina son:

3.7.1 Equipos

En la figura 3.5, se detallan los equipos que se utilizaron en el proceso de la elaboración de pan pita con harina integral de trigo.

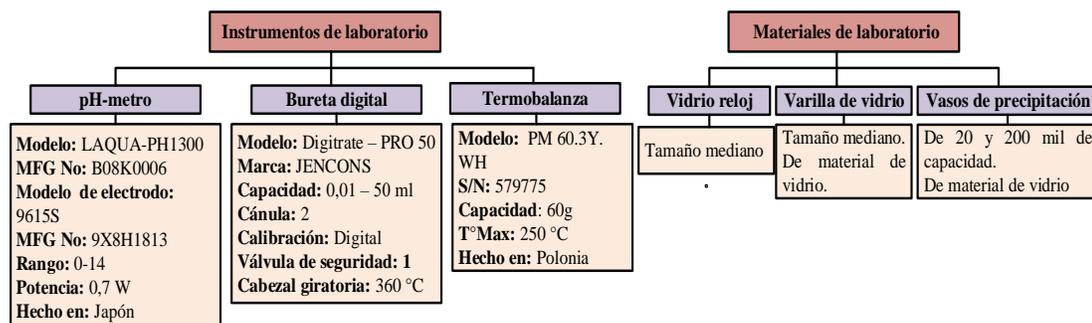


Fuente: Elaboración propia

Figura 3.5: Equipos para la elaboración de pan pita con harina integral de trigo y amaranto

3.7.2 Instrumentos y materiales de laboratorio

En la figura 3.6, se detallan los instrumentos y materiales de laboratorio que se utilizaron en el proceso de la elaboración de pan pita con harina integral de trigo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.6: Instrumentos y materiales de laboratorio que se utilizaron en el proceso de la elaboración de pan pita con harina integral de trigo y amaranto

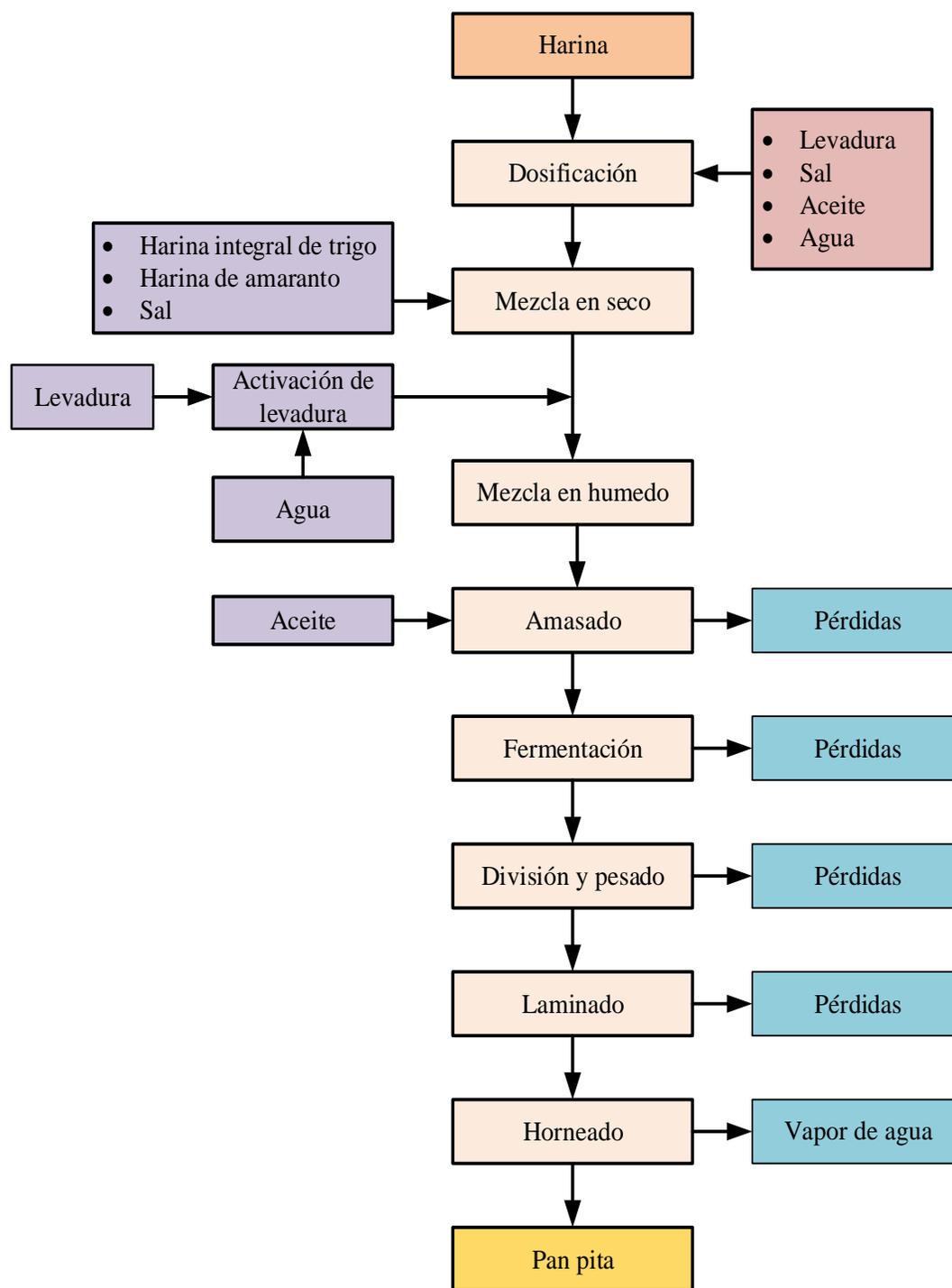
3.7.3 Utensilios de cocina para la elaboración de pan pita con harina integral de trigo y amaranto

Los utensilios de cocina que se utilizaron en el proceso de la elaboración de pan pita con harina integral de trigo y amaranto.

- **Recipiente circular:** capacidad mediana, tipo de material plástico.
- **Rodillo redondo:** tamaño mediano, tipo de material de madera.
- **Cuchillo:** tamaño mediano, tipo de material acero inoxidable
- **Espátula:** tamaño mediano, tipo de material plástico.
- **Jarras graduadas:** capacidad de 500ml, tamaño mediano, tipo de material plástico.
- **Secadores:** tamaño mediano, tipo material tela.
- **Guantes para horno:** tipo de material silicona.

3.8 Diagrama de flujo para la elaboración de pan tipo pita harina integral de trigo y amaranto

De acuerdo Caps (2012), afirma que “la finalidad de cualquier diagrama de flujo es presentar de forma gráfica y secuencial los principales aspectos de un proceso de tecnología.” (Pág. 54). En la figura 3.7 se muestra el diagrama de proceso para la elaboración de pan pita con harina integral de trigo y amaranto.



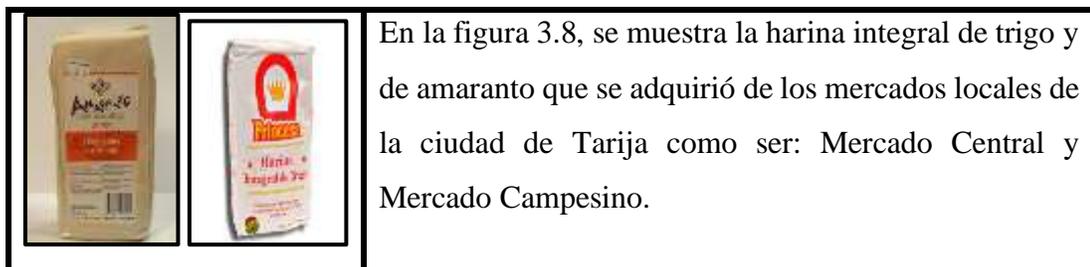
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.7: Diagrama de proceso para la elaboración de pan pita con harina integral de trigo y amaranto

3.8.1 Descripción del proceso de elaboración de pan pita con harina integral de trigo y amaranto

Las operaciones realizadas en el proceso experimental para la elaboración de pan pita con harina integral de trigo y amaranto, se detallan de acuerdo a lo siguiente:

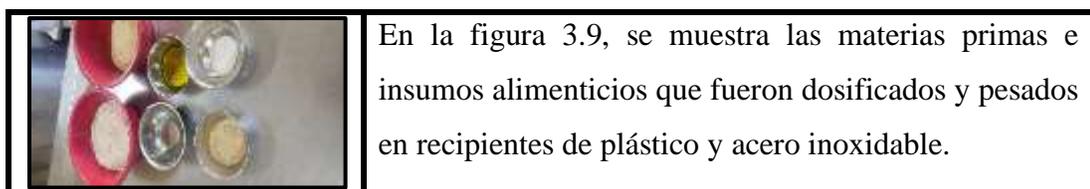
3.8.1.1 Harina



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.8: Harinas que se utilizaron

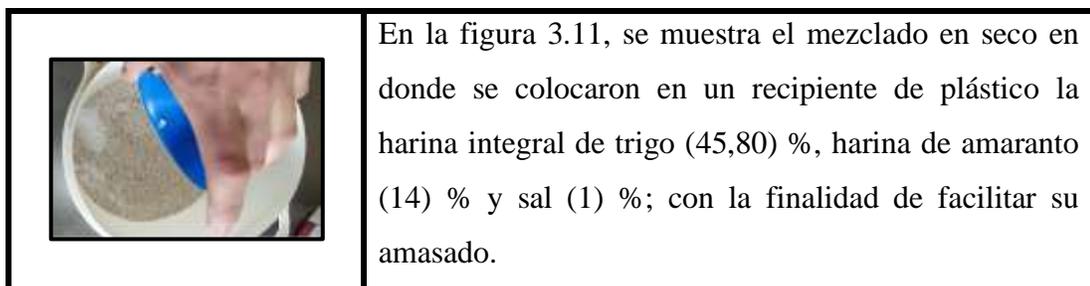
3.8.1.2 Dosificación



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.9: Dosificación de la materia prima

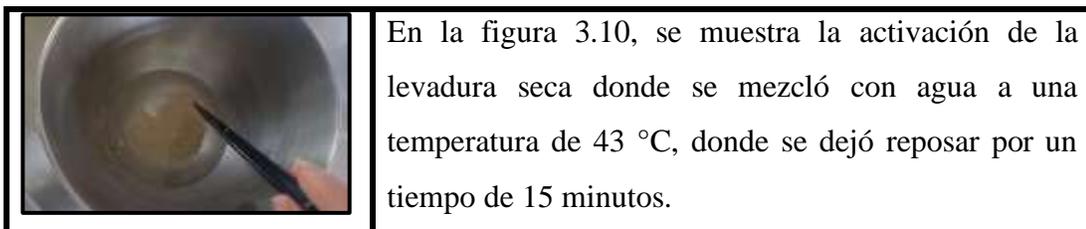
3.8.1.3 Mezcla en seco



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.10: Mezcla en seco

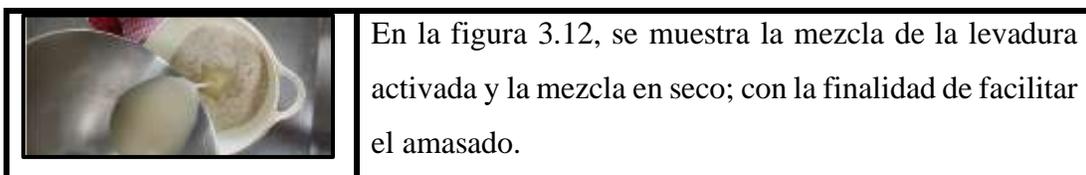
3.8.1.4 Activación de la levadura



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.11: Activación de la levadura

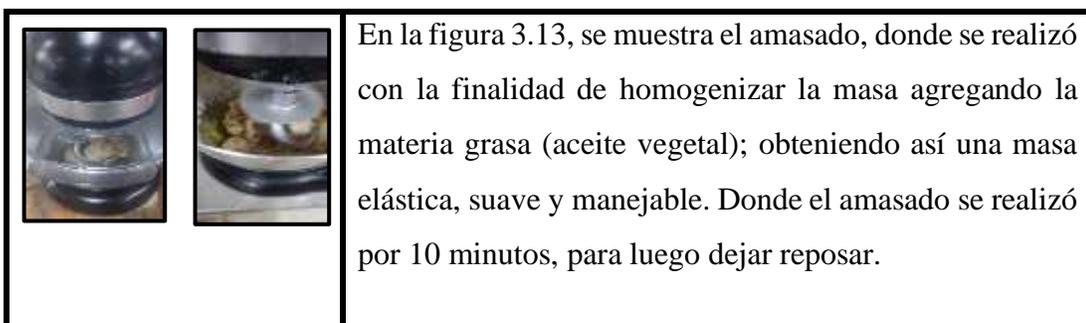
3.8.1.5 Mezcla en húmedo



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.12: Mezcla en húmedo

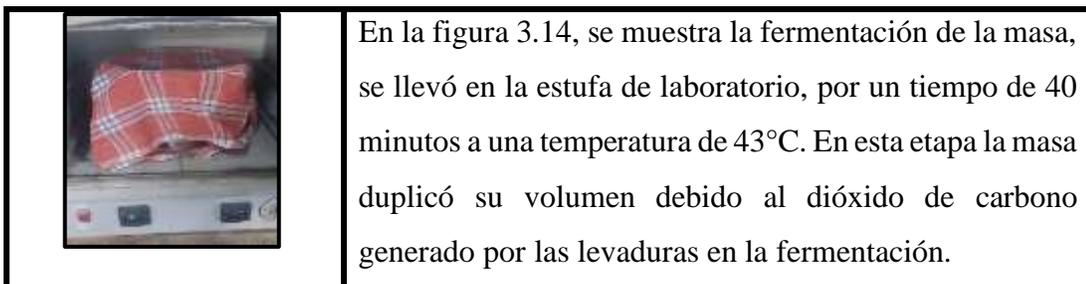
3.8.1.6 Amasado



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.13: Amasado

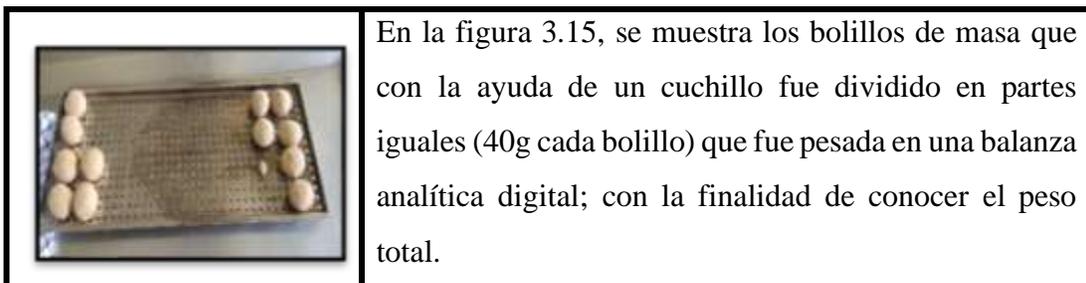
3.8.1.7 Fermentación



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.14: Fermentación

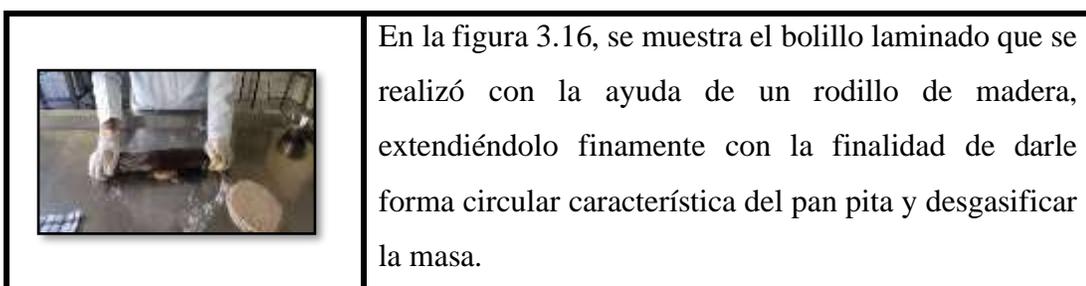
3.8.1.8 División y pesado



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.15: Pesado y división

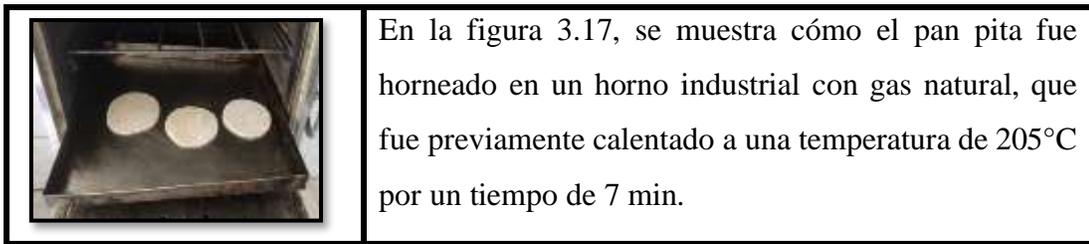
3.8.1.9 Laminado



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.16: Laminado

3.8.1.10 Cocción



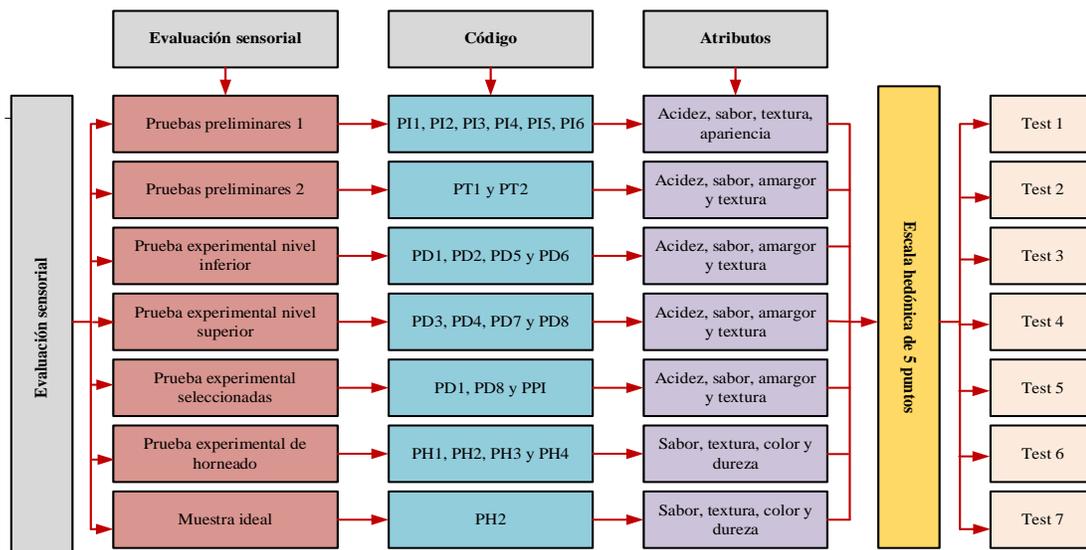
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.17: Cocción

3.9 Evaluación sensorial

Según (Hernandez, 2005), “la disciplina científica utilizada para evocar, medir analizar e interpretar las reacciones a aquellas características de alimentos y otras sustancias, que son percibidas por los sentidos de la vista, olfato, gusto, tacto y oído” (Pág. 12)

En la figura 3.18, se detallan la evaluación sensorial que se realizará en el presente trabajo de investigación para la elaboración pan pita con harina integral de trigo, con el objeto de caracterizar las propiedades organolépticas.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.18: Evaluaciones sensoriales de pan pita con harina integral de trigo y amaranto.

3.10 Diseño Experimental

El diseño de un experimento es la secuencia completa de pasos que se deben tomar de antemano, para planear y asegurar la obtención de toda la información relevante y adecuada al problema de investigación, la cual será analizada estadísticamente para obtener conclusiones válidas y objetivas con respecto a los objetivos planteados, “un diseño experimental es una serie de pruebas en las que se realizan cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso para observar e identificar las razones de los cambios que pudieran observarse en la respuesta de salida” (Uday, 2017).

3.10.1 Diseño factorial 2^k

El diseño 2^k (k factores con dos niveles de prueba cada uno), es una de las familias de diseños de mayor impacto en la industria y en la investigación, debido a su eficacia y versatilidad. Las factoriales 2^k completos son útiles principalmente cuando el número de factores a estudiar está entre dos y cinco ($2 \leq k \leq 5$), rango en el cual su tamaño se encuentra entre cuatro y 32 tratamientos; esta cantidad es manejable en muchas situaciones experimentales (Guitierrez & De la Vera, 2008).

Los diseños factoriales se usan ampliamente en experimentos que incluyen varios factores, cuando es necesario estudiar el efecto conjunto de los factores sobre una respuesta. El más práctico de estos casos especiales es el de k factores cada uno sólo con dos niveles. Estos niveles pueden ser cuantitativos, como dos valores de temperatura, presión o tiempo, o bien cualitativos como dos máquinas, dos operadores, los niveles “alto” y “bajo” de un factor, o quizá la presencia o ausencia de un factor. Una réplica completa de este diseño requiere $2 \times 2 \times \dots \times 2 = 2^k$ observaciones y se le llama diseño factorial 2^k (Montgomery, 1995).

3.10.2 Diseño factorial 2^3

Con el diseño factorial 2^3 se estudian tres factores en dos niveles cada uno. Consta de 8 tratamientos diferentes, los cuales pueden identificarse con las mismas notaciones

introducidas con el diseño 2^2 . Con este diseño se pueden estudiar los $2^3 - 1 = 7$ efectos: tres efectos principales A, B, C; tres interacciones dobles AB, AC, BC y una interacción triple ABC. Por lo general, el interés se enfoca en estudiar los efectos principales y las interacciones dobles. Sin embargo, aunque de antemano se puede considerar la interacción triple ABC en el diseño 2^3 como un efecto ignorable, es recomendable asegurarse de que su valor se mantiene pequeño, además de que, al incluirla en el análisis, puede ayudar a mejorar la perspectiva de algunas gráficas, como se aprecia más adelante (Guitierrez & De la Vera, 2008).

El diseño factorial aplicada en la parte experimental del presente trabajo de investigación, se muestra en la ecuación 3.1.

$$2^K \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Donde:

2 = número de niveles

K = número de variables

Según (Guitierrez & De la Vera, 2008), un modelo de regresión permite expresar los resultados de una variable respuesta en función de las variables independientes de forma matemática. En la ecuación 3.2, se describe el modelo de regresión a ser aplicado:

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

Donde:

β = coeficientes de regresión X_A, X_B, X_C = Valor codificado del factor de diseño

3.10.3 Diseño experimental en el proceso de dosificación de materia prima e insumos del pan pita.

Para la realización del diseño experimental en el proceso de dosificación de materia prima e insumos para la elaboración de pan pita con harina integral de trigo, se aplicó de acuerdo (ecuación 3.1), cuyo diseño factorial corresponde a la ecuación 3.3.

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

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

Porcentaje de harina integral de trigo (%) (A)= 2 niveles

Porcentaje de harina de amaranto (%) (B)= 2 niveles

Porcentaje de levadura (%) (C)= 2 niveles

En la tabla 3.1, se muestra la matriz del diseño experimental que se aplicó en el proceso de dosificación para la elaboración de pan pita con harina integral de trigo, las variables tomadas en cuenta son: porcentaje de harina integral de trigo (A), porcentaje de harina de amaranto (B), porcentaje de levadura (C).

Tabla 3.1

Matriz de variables para el proceso de dosificación de materia prima e insumos

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

Fuente: Elaboración propia

Dónde:

Y_i = pH (adimensional), acidez (ácido láctico %) y humedad (%)

En la tabla 3.2, se muestran los niveles de variación de los factores (nivel superior y nivel inferior), que se aplicó en el proceso de dosificación para la elaboración de pan pita con harina integral de trigo y amaranto.

Tabla 3.2

Niveles de variación de los factores de dosificación

Variables	Unidad	Nivel alto	Nivel bajo
Porcentaje de harina integral de trigo	(%)	46,20	45,00
Porcentaje de harina de amaranto	(%)	14,50	13,50
Porcentaje de levadura	(%)	2,00	1,60

Fuente: Elaboración propia

3.10.4 Diseño factorial 2^2 en la etapa de cocción, para la elaboración de pan pita con harina integral de trigo y amaranto.

El diseño experimental en la etapa de cocción en la elaboración de pan pita con harina integral de trigo, se aplicó a la ecuación 3.4:

$$2^2 - 2 \times 2 = 4 \text{ Corridos / pruebas} \quad \text{Ecuación 3.4}$$

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

A= Tiempo de cocción (min) (A)= 2 niveles

B= Temperatura de cocción (T) °C (B)= 2 niveles

En la tabla 3.3, se muestra la matriz del diseño experimental que se aplicó en la etapa de cocción del pan pita con harina integral de trigo, conformado por dos variables: tiempo de cocción (A) y temperatura de cocción (B).

Tabla 3.3

Matriz de variables para la etapa de cocción del pan pita

Combinación de tratamientos	Variables		Interacciones	Total	
	A	B	AB	Y_{i1}	Y_{i2}
(1)	-	-	+	Y_1	Y_1
A	+	-	-	Y_2	Y_2
B	-	+	-	Y_3	Y_3
Ab	+	+	+	Y_4	Y_4

Fuente: Elaboración propia

Donde:

Y_i = Contenido de humedad (%)

En la tabla 3.4, se muestran los niveles de variación de los factores (nivel superior y nivel inferior), que se aplicó en la etapa de cocción, conformado por dos variables tiempo de cocción (A) y temperatura (B).

Tabla 3.4**Matriz de niveles de variación para la etapa de cocción**

Variables	Unidad	Nivel alto	Nivel bajo
Tiempo de cocción(a)	Minutos	7	6
Temperatura de cocción (b)	°C	215	205

Fuente: Elaboración propia

3.11 Operacionalización de la variable dependiente e independiente, para la elaboración de pan pita con harina integral de trigo y amaranto

La operacionalización de variables es un proceso lógico de desagregación de los elementos más abstractos, los conceptos teóricos, hasta llegar al nivel más concreto, los hechos producidos en la realidad y que representan indicios del concepto, pero que podemos observar, valorar y recoger sus indicadores (Reguant & Martínez, 2014). En el cuadro 3.1, se muestra la operacionalización de las variables dependiente e independiente que son aplicadas en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Cuadro 3.1
Operacionalización de variables de pan pita con harina integral y amaranto

Hipótesis	Variable	Descripción de variable	Subvariables	Indicadores				
El proceso de panificación aplicado para la elaboración de pan tipo pita a base de harina integral de trigo y amaranto, permitirá la obtención de un producto de calidad para la provincia Cercado de Tarija.	I n d e p e n d i e n t e	Proceso de panificación	Las operaciones que se utilizan para el proceso de un producto de panificación son secuenciales y sencillas, pero se deben tener en cuenta las características específicas que se involucran en la obtención de un producto panificado (Avila el at., 2017).	Dosificación	(%)			
				Humedad	(%)			
				pH	-			
				Acidez (ácido láctico)	(%)			
				Cocción	°C			
					minutos			
				Humedad	(%)			
				D e p e n d i e n t e	Elaboración de pan pita	El pan pita, es un producto que se emplea para acompañar muchas comidas en gran parte de oriente medio, aunque su uso está totalmente extendido y es usado en el mundo entero. Su principal característica es que posee muy poco grosor y está ahuecado en su interior, lo cual facilita el relleno con muchos ingredientes (Figueroa, 2010)	Humedad	(%)
							Hidratos de carbono	(%)
							Proteínas	(%)
Ceniza	(%)							
Grasas	(%)							
Gluten	(%)							
Fibra	(%)							
Hierro	(%)							
Valor energético	(kcal/100g)							
Mohos y levaduras	(UFC/g)							
Bacterias aerobias mesófilas	(UFC/g)							

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Caracterización de las harinas integrales, trigo y amaranto

En la caracterización de la harina integral trigo y amaranto, se tomaron en cuenta los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las harinas; los cuales se detallan a continuación:

4.1.1 Análisis fisicoquímico de la harina integral de trigo

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

Tabla 4.1

Análisis fisicoquímico de harina integral de trigo

Parámetros	Unidad	Resultados
Ceniza	%	1,75
Fibra bruta	%	2,83
Fósforo	mg/100 g	94,00
Gluten seco	%	18,09
Grasa	%	2,51
Hierro	mg/100 g	6,70
Hidratos de carbono	%	73,17
Humedad	%	10,05
Proteína total (Nx5,70)	%	12,52
Valor energético	Kcal/100 g	365,35

Fuente: CEANID, 2023

En la tabla 4.1, se puede observar los resultados del análisis fisicoquímico de la harina integral de trigo marca “Princesa” presentando: Ceniza 1,75%, Fibra bruta 2,83%, Fósforo 94,00 mg/100 g, Gluten seco 18,09%, Grasa 2,51%, Hierro 6,70 mg/100 g, Hidratos de carbono 73,17%, Humedad 10,05%, Proteína total (Nx5, 70) 12,52% y Valor energético 365,35 Kcal/100 g.

4.1.2 Análisis microbiológico de la harina integral de trigo.

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

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

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

Fuente: CEANID, 2023

En la tabla 4.2, se puede observar los resultados del análisis microbiológico de la harina integral de trigo presentando: Bacterias aerobias mesófilas $1,0 \times 10^3$ UFC/g, Mohos y levaduras $1,3 \times 10^2$ UFC/g.

4.1.3 Análisis fisicoquímico de la harina de amaranto

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

Tabla 4.3**Análisis fisicoquímico de harina de amaranto**

Parámetros	Unidad	Resultados
Calcio	mg/100 g	100,00
Ceniza	%	2,13
Fibra bruta	%	2,00
Gluten seco	%	n.d
Grasa	%	6,87
Hierro	mg/100 g	7,34
Hidratos de carbono	%	70,16
Humedad	%	6,15
Proteína total (Nx6,25)	%	14,69
Valor energético	Kcal/100 g	401,23

Fuente: CEANID, 2023

En la tabla 4.3, se puede observar los resultados del análisis fisicoquímico de la harina de amaranto presentando: Calcio 100,00 mg/100 g, Ceniza 2,13%, Fibra bruta 2,00%, Gluten seco nada detectado, Grasa 6,87%, Hierro 7,34 mg/100 g, Hidratos de carbono 70,16%, Humedad 6,15%, Proteína total (Nx6, 25) 14,69% y Valor energético 401,23 Kcal/100 g.

4.1.4 Análisis microbiológico de la harina de amaranto

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

Tabla 4.4

Análisis microbiológico de harina de amaranto

Microorganismos	Unidad	Resultados
Bacterias aerobias mesófilos	UFC/g	$7,0 \times 10^4$
Mohos y levaduras	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$ (*)

Fuente: CEANID, 2023

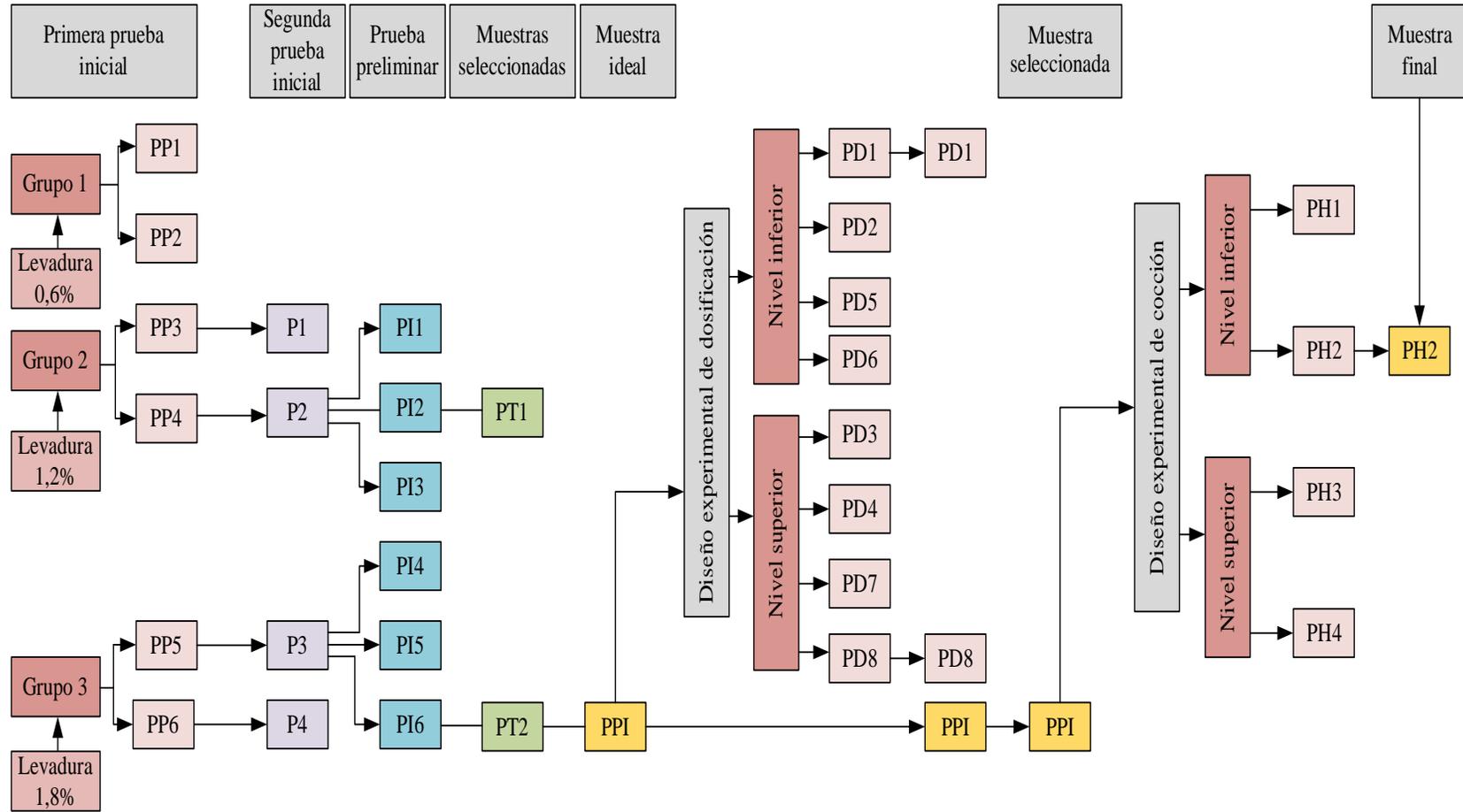
En la tabla 4.4, se puede observar los resultados del análisis microbiológico de la harina de amaranto presentando: Bacterias aerobias mesófilos $7,0 \times 10^4$ UFC/g, Mohos y levaduras $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g.

4.2. Caracterización de las variables de proceso para elaboración de pan pita con harina integral y amaranto

Para la caracterización de las variables de proceso, se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

4.2.1 Desarrollo experimental de las muestras para la elaboración de pan pita con harina integral y amaranto

Para el desarrollo de la parte experimental del presente trabajo de investigación denominado, elaboración de pan pita con harina integral de trigo y amaranto, se procedió a realizar experimentalmente seis muestras iniciales, de las cuales se agruparon en tres grupos: grupo 1 (PP1 y PP2), grupo 2 (PP3 y PP4) y grupo 3 (PP5 y PP6), donde se realizaron una variación porcentual en la dosificación del porcentaje de levadura. Con el fin de obtener una muestra ideal para la elaboración de pan pita con harina integral y amaranto, como se muestra en la figura 4.1.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.1: Desarrollo experimental para la elaboración de pan pita

4.2.2 Elaboración de pan pita con harina integral y amaranto para la primera prueba inicial

Para el presente trabajo de investigación, se tomaron en cuenta la elaboración de pan pita con harina integral (Popivnyak, 2018); con la finalidad de obtener la metodología experimental. Para lo cual, se partieron de seis muestras iniciales, variando los porcentajes de harina integral de trigo, harina de amaranto, levadura y agua, en función de la tabla 4.5.

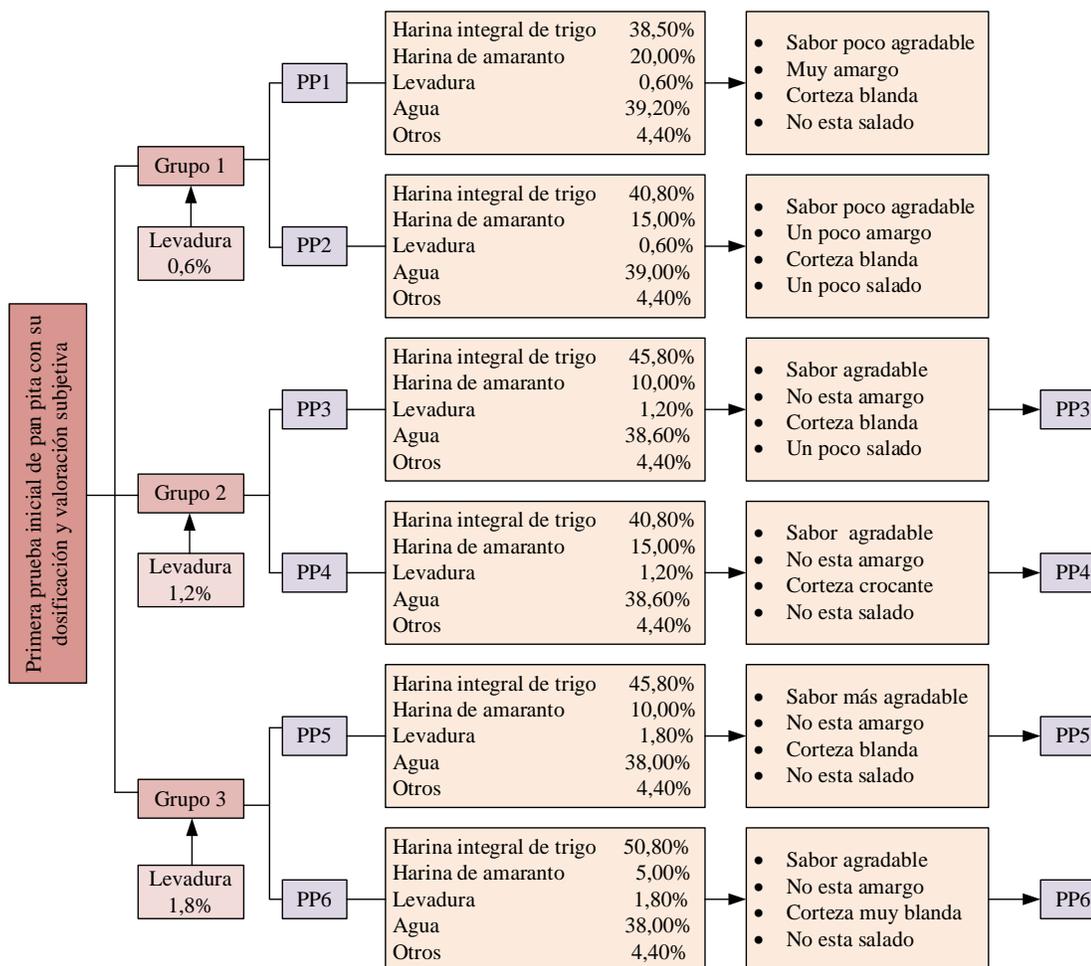
Tabla 4.5

Variación de dosificación para la elaboración de pan pita

Materia prima/insumos	Rango	Unidad
Harina integral de trigo	38,50– 52,80	%
Harina de amaranto	5,00-20,00	%
Levadura	0,60-1,80	%
Agua	38,00-39,50	%
Otros	4,00 – 6,00	%

Fuente: Popivnyak, 2018

En la figura 4.2, se muestran las seis muestras iniciales de pan pita en las cuales fueron agrupadas en tres grupos donde se realizaron una variación porcentual en la dosificación del porcentaje de levadura (0,60 - 1,20 - 1,80) %, harina integral de trigo (38,50 – 50,80) % y harina de amaranto (5,00 – 20,00) %. Elaborados de acuerdo a los rangos de dosificación de la tabla 4.5, con el fin de establecer su dosificación y valoración subjetiva, para obtener las segundas muestras iniciales.



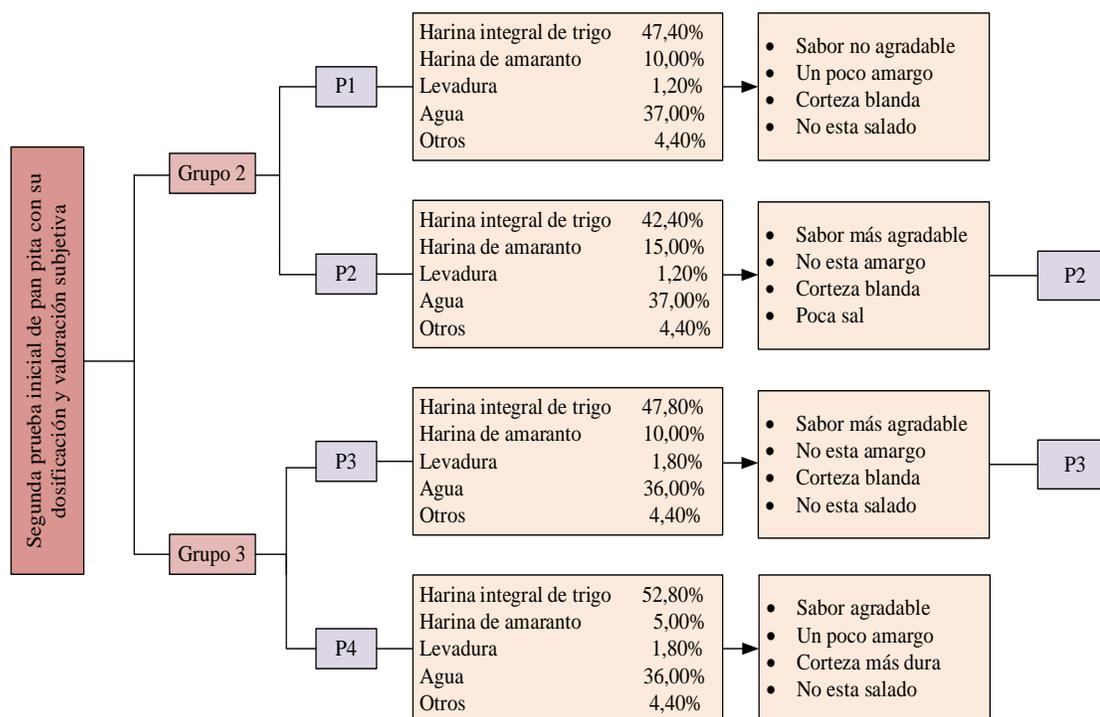
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.2: Elaboración de pan pita con harina integral y amaranto para la primera prueba inicial

Las seis muestras iniciales de pan pita con harina integral de trigo y amaranto fueron valoradas de manera subjetiva por el personal del Laboratorio del Taller de Alimentos. En base a los resultados, se pudo observar que las muestras (PP3, PP4, PP5 y PP6) fueron las de mayor preferencia por presentar sabor agradable, corteza blanda y no presentar amargor en la muestra; en comparación con las muestras (PP1 y PP2), que presentaban sabor poco agradable y amargor, como se muestra en la figura 4.2.

4.2.3 Elaboración de pan pita con harina integral y amaranto para la segunda prueba inicial

En la figura 4.3, se muestran las cuatro muestras seleccionadas de la primera prueba inicial de pan pita con harina integral de trigo y amaranto; en las cuales se volvieron a modificar los porcentajes de: harina integral de trigo (42,80 -52,80) %, harina de amaranto (5,00 – 15,00) % y agua (36,00 – 37,00) %. Elaborados de acuerdo a los rangos de dosificación de la tabla 4.5, con el fin de establecer la muestra preliminar.



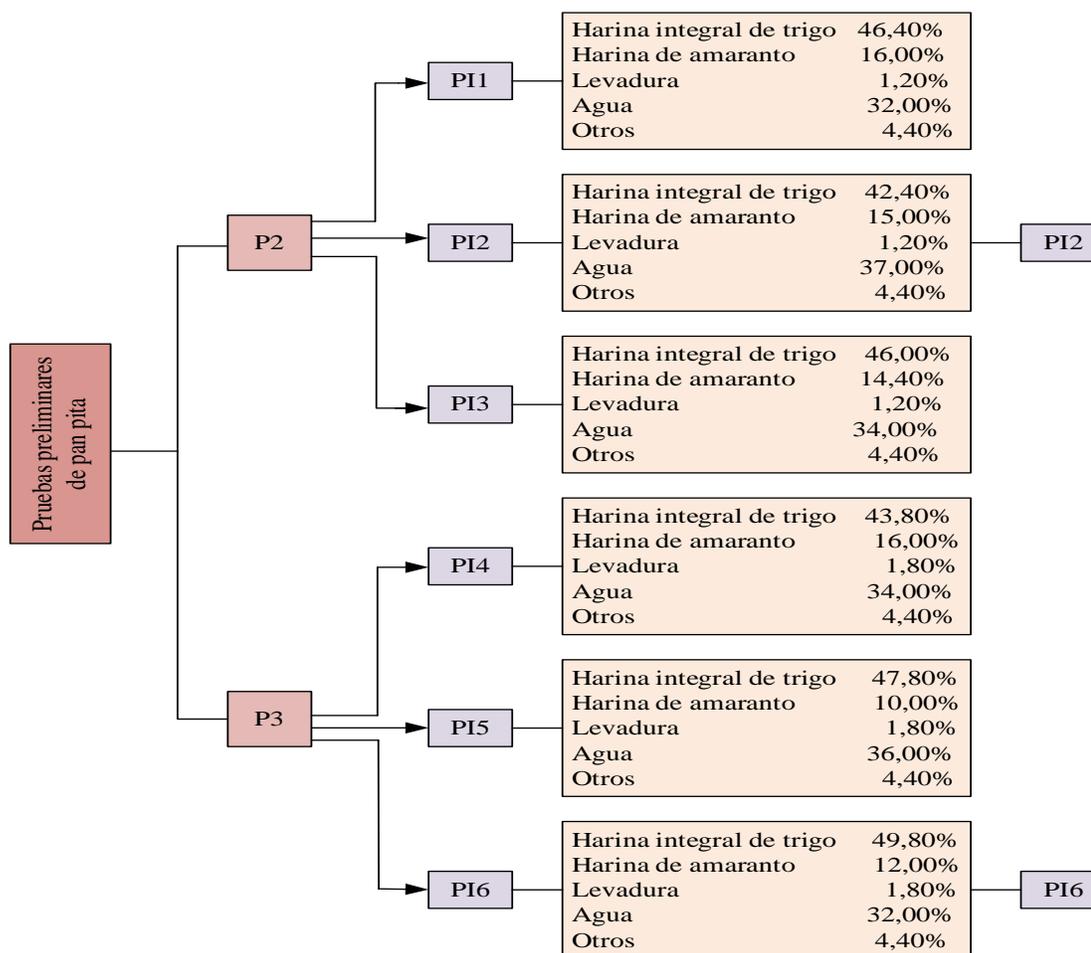
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3: Elaboración de pan pita con harina integral y amaranto para la segunda prueba inicial

Las cuatro muestras de pan pita con harina integral de trigo y amaranto se valoraron de manera subjetiva por el personal del Laboratorio del Taller de Alimentos. En base a los resultados, se pudo observar que las muestras (P2 y P3), fueron las de mayor preferencia por presentar sabor más agradable, corteza blanda y no presentar amargor; en comparación con las muestras (P1 y P4) que presentaban amargor y corteza dura, como se muestra en la figura 4.3.

4.2.4 Elaboración de pan pita con harina integral y amaranto para la prueba preliminar

En la figura 4.4 se muestra las dos muestras seleccionadas de la segunda prueba inicial de pan pita (P2 y P3) que fueron recodificadas como (PI2 y PI5), en base a estas dos muestras se procedió a elaborar seis muestras (PI1, PI2, PI3, PI4, PI5 y PI6), donde se realizó la variación de los porcentajes de harina integral de trigo (42,40 - 49,80) %, harina de amaranto (10,00 -16,00) % y agua (32,00 -37,00) %. Elaborados de acuerdo a los rangos de dosificación de la tabla 4.5, con el fin de obtener las muestras para la selección de la muestra ideal.



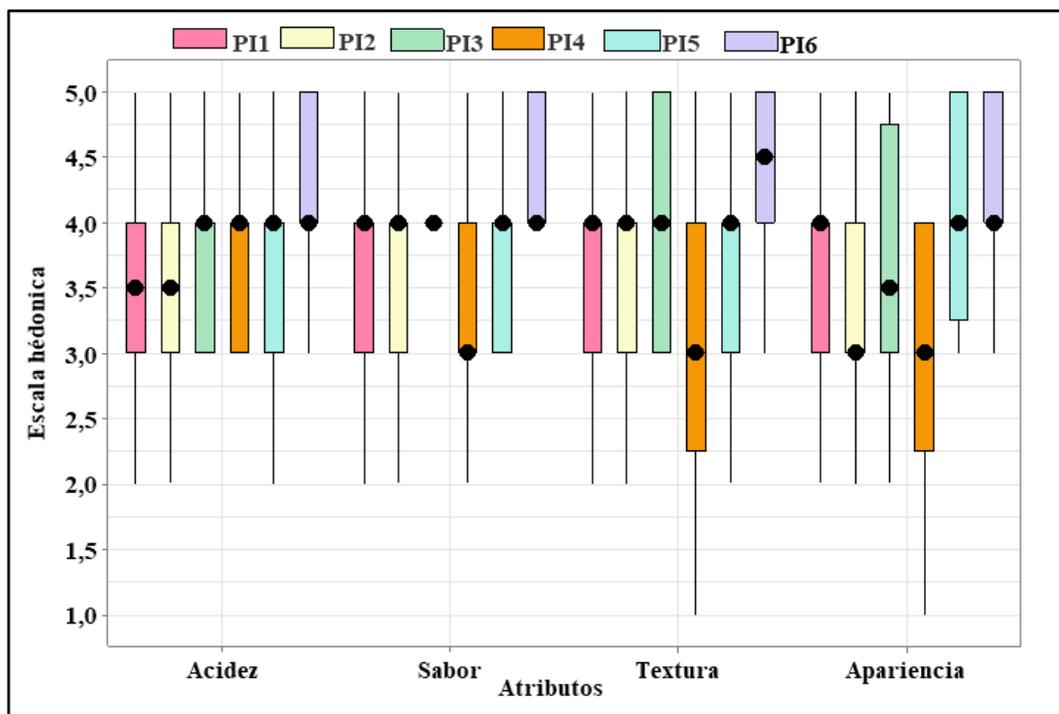
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.4: Elaboración de pan pita con harina integral y amaranto para prueba preliminar

Así mismo, las seis muestras preliminares se procedieron a evaluar sensorialmente en escala hedónica de cinco puntos, con veinte jueces no entrenados; donde se valoraron los atributos; acidez, sabor, textura y apariencia, como se muestra en la figura 4.5.

4.2.4.1 Estadístico de caja y bigote para prueba preliminar de pan pita

En la figura 4.5, se muestra el estadístico de caja y bigote de datos extraídos del Anexo C, para los atributos: acidez (tabla C.2), sabor (tabla C.5), textura (tabla C.8) y apariencia (tabla C.11).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.5: Caja y Bigote para prueba preliminar de pan pita.

Se puede observar que los resultados de las medianas, en función de los atributos de las muestras evaluadas: acidez 4,0 (PI6); sabor 4,0 (PI3); textura 4,5 (PI6) y apariencia 4,0 (PI6). Así mismo, realizado el análisis estadístico de variación, sí existe diferencia significativa entre los atributos de las muestras evaluadas para un nivel de significación $\alpha=0,05$.

4.2.4.1.1 Estadístico de Tukey del atributo acidez de prueba preliminar de pan pita.

En la tabla 4.6, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey, del atributo acidez con datos extraídos del Anexo C (tabla C4).

Tabla 4.6

Estadístico de Tukey del atributo acidez de prueba preliminar

Tratamientos	Diferencias	DMS	Significancia
PI6-PI3	0,58	0,65	No significativo
PI6-PI5	0,68	0,65	Significativo
PI6-PI4	0,79	0,65	Significativo
PI6-PI2	0,84	0,65	Significativo
PI6-PI1	0,89	0,65	Significativo
PI3-PI5	0,11	0,65	No significativo
PI3-PI4	0,21	0,65	No significativo
PI3-PI2	0,26	0,65	No significativo
PI3-PI1	0,32	0,65	No significativo
PI5-P4	0,11	0,65	No significativo
PI5-PI2	0,16	0,65	No significativo
PI5-PI1	0,21	0,65	No significativo
PI4-PI2	0,05	0,65	No significativo
PI4-PI1	0,11	0,65	No significativo
PI2-PI1	0,05	0,65	No significativo

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.6, se puede observar que existe diferencia significativa entre los tratamientos (PI6 - PI5), (PI6 - PI4), (PI6 - PI2) y (PI6 - PI1). Sin embargo, para los tratamientos (PI6 - PI3), (PI3 - PI5), (PI3 - PI4), (PI3 - PI2), (PI3 - PI1), (PI5 - PI4), (PI5 - PI2), (PI5 - PI1), (PI4 - PI2), (PI4 - PI1), (PI2 - PI1); no existe diferencia significativa para un nivel de confianza $\alpha = 0,05$.

4.2.4.1.2 Estadístico de Tukey del atributo sabor de prueba preliminar de pan pita

En la tabla 4.7, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey del atributo sabor de datos extraídos del Anexo C (tabla C.7).

Tabla 4.7

Estadístico de Tukey del atributo sabor de prueba preliminar

Tratamientos	Diferencias	DMS	Significancia
PI6-PI3	0,40	0,54	No significativo
PI6-PI5	0,55	0,54	Significativo
PI6-PI1	0,60	0,54	Significativo
PI6-PI2	0,80	0,54	Significativo
PI6-PI4	1,10	0,54	No significativo
PI3-PI5	0,15	0,54	No significativo
PI3-PI1	0,20	0,54	No significativo
PI3-PI2	0,40	0,54	No significativo
PI3-PI4	0,70	0,54	No significativo
PI5-PI1	0,05	0,54	No significativo
PI5-PI2	0,25	0,54	No significativo
PI5-PI4	0,55	0,54	No significativo
PI1-PI2	0,20	0,54	No significativo
PI1-PI4	0,50	0,54	No significativo
PI2-PI4	0,30	0,54	No significativo

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.7, se puede observar que existe diferencia significativa entre los tratamientos (PI6 - PI5), (PI6 - PI4), (PI6 - PI2) y (PI6 - PI1). Sin embargo, para los tratamientos (PI6 - PI3), (PI3 - PI5), (PI3 - PI4), (PI3 - PI2), (PI3 - PI1), (PI5 - PI4), (PI5 - PI2), (PI5 - PI1), (PI4 - PI2), (PI4 - PI1), (PI2 - PI1); no existe diferencia significativa para un nivel de confianza $\alpha = 0,05$.

4.2.4.1.3 Estadístico de Tukey del atributo textura de prueba preliminar de pan pita

En la tabla 4.8, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey del atributo textura de datos extraídos del Anexo C (tabla C.10)

Tabla 4.8

Estadístico de Tukey del atributo textura de prueba preliminar

Tratamientos	Diferencias	DMS	Significancia
PI6-PI3	0,45	0,70	No significativo
PI6-PI5	0,65	0,70	Significativo
PI6-PI2	0,75	0,70	Significativo
PI6-PI1	0,80	0,70	Significativo
PI6-PI4	1,30	0,70	Significativo
PI3-PI5	0,20	0,70	No significativo
PI3-PI2	0,30	0,70	No significativo
PI3-PI1	0,35	0,70	No significativo
PI3-PI4	0,85	0,70	No significativo
PI5-PI2	0,10	0,70	No significativo
PI5-PI1	0,15	0,70	No significativo
PI5-PI4	0,65	0,70	No significativo
PI2-PI1	0,05	0,70	No significativo
PI2-PI4	0,55	0,70	No significativo
PI1-PI4	0,50	0,70	No significativo

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la tabla 4.8, se puede observar que existe diferencia significativa entre los tratamientos (PI6 - PI5), (PI6 - PI4), (PI6 - PI2) y (PI6 - PI1). Sin embargo, para los tratamientos (PI6 - PI3), (PI3 - PI5), (PI3 - PI4), (PI3 - PI2), (PI3 - PI1), (PI5 - PI4), (PI5 - PI2), (PI5 - PI1), (PI4 - PI2), (PI4 - PI1), (PI2 - PI1); no existe diferencia significativa para un nivel de confianza $\alpha = 0,05$.

4.2.4.1.4 Estadístico de Tukey del atributo apariencia de prueba preliminar de pan pita

En la tabla 4.9, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey del atributo apariencia de datos extraídos del Anexo C (tabla C.13).

Tabla 4.9**Estadístico de Tukey del atributo apariencia de prueba preliminar**

Tratamientos	Diferencias	DMS	Significancia
PI6-PI5	0,20	0,66	No significativo
PI6-PI3	0,60	0,66	Significativo
PI6-PI1	0,60	0,66	Significativo
PI6-PI2	0,85	0,66	Significativo
PI6-PI4	1,30	0,66	Significativo
PI5-PI3	0,40	0,66	No significativo
PI5-PI1	0,40	0,66	No significativo
PI5-PI2	0,65	0,66	No significativo
PI5-PI4	1,10	0,66	No significativo
PI3-PI1	0	0,66	No significativo
PI3-PI2	0,25	0,66	No significativo
PI3-PI4	0,70	0,66	No significativo
PI1-PI2	0,25	0,66	No significativo
PI1-PI4	0,70	0,66	No significativo
PI2-PI4	0,45	0,66	No significativo

Fuente: Elaboración propia

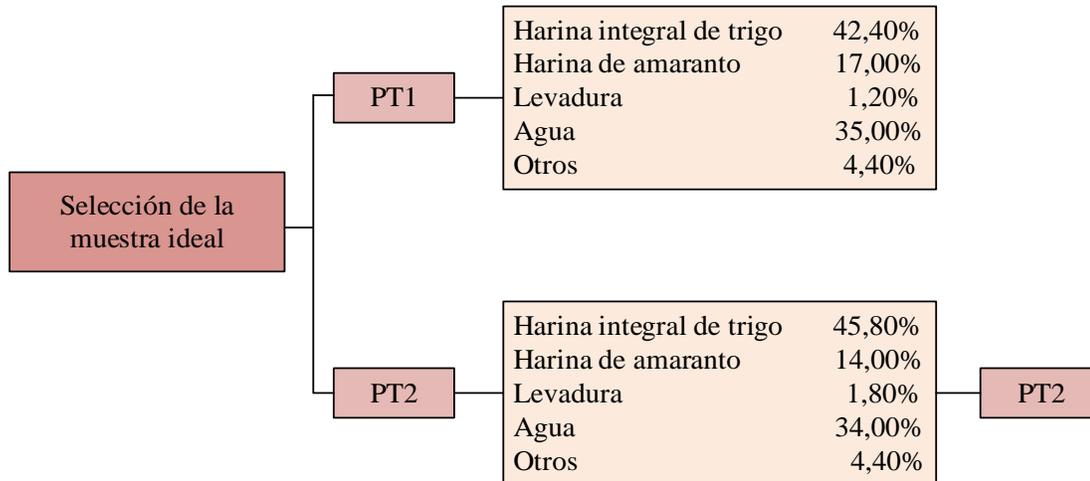
Según la tabla 4.9, se puede observar que existe diferencia significativa entre los tratamientos (PI6 - PI5), (PI6 - PI4), (PI6 - PI2) y (PI6 - PI1). Sin embargo, para los tratamientos (PI6 - PI3), (PI3 - PI5), (PI3 - PI4), (PI3 - PI2), (PI3 - PI1), (PI5 - PI4), (PI5 - PI2), (PI5 - PI1), (PI4 - PI2), (PI4 - PI1), (PI2 - PI1); no existe diferencia significativa para un nivel de confianza $\alpha = 0,05$.

Después de la evaluación sensorial y según la preferencia de los veinte jueces no entrenados, se tomaron en cuenta como muestras seleccionadas PI2 y PI6, en base al porcentaje de harina de amaranto y sus propiedades organolépticas, con la finalidad de obtener la muestra ideal.

4.2.5 Elaboración de pan pita con harina integral y amaranto para la selección de la muestra ideal

En la figura 4.6 se aprecia las dos muestras: (PI2 y PI6), seleccionadas de la prueba preliminar, donde se procedió a modificar la variación de porcentajes de harina integral de trigo (42,4 – 45,8) %, harina de amaranto (14 – 17) % y agua (34 – 35) % realizadas

en las muestras (PT1 y PT2). Elaborados de acuerdo a los rangos de dosificación de la tabla 4.5, con el fin de obtener la muestra ideal.



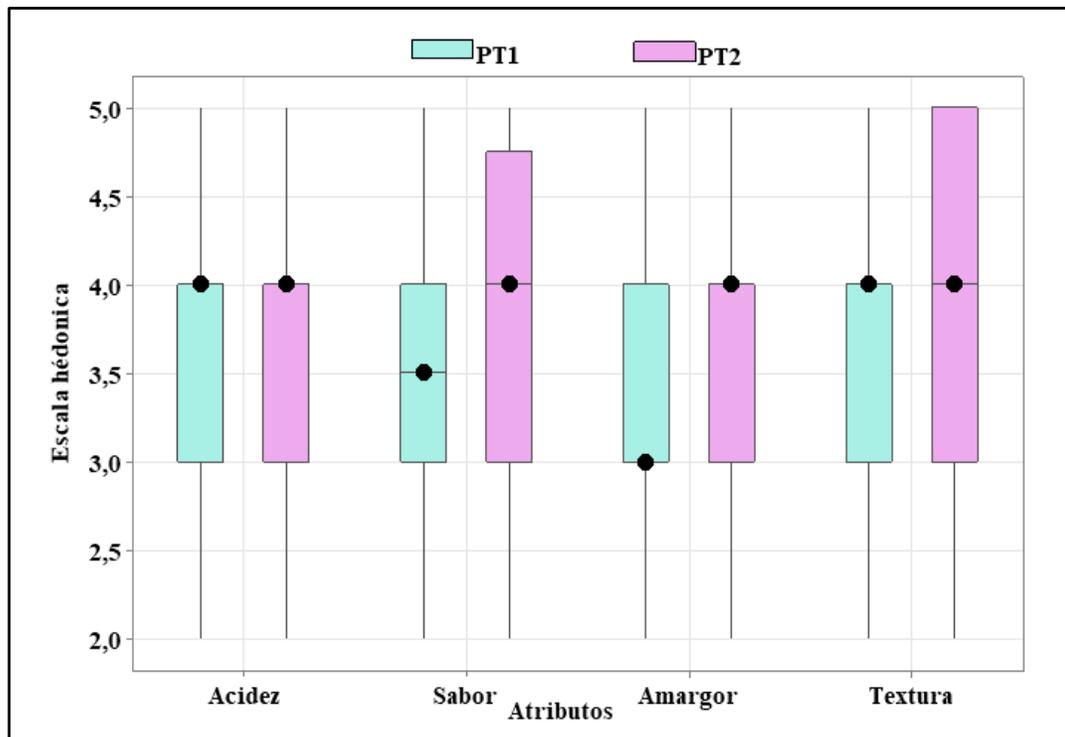
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.6: Elaboración de pan pita con harina integral y amaranto para la selección de la muestra ideal

Según a la figura 4.6 las cuales se procedió a realizar una evaluación sensorial con escala hedónica de cinco puntos, con veinte jueces no entrenados; donde se valoraron los atributos; acidez, sabor, amargor y textura.

4.2.5.1 Estadístico de caja y bigote para selección de muestra ideal de pan pita

En la figura 4.7, se muestra el estadístico de caja y bigote para la selección de la muestra ideal de datos extraídos del Anexo C, para los atributos: acidez (tabla C.14), sabor (tabla C.16), amargor (tabla C.20) y textura (tabla C.22).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.7: Caja y bigote de la selección de la muestra ideal de pan pita.

En la figura 4.7, se puede observar que los resultados de las medianas en función de los atributos de las muestras evaluadas son: acidez 4,0 (PT1 y PT2); sabor 4,0 (PT2); amargor 4,0 (PT2) y textura 4,0 (PT2). Así mismo, realizado el análisis estadístico de varianza, sí existe diferencia significativa entre los atributos de las muestras evaluadas, para un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

4.2.5.1.1 Estadístico de Tukey del atributo sabor para la selección de la muestra ideal de pan pita

En la tabla 4.10, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey del atributo sabor de datos extraídos de Anexo C (tabla C.19).

Tabla 4.10

Estadístico de Tukey del atributo sabor para la selección de la muestra ideal

Tratamientos	Diferencia	DMS	Significativo
PT2-PT1	0,47	0,47	Significativo

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.10, se puede observar que existe diferencia significativa entre los tratamientos (PT2-PT1), para un nivel de confianza $\alpha = 0,05$.

Después de la evaluación sensorial para seleccionar una muestra ideal y según la preferencia de los veinte jueces no entrenados, se tomó en cuenta como muestra ideal PT2, por presentar la mayor mediana para todos los atributos evaluados y sabor agradable.

4.2.5.2 Control del contenido de humedad, pH, acidez (ácido láctico) en la selección de muestra ideal del pan pita

Para determinar pH, acidez y contenido de humedad en las pruebas preliminares de pan pita, se tomó en cuenta la muestra preliminar PT1 y PT2, realizando el control en el pan pita, con el fin de conocer los valores de estos parámetros y corroborar la evaluación sensorial realizada por los veinte jueces no entrenados.

4.2.5.2.1 Control del contenido de humedad para la selección de muestra ideal del pan pita

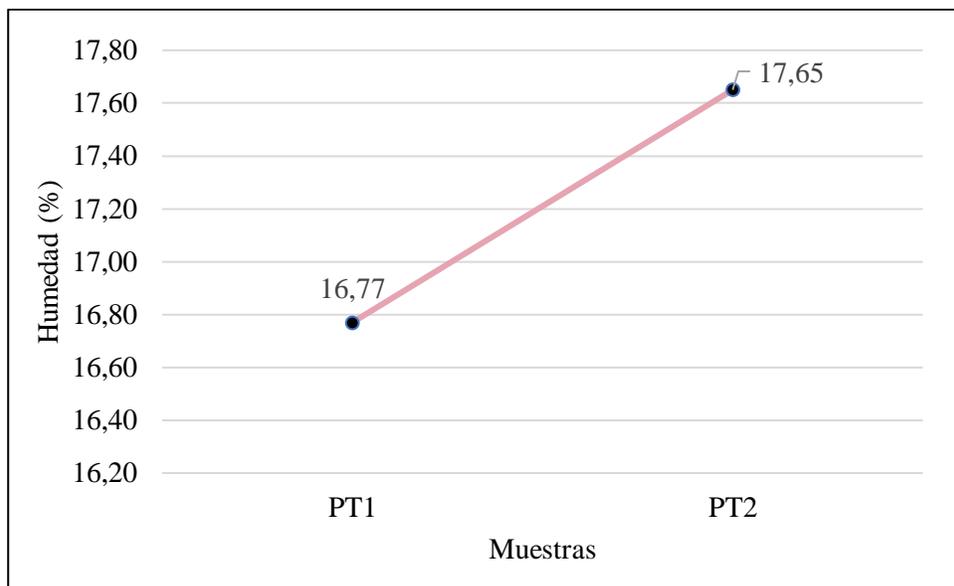
En la tabla 4.11, se muestran los resultados obtenidos del contenido de humedad en la selección de la muestra ideal de pan pita extraídos (Anexo E.1); utilizando el método de la termobalanza detallada en el (Anexo D.3).

Tabla 4.11
Variación del contenido de humedad para la selección de muestra ideal

Control	Muestras	
	PT1	PT2
Humedad (%)	16,77	17,65

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.8, se muestran los resultados del contenido de humedad en base seca de las muestras realizadas en base a la tabla 4.11.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.8 Control del contenido de humedad para la selección de la muestra ideal

Según la figura 4.8, se puede observar que al finalizar el proceso de cocción (6 min) las muestras de pan pita presentan: (17,65) % PT2 en contenido de humedad, obteniendo mayor porcentaje, debido al menor contenido de harina de amaranto; en comparación a la muestra PT1 (16,77) % en contenido de humedad, por tener mayor contenido de harina de amaranto.

4.2.5.2.2 Control del pH para la selección de la muestra ideal del pan pita

En la tabla 4.12, se muestran los resultados obtenidos de la variación del pH de selección de la muestra ideal de pan pita (Anexo E.2); utilizando la técnica detallada en el (Anexo D.1).

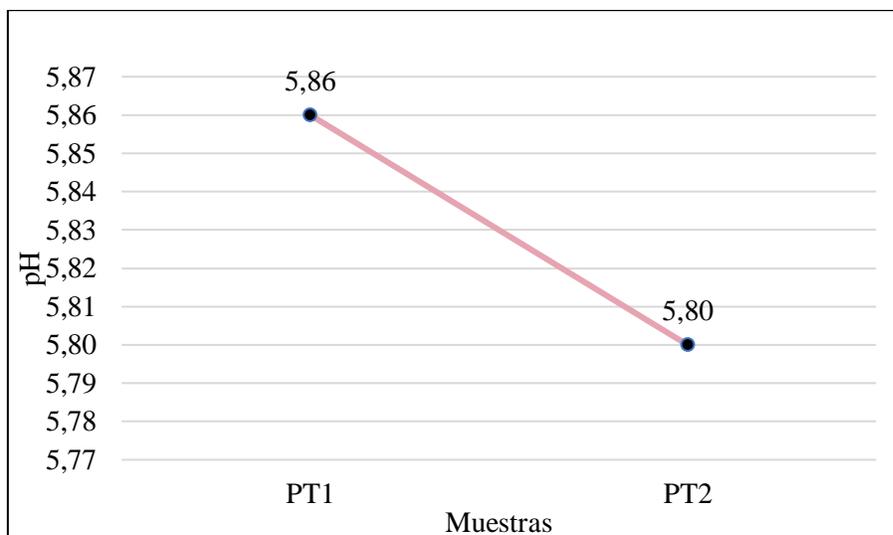
Tabla 4.12

Variación del pH para la selección de la muestra ideal

Control	Muestras	
	PT1	PT2
pH	5,86	5,80

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.9, se muestran los resultados del pH de las muestras realizadas en base a la tabla 4.12.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.9. Control del pH para la selección de la muestra ideal.

Según la figura 4.9, se puede observar que al finalizar el proceso de cocción (6 min) las muestras de pan pita presentan: (5,86) PT1 obteniendo mayor pH, debido al mayor contenido de harina de amaranto; en comparación con la muestra PT2 (5,80) que contiene menor contenido de amaranto.

4.2.5.2.3 Control del porcentaje de acidez (ácido láctico) para la selección de la muestra ideal del pan pita

En la tabla 4.13, se muestran los resultados obtenidos de la variación del porcentaje de acidez (ácido láctico), en la selección de la muestra ideal de pan pita (Anexo E.3); utilizando la técnica detallada en el (Anexo D.2).

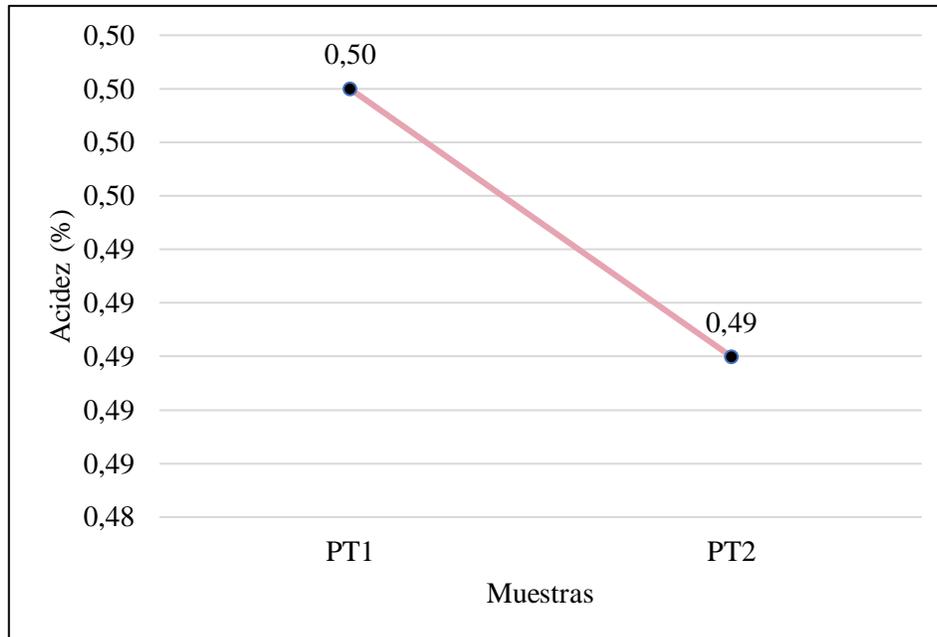
Tabla 4.13

Variación de la acidez (ácido láctico) para la selección de la muestra ideal

Control	Muestras	
	PT1	PT2
Acidez (ácido láctico) %	0,50	0,49

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.10, se muestran los resultados del porcentaje de acidez (ácido láctico) de las muestras realizadas en base a la tabla 4.13.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.10: Control del porcentaje de acidez (ácido láctico) para la selección de la muestra ideal

Según la figura 4.10, se puede observar que al finalizar el proceso de cocción (6 min), las muestras de pan pita presentan: (0,50) % PT1 de acidez obteniendo mayor contenido de acidez, debido al mayor contenido de harina de amaranto en comparación con la muestra PT2 (0,49) % de acidez, debido al menor porcentaje de harina de amaranto.

Realizado el control de pH, acidez (ácido láctico) y contenido de humedad en la selección de la muestra ideal de pan pita, según el valor de cada parámetro de control se tomó PT2 como la muestra ideal, debido al contenido de humedad (17,65) %, pH (5,8), acidez (0,49) % y parámetros de proceso: tiempo de amasado (10 minutos), fermentación de la masa (40 minutos) a temperatura de (40 °C) y tiempo de cocción (6 minutos) a temperatura de (210 °C).

4.3 Diseño factorial 2³ en la etapa de dosificación para la elaboración de pan pita

En base a la muestra ideal (PPI), se procedió a realizar de manera experimental el diseño factorial 2³ (tabla 3.1) en la etapa de dosificación para elaborar pan pita con harina integral y amaranto, en el cual se tomaron en cuenta como variables respuestas; contenido de humedad, pH, y acidez (ácido láctico).

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

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

En base al diseño experimental aplicado en la etapa de dosificación se realizó el análisis estadístico de la variable respuesta contenido de humedad (tabla 4.14) en el programa estadístico Statgraphics (Centurión XIX), para Windows y los resultados obtenidos se detallan en el (Anexo E.4).

Tabla 4.14

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

Fuente de varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados Medios	Fcal	Ftab
(FV)	(SC)	(GL)	(CM)		
Factor A	7,3685100	1	7,36851000	40,77*	5,32
Factor B	6,6512400	1	6,65124000	36,80*	5,32
Factor C	0,0254402	1	0,02544020	0,14	5,32
Interacción AB	0,7638760	1	0,76387600	4,23	5,32
Interacción AC	11,720400	1	11,7204000	64,85*	5,32
Interacción BC	0,0888040	1	0,08880400	0,49	5,32
Interacción ABC	3,2833400	1	3,28334000	18,17*	5,32
Error total	1,4458800	8	0,18073600		-
Total	31,347500	15			-

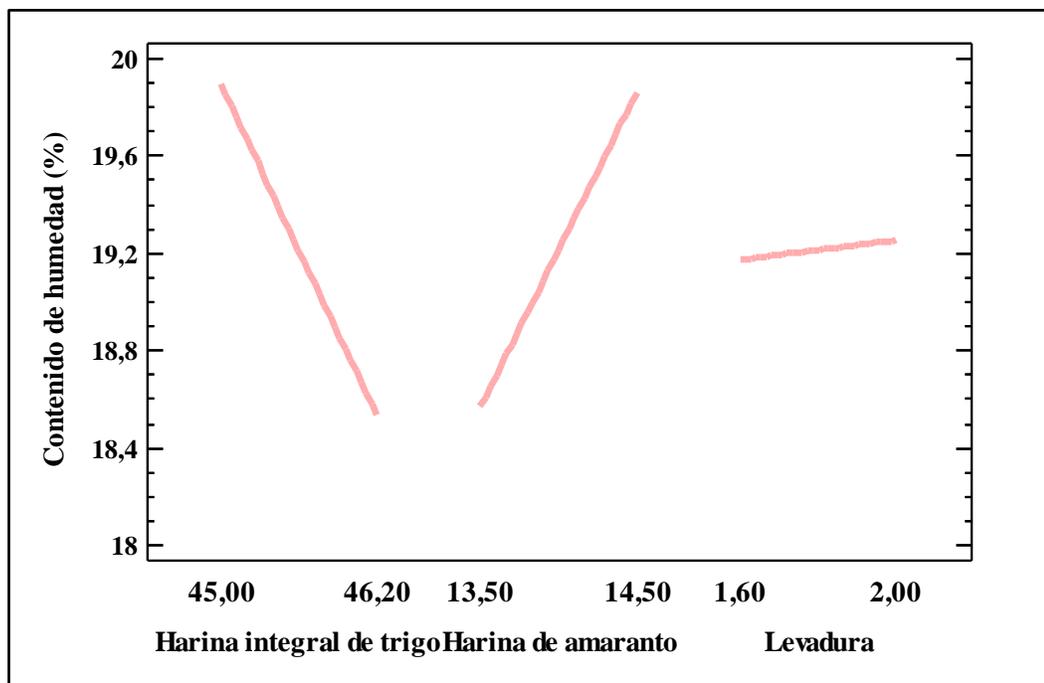
Fuente: Elaboración propia

(*) Significativo

Según el análisis de varianza ANNOVA en la tabla 4.14, se puede observar que: el factor C (porcentaje de levadura), e interacciones AB (harina integral de trigo-harina

de amaranto) y BC (harina integral de trigo-levadura) no existe diferencia significativa, ya que $F_{cal} < F_{tab}$, por tanto, se acepta la hipótesis planteada. Sin embargo, para los factores A (harina integral de trigo), B (harina de amaranto) y las interacciones AC (harina integral de trigo-levadura) y ABC (harina integral de trigo-harina de amaranto-levadura), si existe diferencia significativa ya que $F_{cal} > F_{tab}$, por tanto, se rechaza la hipótesis planteada y se puede afirmar que los factores A y B e interacción AC y ABC, son significativos en la etapa de dosificación, por tanto, se rechaza la hipótesis planteada para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

En la figura 4.11, se muestra los efectos principales para los factores; A (harina integral de trigo), B (harina de amaranto) y C (levadura) con relación a la variable respuesta contenido de humedad (%).



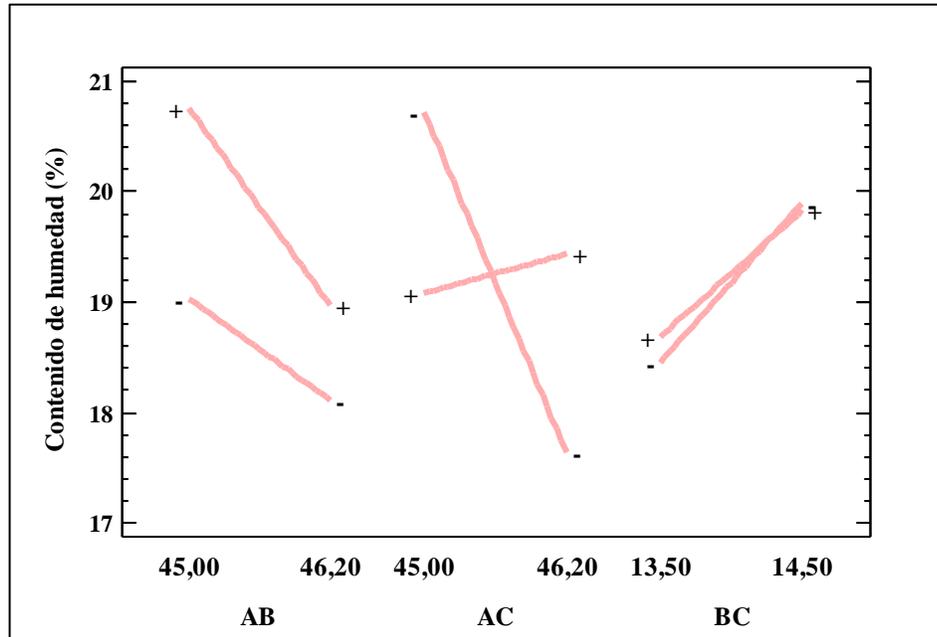
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.11: Efectos principales para contenido de humedad

Según la figura 4.11, se puede observar que los factores A (harina integral de trigo) y B (harina de amaranto), influye significativamente sobre la variable respuesta contenido de humedad (%) para un rango de (18,00 – 20,00) %, entre sus niveles bajo

y alto; en comparación con el factor C (levadura) que no influye significativamente sobre el contenido de humedad entre su nivel bajo y alto.

En la figura 4.12, se muestra interacción para los factores: AB (harina integral de trigo-harina de amaranto), AC (harina integral de trigo-levadura) y BC (harina amaranto-levadura), en función de la variable respuesta contenido de humedad.



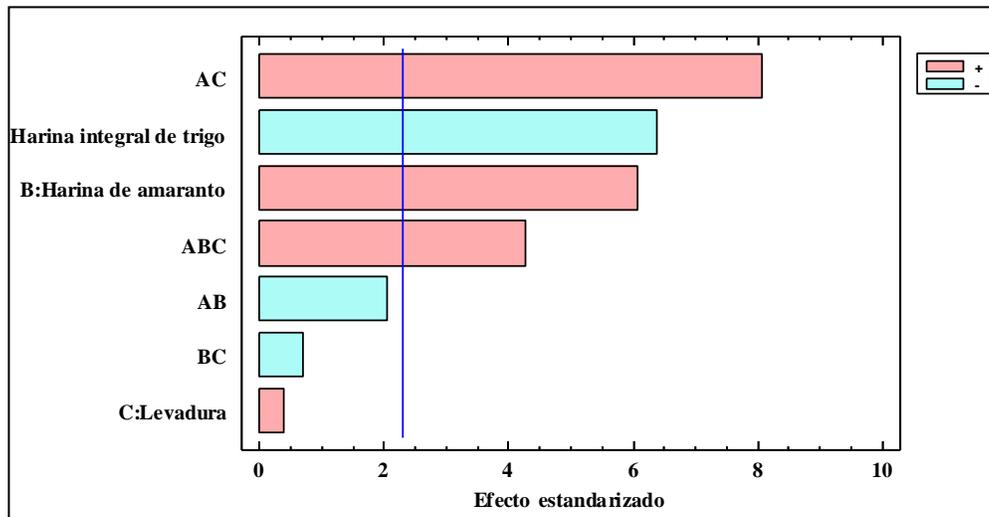
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.12: Interacción de factores para contenido de humedad

Según la figura 4.12, se puede observar que el contenido de humedad para la interacción AC, se ve afectado cuando el porcentaje de harina integral se encuentra entre su nivel alto y bajo (45,00 - 46,20) % y BC, se ve afectado cuando el porcentaje de harina amaranto se encuentra entre su nivel alto y bajo (13,50 - 14,50) %; influyendo en la variación del contenido de humedad en relación al factor C (levadura). Así mismo, para la interacción AB el contenido de humedad se ve levemente afectado cuando el factor A (harina de integral de trigo) se encuentra en su nivel alto y no así en nivel bajo.

En la figura 4.13, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en el diseño factorial. Para tal efecto, el nivel de significancia de los factores

e interacciones se determina con la línea vertical de referencia (2,35), de tal manera si exceden la línea de referencia, indican que son significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.13. Diagrama de Pareto estandarizado para contenido de humedad

Según la figura 4.13, se puede observar que las interacciones AC (harina integral de trigo-levadura), ABC (harina integral de trigo- harina de amaranto-levadura), los factores A (harina integral de trigo) y B (harina de amaranto), sobrepasan la línea de referencia, por tanto, son estadísticamente significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$; en comparación con las interacciones AB (harina integral de trigo-harina de amaranto), BC(harina de amaranto-levadura) y el factor C (levadura) que no son significativos estadísticamente ya que no exceden la línea de referencia.

4.3.2 Variable respuesta pH en la etapa de dosificación del pan pita

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

En base al diseño factorial aplicada en la etapa de dosificación, se realizó el análisis estadístico de la variable respuesta pH (tabla 4.15), en el programa estadístico

Statgraphics (Centurión XIX), para Windows y los resultados obtenidos se detallan en el (Anexo E.5)

Tabla 4.15

Análisis de varianza en función de la variable respuesta de pH

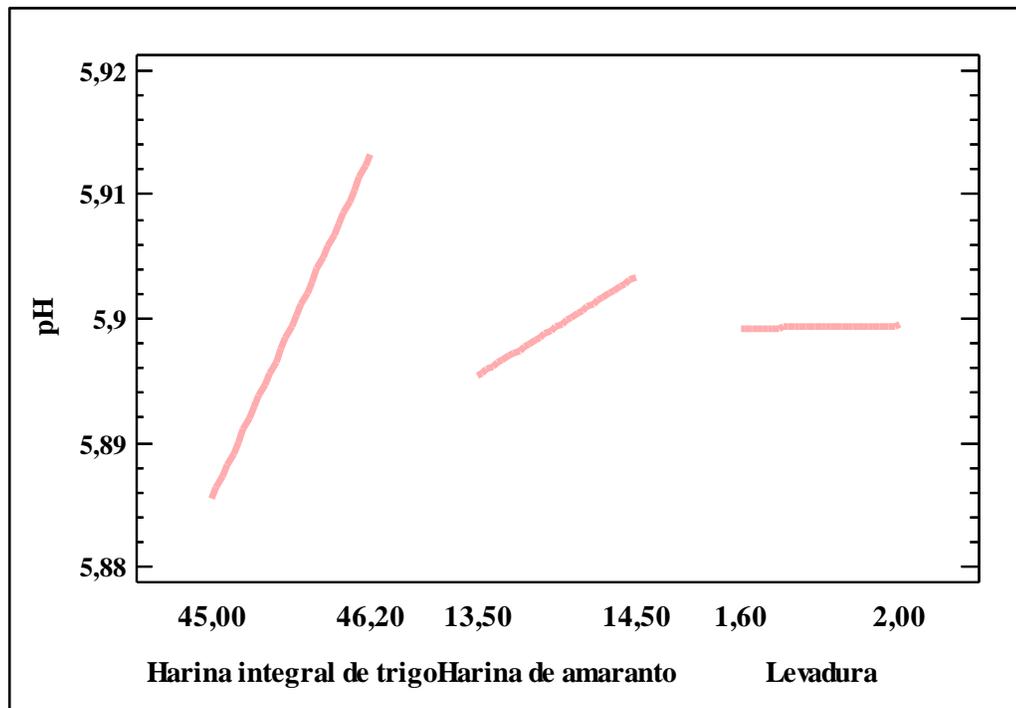
Fuente de varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados Medios	Fcal	Ftab
(FV)	(SC)	(GL)	(CM)		
Factor A	0,00308025	1	0,00308025	6,08*	5,32
Factor B	0,00025600	1	0,00025600	0,50	5,32
Factor C	2,5E-7	1	2,5E-7	0,00	5,32
Interacción AB	0,00093025	1	0,00093025	1,83	5,32
Interacción AC	0,00476100	1	0,00476100	9,39*	5,32
Interacción BC	0,00024025	1	0,00024025	0,47	5,32
Interacción ABC	0,00002500	1	0,00002500	0,05	5,32
Error total	0,00405600	8	0,00050700		-
Total	0,01334900	15			-

Fuente: Elaboración propia

(*) Significativo

Según el análisis de varianza ANNOVA en la tabla 4.15, se puede observar que: el factor B (porcentaje de harina de amaranto), C (porcentaje de levadura), e interacciones AB (harina integral de trigo-harina de amaranto), BC (harina integral de trigo-levadura) y ABC (harina integral de trigo-harina de amaranto-levadura), no existe diferencia significativa ya que $F_{cal} < F_{tab}$, por tanto, se acepta la hipótesis planteada. Sin embargo, para el factor A (harina integral de trigo) y la interacción AC (harina integral de trigo-levadura), sí existe diferencia significativa ya que $F_{cal} > F_{tab}$, por tanto, se rechaza la hipótesis planteada y se puede afirmar que el factor A e interacción AC, son significativos en la etapa de dosificación, por tanto, se rechaza la hipótesis planteada para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

En la figura 4.14, se muestra los efectos principales para los factores; A (harina integral de trigo), B (harina de amaranto) y C (levadura), con relación a la variable respuesta de pH.

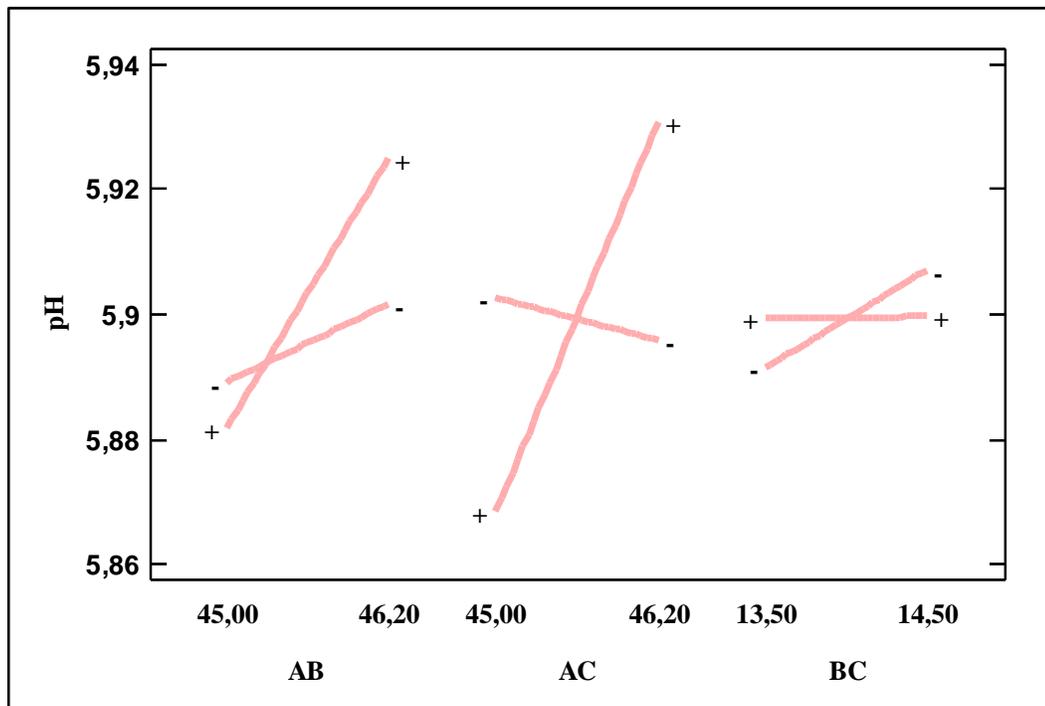


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.14 Efectos principales para pH

Según la figura 4.14, se puede observar que los factores A (harina integral de trigo) y B (harina de amaranto), influye significativamente sobre la variable respuesta pH, para un rango de (5,88- 5,92), entre sus niveles bajo y alto; en comparación con el factor C (levadura) que no influye significativamente sobre el contenido de humedad entre su nivel bajo y alto.

En la figura 4.15, se muestra interacción para los factores: AB (harina integral de trigo-harina de amaranto), AC (harina integral de trigo-levadura) y BC (harina amaranto-levadura), en función de la variable respuesta de pH Efectos principales para pH.

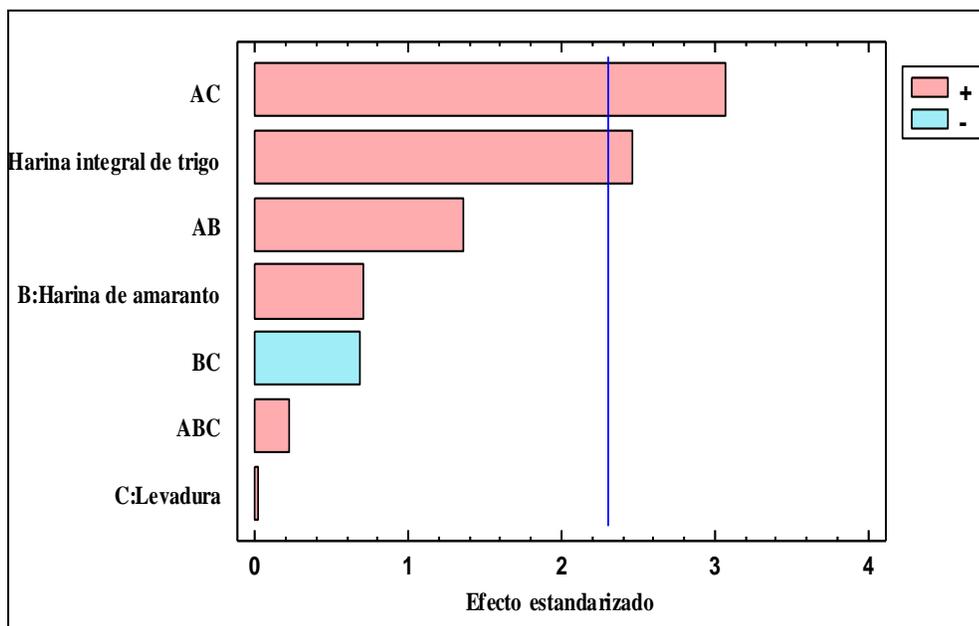


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.15. Interacción de factores para pH

Según la figura 4.15, se puede observar que el pH para las interacciones: AB, AC se ve afectado cuando el porcentaje de harina amaranto (13,50 – 14,50)% y el porcentaje de levadura (1,60 – 2,00)% se encuentran en su nivel alto y bajo; influyendo en la variación del pH en relación al factor A (harina integral) y BC también se ve afectado cuando el porcentaje de la harina de amaranto (13,50 – 14,50)% se encuentra entras en su nivel alto y bajo; influyendo en la variación del pH en relación al factor C (levadura) que se encuentra en su nivel alto y bajo; influyendo en la variación del pH.

En la figura 4.16, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en el diseño factorial. Para tal efecto, el nivel de significancia de los factores e interacciones se determina con la línea vertical de referencia (2,15), de tal manera si exceden la línea de referencia indican que son significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.16. Diagrama de Pareto estandarizado para pH

Según la figura 4.16, se puede observar que las interacciones AC (harina integral de trigo-levadura) y el factor A (harina integral de trigo) sobrepasan la línea de referencia, por tanto, son estadísticamente significativos para un nivel de confianza $\alpha = 0,05$; en comparación con las interacciones AB (harina integral de trigo-harina de amaranto), BC (harina de amaranto-levadura), ABC (harina integral de trigo- harina de amaranto-levadura), los factores B (harina de amaranto) y C (levadura) que no son significativos estadísticamente ya que no exceden la línea de referencia.

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

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

En base al diseño factorial aplicada en la etapa de dosificación, se realizó el análisis estadístico de la variable respuesta acidez (tabla 4.15) en el programa estadístico

Statgraphics (Centurión XIX) para Windows y los resultados obtenidos se detallan en el (Anexo E.6).

Tabla 4.16

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

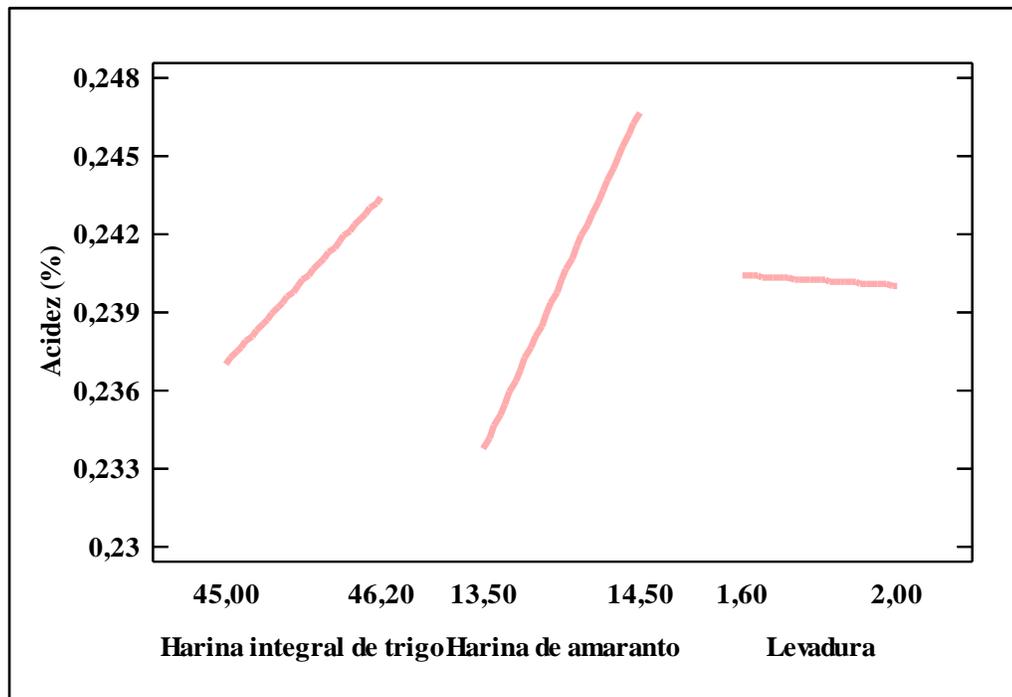
Fuente de varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados Medios	Fcal	Ftab
(FV)	(SC)	(GL)	(CM)		
Factor A	0,0001625630	1	0,0001625630	1,15	5,32
Factor B	0,000663062-	1	0,0006630620	4,68	5,32
Factor C	5,625E-7	1	5,625E-7	0,00	5,32
Interacción AB	0,0000950625	1	0,0000950625	0,67	5,32
Interacción AC	0,0001890630	1	0,0001890630	1,33	5,32
Interacción BC	0,0002975620	1	0,0002975620	2,10	5,32
Interacción ABC	0,0004730630	1	0,0004730630	3,34	5,32
Error total	0,0011335000	8	0,0001416880		-
Total	0,0030144400	15			-

Fuente: Elaboración propia

(*) Significativo

Según el análisis de varianza ANNOVA en la tabla 4.16, se puede observar que: los factores A (harina integral de trigo), B (harina de amaranto), C (porcentaje de levadura), y las interacciones AB (harina integral de trigo-harina de amaranto), AC (harina integral de trigo-levadura), BC (harina integral de trigo-levadura) y ABC (harina integral de trigo-harina de amaranto-levadura) no existe diferencia significativa ya que $F_{cal} < F_{tab}$, por tanto, se acepta la hipótesis planteada. Se puede afirmar que los factores A, B, C y las interacciones A, AC, BC y ABC, no son significativos en la etapa de dosificación, por tanto, se rechaza la hipótesis planteada para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

En la figura 4.17, se muestra los efectos principales para los factores; A (harina integral de trigo), B (harina de amaranto) y C (levadura) con relación a la variable respuesta acidez (ácido láctico) %.

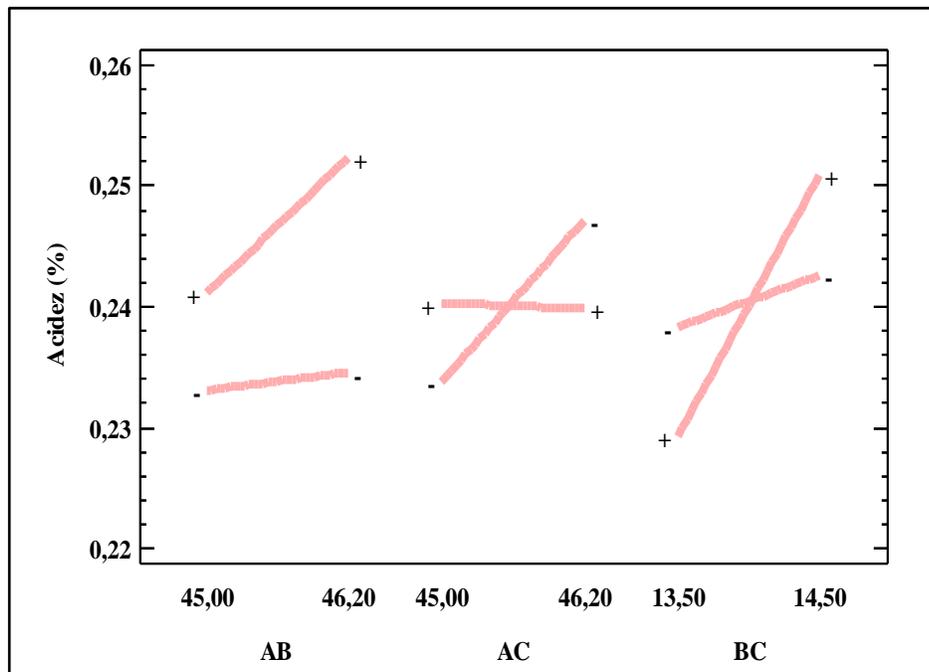


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.17 Efectos principales para la acidez (ácido láctico)

Según la figura 4.17, se puede observar que los factores A (harina integral de trigo) y B (harina de amaranto) influye significativamente sobre la variable respuesta acidez (ácido láctico %) para un rango de (0,23 – 0,24) %, entre sus niveles bajo y alto; en comparación con el factor C (levadura) que no influye significativamente sobre el contenido de humedad entre su nivel bajo y alto.

En la figura 4.18, se muestra interacción para los factores: AB (harina integral de trigo-harina de amaranto), AC (harina integral de trigo-levadura) y BC (harina amaranto-levadura), en función de la variable respuesta acidez (ácido láctico) %.

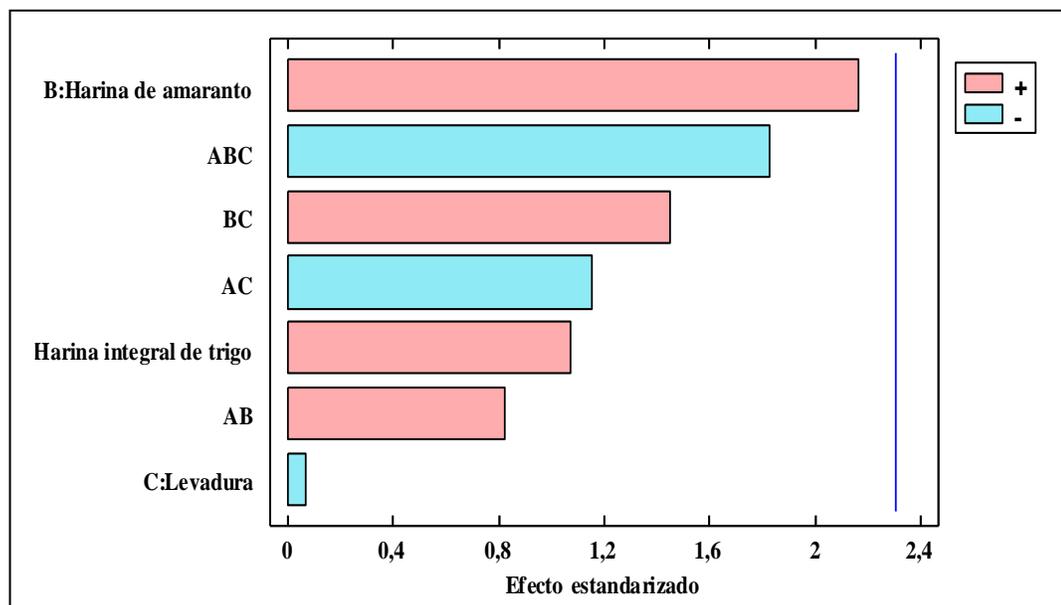


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.18. Interacción de factores para la acidez (ácido láctico)

Según la figura 4.18, se puede observar que el contenido de acidez (ácido láctico) para la interacción AC, se ve afectado cuando el porcentaje de harina integral se encuentra entre su nivel alto y bajo (45,00 - 46,20) % y BC se ve afectado cuando el porcentaje de harina amaranto se encuentra entre su nivel alto y bajo (13,50 - 14,50) %; influyendo en la variación de acidez en relación al factor C (levadura). Así mismo, para la interacción AB el contenido de acidez no se ve afectado cuando el factor A (harina de integral de trigo) se encuentra en su nivel alto y no así en nivel bajo.

En la figura 4.19, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en el diseño factorial. Para tal efecto, el nivel de significancia de los factores e interacciones se determina con la línea vertical de referencia (2,30), de tal manera si exceden la línea de referencia, indican que son significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.19. Diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de acidez.

Según la figura 4.19, se puede observar que ninguno de los factores A (harina integral de trigo), B (harina de amaranto), C (levadura) y las interacciones ABC (harina integral de trigo- harina de amaranto-levadura), BC (harina de amaranto-levadura) AC (harina integral de trigo-levadura), AB (harina integral de trigo-harina de amaranto) no son significativos estadísticamente ya que no exceden la línea de referencia de nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.4 Porcentaje de la harina de amaranto en la formulación del pan pita

En la tabla 4.17, se observa las muestras con menor porcentaje de harina de amaranto 13,5% (PD1, PD2, PD5 y PD6) y con mayor 14,5% (PD3, PD4, PD7 y PD8). Se procedió a realizar una evaluación sensorial con escala hedónica de cinco puntos con 20 jueces no entrenados; donde se valoraron los atributos; acidez, sabor, amargor y textura. Con el fin de obtener una muestra que sea factible en base de los parámetros tomados en cuenta.

Tabla 4.17

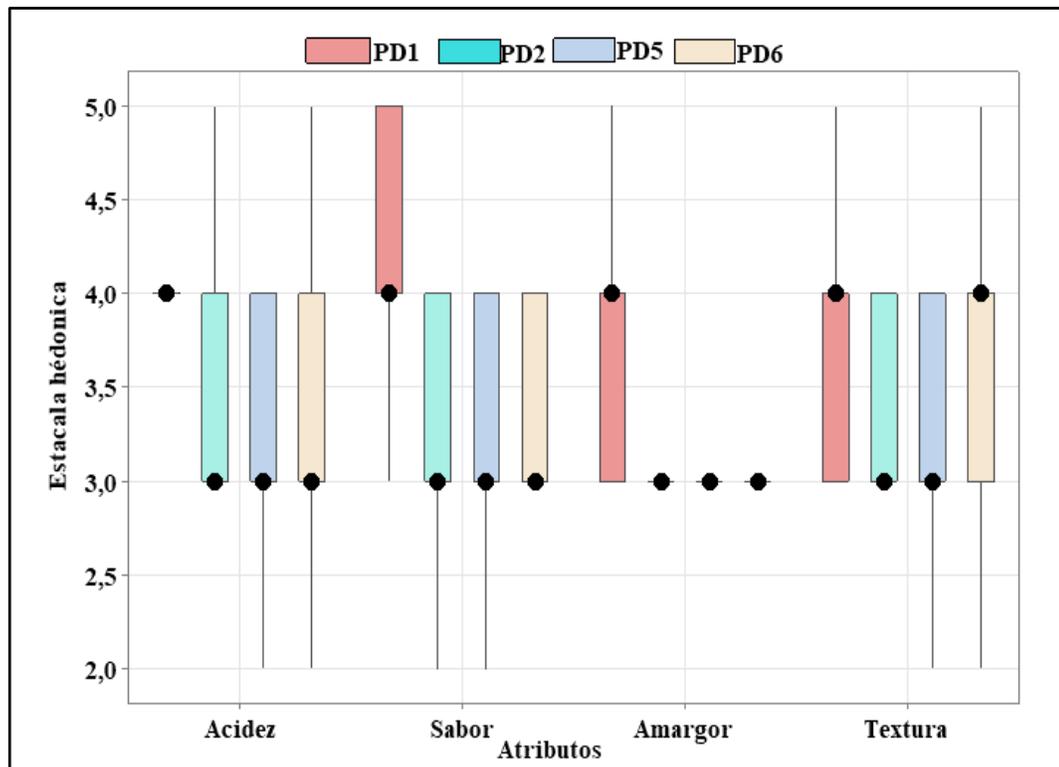
Porcentaje de harina de amaranto en la formulación de pan pita

Variables			Codificación	Factor harina de amaranto		Porcentaje (%)
B	A	C				
-	-	-	PD1	-	PD1	13,5 %
-	+	-	PD2	-	PD2	
+	-	-	PD3	-	PD5	
+	+	-	PD4	-	PD6	
-	-	+	PD5	+	PD3	14,5 %
-	+	+	PD6	+	PD4	
+	-	+	PD7	+	PD7	
+	+	+	PD8	+	PD8	

Fuente: Elaboración propia

4.4.1 Estadístico caja y bigote para muestras con menor porcentaje de harina de amaranto

En la figura 4.20, se muestra el resultado del estadístico de caja y bigote de datos extraídos del (Anexo C), para los atributos: acidez (tabla C.24), sabor (tabla C.27), amargor (tabla C.30) y textura (tabla C.33), para el factor porcentaje de harina de amaranto.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.20: Estadístico caja y bigote para muestras del menor porcentaje de harina de amaranto

En la figura 4.20, se puede observar que los resultados de las medianas en función de los atributos de las muestras evaluadas: acidez 4,0 (PD1); sabor 4,0 (PD1); amargor 4,0 (PD1) y textura 4,0 (PD1 y PD4). Así mismo, realizado el análisis estadístico de varianza existe diferencia significativa entre los atributos de las muestras evaluadas para un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

4.4.1.1 Estadístico de Tukey del atributo acidez para muestras con menor porcentaje de harina de amaranto

En la tabla 4.18, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey del atributo acidez (ácido láctico), para muestras con menor porcentaje de harina de amaranto, de datos extraídos del Anexo C (tabla C.26).

Tabla 4.18

Estadístico de Tukey del atributo acidez para el menor porcentaje de harina de amaranto

Tratamientos	Diferencias	DMS	Significativo
PD1-PD2	0,60	0,50	Significativo
PD1-PD6	0,65	0,50	Significativo
PD1-PD5	0,75	0,50	Significativo
PD2-PD6	0,05	0,50	No significativo
PD2-PD5	0,15	0,50	No significativo
PD6-PD5	0,10	0,50	No significativo

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.18, se puede observar que existe diferencia significativa entre los tratamientos (PD1-PD2), (PD1-PD6) y (PD1-PD5). Sin embargo, para los tratamientos (PD2-PD6), (PD2-PD5) y (PD6, PD5); no existe diferencia significativa para un nivel de confianza $\alpha = 0,05$

4.4.1.2 Estadístico de Tukey del atributo sabor para muestras con menor porcentaje de harina de amaranto

En la tabla 4.19, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey del atributo sabor para muestras con menor porcentaje de harina de amaranto, de datos extraídos del Anexo C (tabla C.29).

Tabla 4.19

Estadístico de Tukey del atributo sabor para el menor porcentaje de harina de amaranto

Tratamientos	Diferencias	DMS	Significancia
PD1-PD2	1,05	0,50	Significativo
PD1-PD6	1,05	0,50	Significativo
PD1-PD5	1,25	0,50	Significativo
PD2-PD6	0,00	0,50	No significativo
PD2-PD5	0,20	0,50	No significativo
PD6-PD5	0,20	0,50	No significativo

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.19, se puede observar que existe diferencia significativa entre los tratamientos (PD1-PD2), (PD1-PD6) y (PD1-PD5). Sin embargo, para los tratamientos

(PD2-PD6), (PD2-PD5) y (PD6, PD5); no existe diferencia significativa para un nivel de confianza $\alpha = 0,05$

4.4.1.3 Estadístico de Tukey del atributo amargor para muestras con menor porcentaje de harina de amaranto

En la tabla 4.20, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey del atributo amargor para muestras con menor porcentaje de harina de amaranto, de datos extraídos del Anexo C (tabla C.32).

Tabla 4.20

Estadístico de Tukey de atributo amargor para el menor porcentaje de harina de amaranto

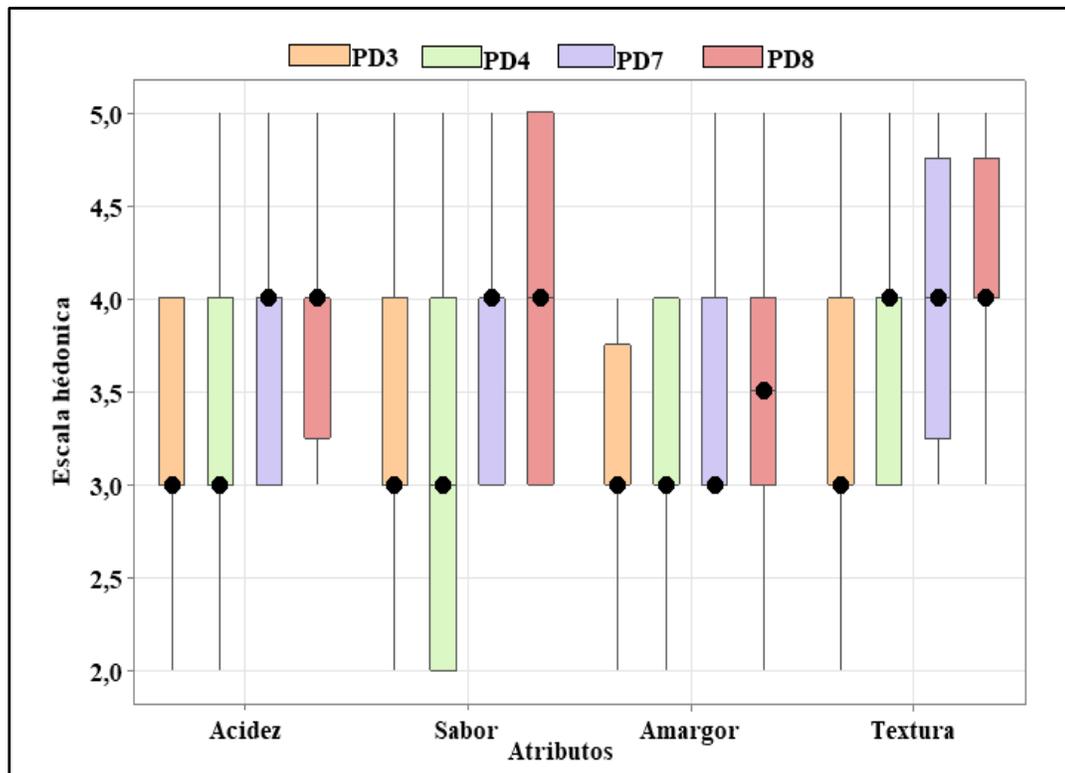
Tratamientos	Diferencias	DMS	Significativo
PD1-PD2	0,65	0,49	Significativo
PD1-PD6	0,65	0,49	Significativo
PD1-PD5	0,75	0,49	Significativo
PD2-PD6	0,00	0,49	No significativo
PD2-PD5	0,10	0,49	No significativo
PD6-PD5	0,10	0,49	No significativo

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.20, se puede observar que existe diferencia significativa entre los tratamientos (PD1-PD2), (PD1-PD6) y (PD1-PD5). Sin embargo, para los tratamientos (PD2-PD6), (PD2-PD5) y (PD6, PD5); no existe diferencia significativa para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$

4.4.2 Estadístico caja y bigote para muestras con mayor porcentaje de harina de amaranto

En la figura 4.21, se muestra el resultado del estadístico de caja y bigote de datos extraídos del Anexo C, para los atributos: acidez (tabla C.35), sabor (tabla C.38), amargor (tabla C.41) y textura (tabla C.44).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.21: Estadístico caja y bigote para muestras con mayor porcentaje de harina de amaranto

En la figura 4.21, se puede observar que los resultados de las medianas en función de los atributos de las muestras evaluadas: acidez 4,0 (PD8); sabor 4,0 (PD8); amargor 3,5 (PD8) y textura 4,0 (PD7 y PD8). Así mismo, realizado el análisis estadístico de varianza existe diferencia significativa entre los atributos de las muestras evaluadas para un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

4.4.2.1 Estadístico de Tukey del atributo acidez para muestras con mayor porcentaje de harina de amaranto

En la tabla 4.21, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey del atributo acidez (ácido láctico) para muestras con mayor porcentaje de harina de amaranto, de datos extraídos del Anexo C (tabla C.37).

Tabla 4.21

Estadístico de Tukey del atributo acidez para el mayor porcentaje de harina de amaranto

Tratamientos	Diferencias	DMS	Significativo
PD8-PD7	0,00	0,60	No Significativo
PD8-PD4	0,50	0,60	No Significativo
PD8-PD3	0,65	0,60	Significativo
PD7-PD4	0,50	0,60	No significativo
PD7-PD3	0,65	0,60	Significativo
PD4-PD3	0,15	0,60	No significativo

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.21, se puede observar que existe diferencia significativa entre los tratamientos (PD8-PD3) y (PD7-PD3). Sin embargo, para los tratamientos (PD8-PD7), (PD8-PD4), (PD7- PD4) y (PD4- PD3); no existe diferencia significativa para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$

4.4.2.2 Estadístico de Tukey del atributo sabor para muestras con mayor porcentaje de harina de amaranto

En la tabla 4.22, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey del atributo sabor para muestras con mayor porcentaje de harina de amaranto, de datos extraídos del Anexo C (tabla C.40).

Tabla 4.22

Estadístico de Tukey del atributo sabor para el mayor porcentaje de harina de amaranto

Tratamientos	Diferencias	DMS	Significativo
PD8-PD7	0,05	0,59	No significativo
PD8-PD4	0,55	0,59	No significativo
PD8-PD3	0,65	0,59	Significativo
PD7-PD4	0,50	0,59	No significativo
PD7-PD3	0,60	0,59	Significativo
PD4-PD3	0,10	0,59	No significativo

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.22, se puede observar que existe diferencia significativa entre los tratamientos (PD8-PD3) y (PD7-PD3). Sin embargo, para los tratamientos (PD8-PD7),

(PD8-PD4), (PD7- PD4) y (PD4- PD3); no existe diferencia significativa para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$

4.4.2.3 Estadístico de Tukey del atributo textura para muestras con mayor porcentaje de harina de amaranto

En la tabla 4.23, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey del atributo textura para muestras con mayor porcentaje de harina de amaranto, de datos extraídos del Anexo C (tabla C.46).

Tabla 4.23

Estadístico de Tukey del atributo textura para el mayor porcentaje de harina de amaranto

Tratamientos	Diferencias	DMS	Significativo
PD8-PD7	0,05	0,51	No significativo
PD8-PD4	0,35	0,51	No significativo
PD8-PD3	0,55	0,51	Significativo
PD7-PD4	0,30	0,51	No significativo
PD7-PD3	0,50	0,51	No significativo
PD4-PD3	0,20	0,51	No significativo

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.23, se puede observar que existe diferencia significativa entre los tratamientos (PD8-PD3). Sin embargo, para los tratamientos (PD8-PD7), (PD8-PD4), (PD7-PD4) y (PD7-PD3) y (PD4-PD3); no existe diferencia significativa para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$

4.4.3 Control del contenido de humedad, pH y acidez para muestras con menor y mayor porcentaje de harina de amaranto

Para el proceso de dosificación de harina de amaranto se realizó el control del contenido de humedad (%), pH y acidez (ácido láctico) %, en las muestras con el menor porcentaje de harina de amaranto (PD1, PD2, PD5 y PD6) y el mayor porcentaje (PD3, PD4, PD7 y PD8), con la finalidad de identificar la influencia que tiene la harina de amaranto en el proceso de dosificación.

4.4.3.1 Control del contenido de humedad para muestras con menor porcentaje de harina de amaranto

En la tabla 4.24, se muestran los resultados obtenidos del contenido de humedad para muestras con menor porcentaje de harina de amaranto (Anexo E.7), utilizando el método de la termobalanza detallada en el (Anexo D.3).

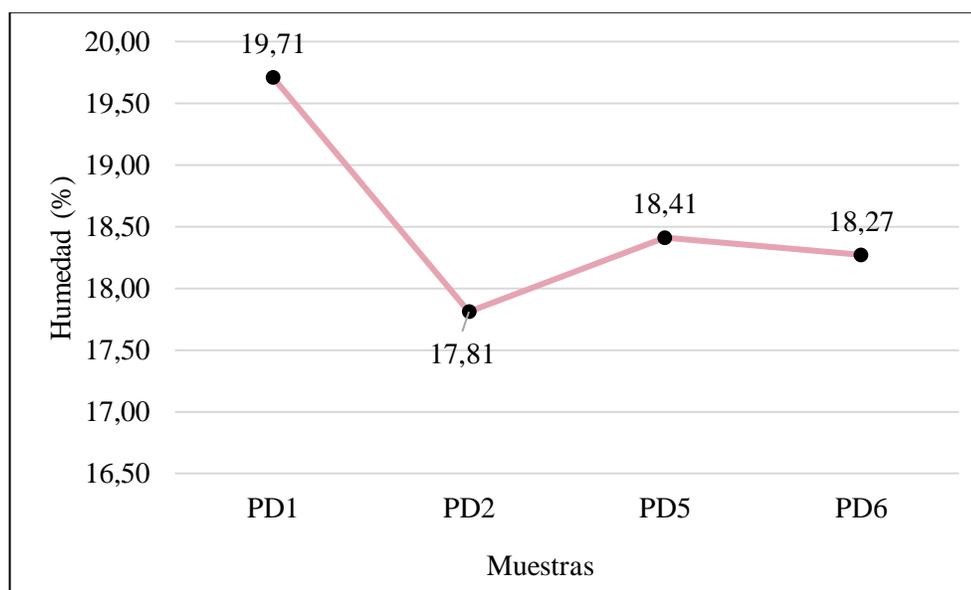
Tabla 4.24

Variación del contenido de humedad para el menor porcentaje de harina de amaranto

Control	Muestras			
	PD1	PD2	PD5	PD6
Humedad (%)	19,71	17,81	18,41	18,27

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.22, se muestran los resultados del contenido de humedad en base seca de las muestras realizadas en base a la tabla 4.24.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.22: Control del contenido de humedad para el menor porcentaje de harina de amaranto

Según la figura 4.22, se puede observar que la muestra PD1 (19,71) %, presenta mayor contenido de humedad, por contener menor porcentaje de harina de amaranto, harina integral de trigo y levadura, en comparación de las PD5 y PD6 que el contenido de humedad oscila ente (18,27 -18,41) %. Sin embargo, en la muestra PD2 presenta menor contenido de humedad (17,81) % por contener mayor porcentaje de harina integral, menor contenido de harina de amaranto y levadura. Pudiendo observar que el menor porcentaje de harina de amaranto influye en el contenido de humedad.

4.4.3.2 Control del pH para muestras con menor porcentaje de harina de amaranto

En la tabla 4.25, se muestran los resultados obtenidos del pH, para muestras con menor porcentaje de harina de amaranto (Anexo E.8), utilizando la técnica detallada en el (Anexo D.1).

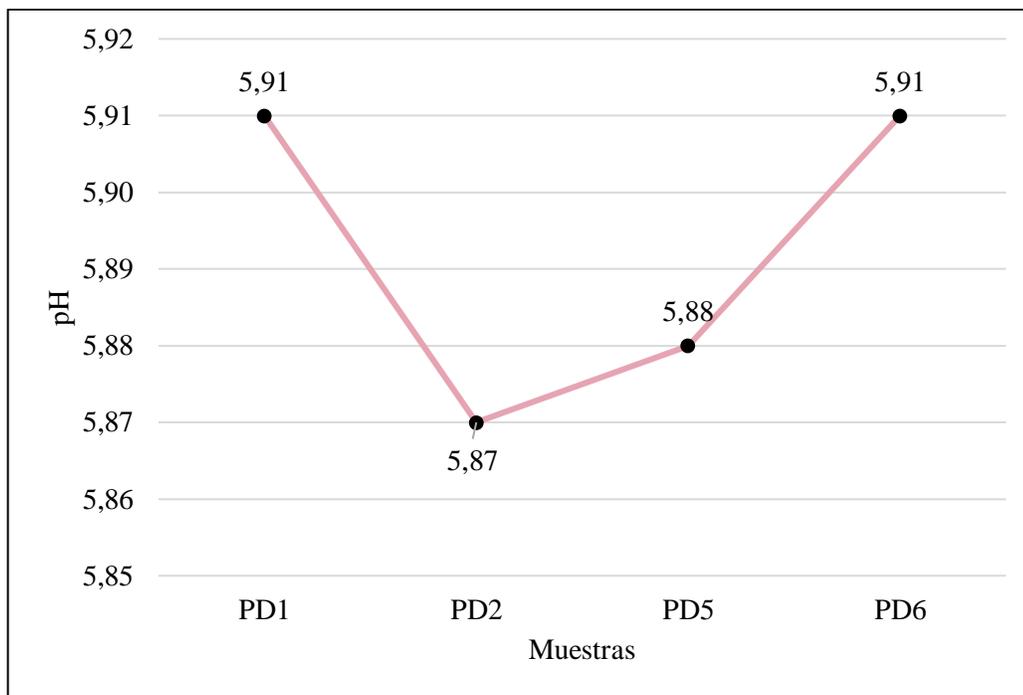
Tabla 4.25

Variación del pH para el menor porcentaje de harina de amaranto

Control	Muestras			
	PD1	PD2	PD5	PD6
pH	5,91	5,87	5,88	5,91

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.23, se muestran los resultados del pH en base seca de las muestras realizadas en base a la tabla 4.25.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.23: Control de pH para el menor porcentaje de harina de amaranto

Según la figura 4.23, se puede observar que existe una fluctuación de pH entre los valores (5,87-5,91), donde la muestra PD1 y PD6 presenta mayor pH (5,91), por contener menor porcentaje de harina de amaranto, en comparación de las muestras PD2 (5,87) y PD5 (5,88) que presenta menor pH; debido al menor porcentaje de harina de amaranto, mayor porcentaje de harina integral y levadura. Pudiendo observar que el menor porcentaje de harina de amaranto influye en el pH.

4.4.3.3 Control del porcentaje de acidez (ácido láctico) para muestras con menor porcentaje de harina de amaranto

En siguiente la tabla 4.26 se muestran los resultados obtenidos del porcentaje de acidez (ácido láctico), para muestras con menor porcentaje de harina de amaranto (Anexo E.9), utilizando la técnica detallada en el (Anexo D.2).

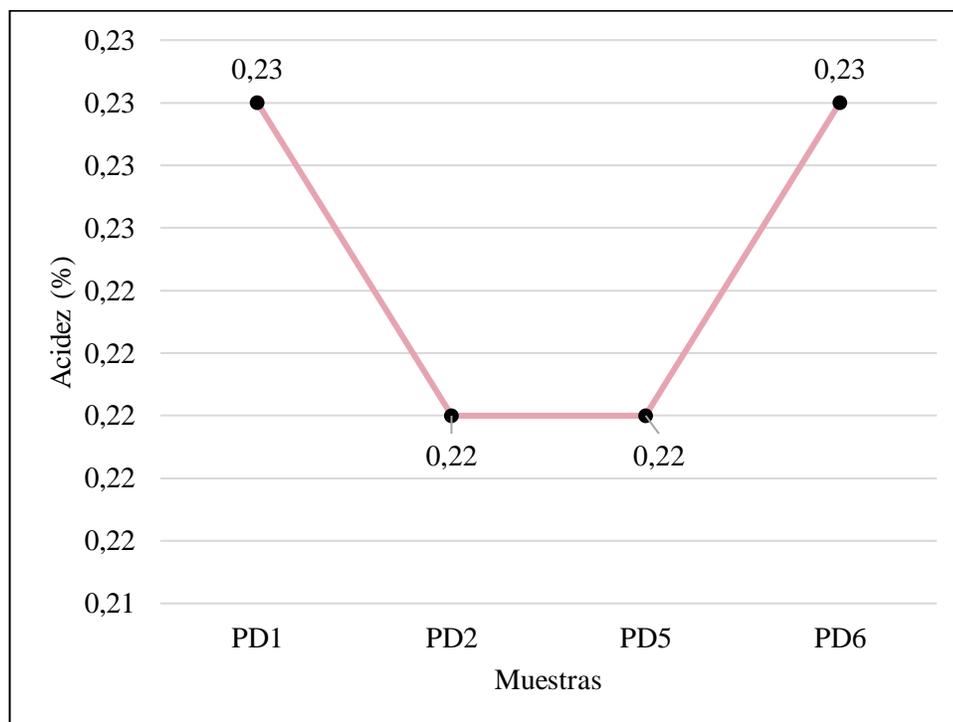
Tabla 4.26

Variación de acidez (ácido láctico) para el menor porcentaje de harina de amaranto

Control	Muestras			
	PD1	PD2	PD5	PD6
Acidez (%)	0,23	0,22	0,22	0,23

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.24, se muestran los resultados del porcentaje de acidez (ácido láctico), en base seca de las muestras realizadas en base a la tabla 4.26.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.24: Control de acidez (ácido láctico) para el menor porcentaje de harina de amaranto

Según la figura 4.24, se puede observar que existe una fluctuación de acidez entre los valores (0,23 - 0,22) %, donde las muestras PD1 y PD6 presenta mayor porcentaje de acidez (0,23) %, por contener menor porcentaje de harina de amaranto y harina integral de trigo en comparación de las muestras PD2 y PD5 que presenta menor porcentaje de acidez (0,22) %, por contener mayor porcentaje de harina integral de trigo y menor

contenido de harina de amaranto. Pudiendo observar que el menor porcentaje de harina de amaranto influye en la acidez (ácido láctico).

4.4.3.4 Control del contenido de humedad para muestras con mayor porcentaje de harina de amaranto

En la tabla 4.27, se muestran los resultados obtenidos del contenido de humedad para muestras con mayor porcentaje de harina de amaranto (Anexo E.10), utilizando el método de la termobalanza detallada en el (Anexo D.3).

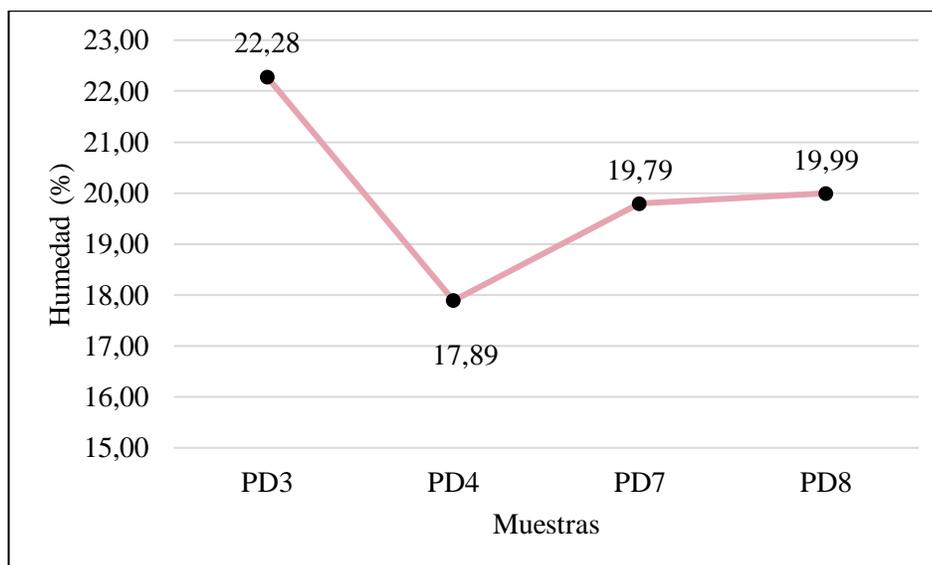
Tabla 4.27

Variación del contenido de humedad para el mayor porcentaje de harina de amaranto

Control	Muestras			
	PD3	PD4	PD7	PD8
Humedad (%)	22,28	17,89	19,79	19,99

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.25, se muestran los resultados del contenido de humedad en base seca de las muestras realizadas en base a la tabla 4.27.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.25: Control del contenido de humedad para el mayor porcentaje de harina de amaranto

Según la figura 4.25, se puede observar que la muestra PD3 presenta mayor contenido de humedad (22,28) %, por contener mayor porcentaje de harina de amaranto, menor porcentaje de harina integral de trigo y levadura, en comparación de las PD7 y PD8 que el contenido de humedad oscila ente (19,79 -19,99) %. Sin embargo, en la muestra PD4 presenta menor contenido de humedad (17,89) %, por contener mayor porcentaje de harina de amaranto y harina integral de trigo. Pudiendo observar que el mayor porcentaje de harina de amaranto influye en el contenido de humedad.

4.4.3.5 Control del pH para muestras con mayor porcentaje de harina de amaranto

En la tabla 4.28, se muestran los resultados obtenidos del pH para muestras con mayor porcentaje de harina de amaranto (Anexo E.11), utilizando la técnica detallada en el (Anexo D.1).

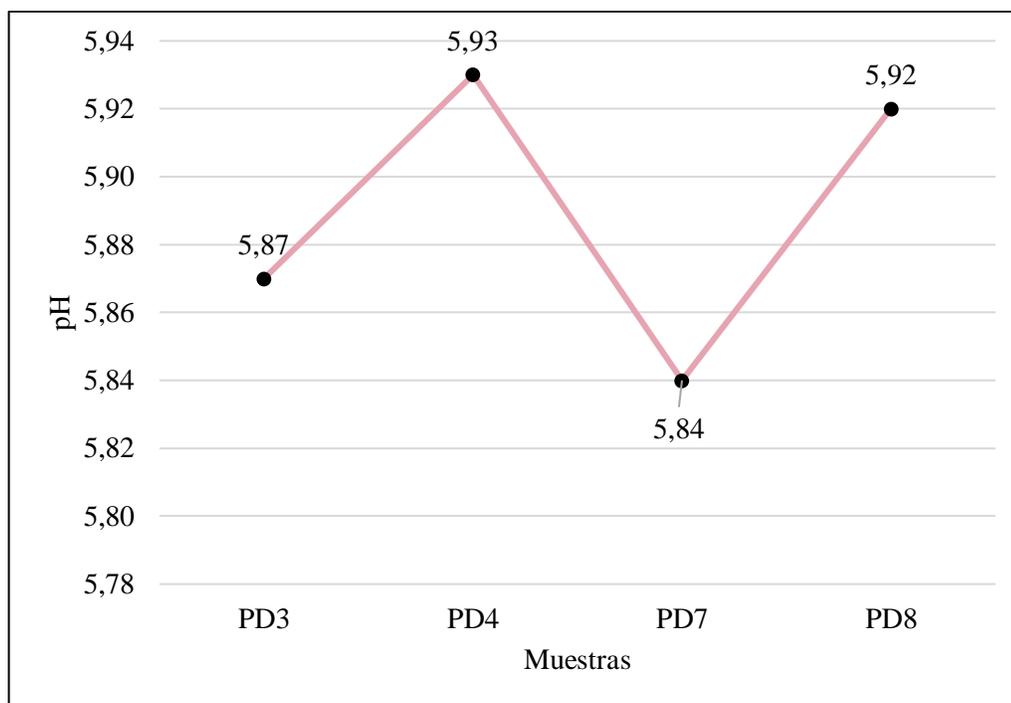
Tabla 4.28

Variación del pH para el mayor porcentaje de harina de amaranto

Control	Muestras			
	PD3	PD4	PD7	PD8
pH	5,87	5,93	5,84	5,92

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.26, se muestran los resultados del pH en base seca de las muestras realizadas en base a la tabla 4.28.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.26: Control del pH para el mayor porcentaje de harina de amaranto

Según la figura 4.26, se puede observar que existe una fluctuación del pH entre los valores (5,84-5,93), donde la muestra PD4 (5,93) y PD8 (5,92) presenta mayor pH, por contener mayor porcentaje de harina de amaranto y harina integral de trigo, en comparación de las muestras: PD3 (5,87) y PD7 (5,84) que presenta menor pH; debido al mayor porcentaje de harina de amaranto y menor porcentaje de harina de integral. Pudiendo observar que el mayor porcentaje de harina de amaranto influye en el pH.

4.4.3.6 Control del porcentaje de acidez (ácido láctico) para muestras con mayor porcentaje de harina de amaranto

En la tabla 4.29, se muestran los resultados obtenidos del porcentaje de acidez (ácido láctico) para muestras con mayor porcentaje de harina de amaranto (Anexo E.12), utilizando la técnica detallada en el (Anexo D.2).

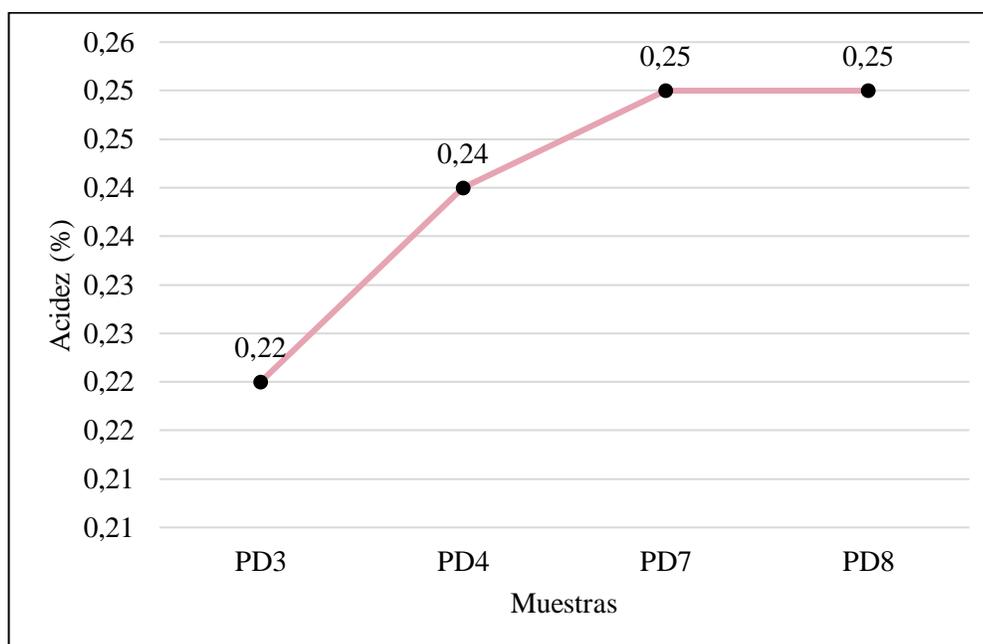
Tabla 4.29

Variación de acidez (ácido láctico) para el mayor porcentaje de harina de amaranto

Control	Muestras			
	PD3	PD4	PD7	PD8
Acidez (%)	0,22	0,24	0,25	0,25

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.27, se muestran los resultados del porcentaje de acidez (ácido láctico) en base seca de las muestras realizadas en base a la tabla 4.29.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.27: Control de acidez (ácido láctico) para el mayor porcentaje de harina de amaranto

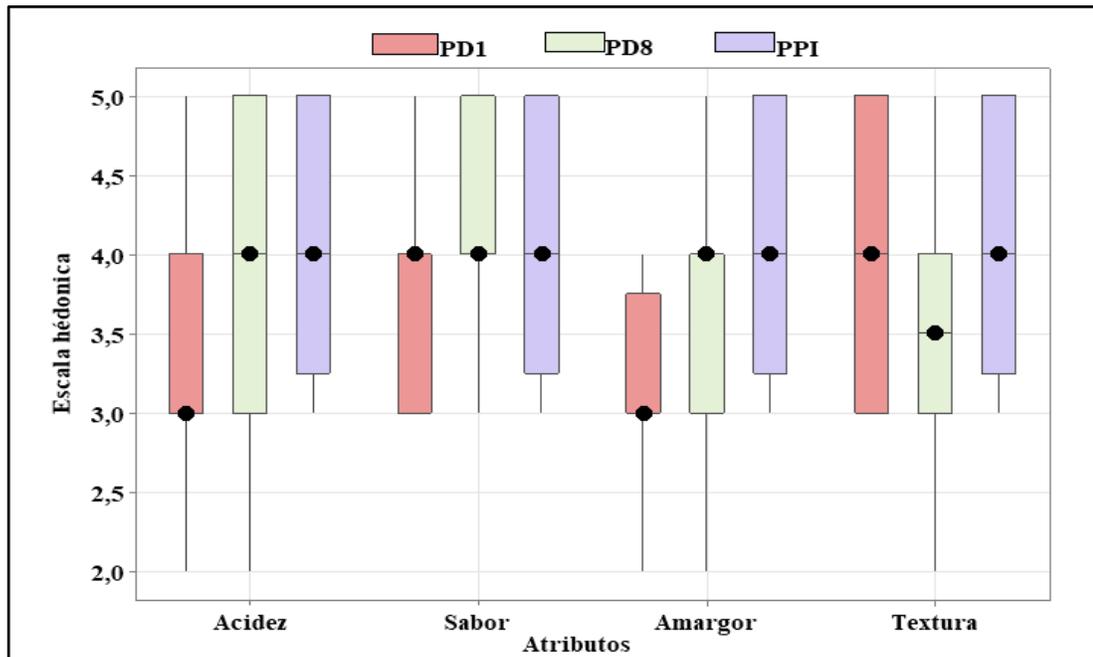
Según la figura 4.27, se puede observar un descenso de acidez (ácido láctico) entre los valores (0,25 - 0,22) %, donde las muestras PD7 y PD8 presenta mayor porcentaje de acidez (0,25) %, por contener mayor porcentaje de harina de amaranto y levadura en comparación de las muestras PD4 (0,24) % y PD3 (0,22) % que presenta menor porcentaje de acidez, por el mayor porcentaje de amaranto y menor contenido de levadura. Pudiendo observar que el menor porcentaje de harina de amaranto influye en la acidez (ácido láctico).

4.5 Comparación estadístico del porcentaje de harina de amaranto y la muestra ideal

Para la comparación de las muestras: PPI (ideal), PD1 (menor porcentaje de harina de amaranto) y PD8 (mayor porcentaje de harina de amaranto) se procedió a realizar una evaluación sensorial con veinte jueces no entrenados; posteriormente se realizó el control del contenido de humedad, acidez y pH, con el fin de conocer los valores de estos parámetros y corroborar la evaluación sensorial realizada por los veinte jueces no entrenados.

4.5.1 Estadístico caja y bigote del porcentaje de harina de amaranto y la muestra ideal

En la figura 4.28, se muestra los resultados del estadístico de caja y bigote de datos extraídos del Anexo C, para los atributos: acidez (tabla C.47), sabor (tabla C.49), amargor (tabla C.51) y textura (tabla C.53).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.28: Comparación estadístico caja y bigote de las muestras del porcentaje de harina de amaranto y la muestra ideal.

En la figura 4.28, se puede observar que los resultados de las medianas en función de los atributos de las muestras evaluadas: acidez 4,0 (PD8 y PPI); sabor 4,0 (PD8 Y PPI); amargor 4,0 (PPI) y textura 4,0 (PPI). Así mismo, realizado el análisis estadístico de varianza existe diferencia significativa entre los atributos de las muestras evaluadas para un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

4.5.2 Control del contenido de humedad, pH y acidez del porcentaje de harina de amaranto y la muestra ideal

En el diseño experimental de dosificación, se realizó el control de los parámetros de humedad, pH y acidez para las muestras de menor, mayor porcentaje de harina de amaranto y la muestra ideal de pan pita. Con el fin de obtener una muestra que sea factible en base de los parámetros tomados en cuenta.

4.5.2.1 Control del contenido de humedad para las muestras del porcentaje de harina de amaranto y la muestra ideal

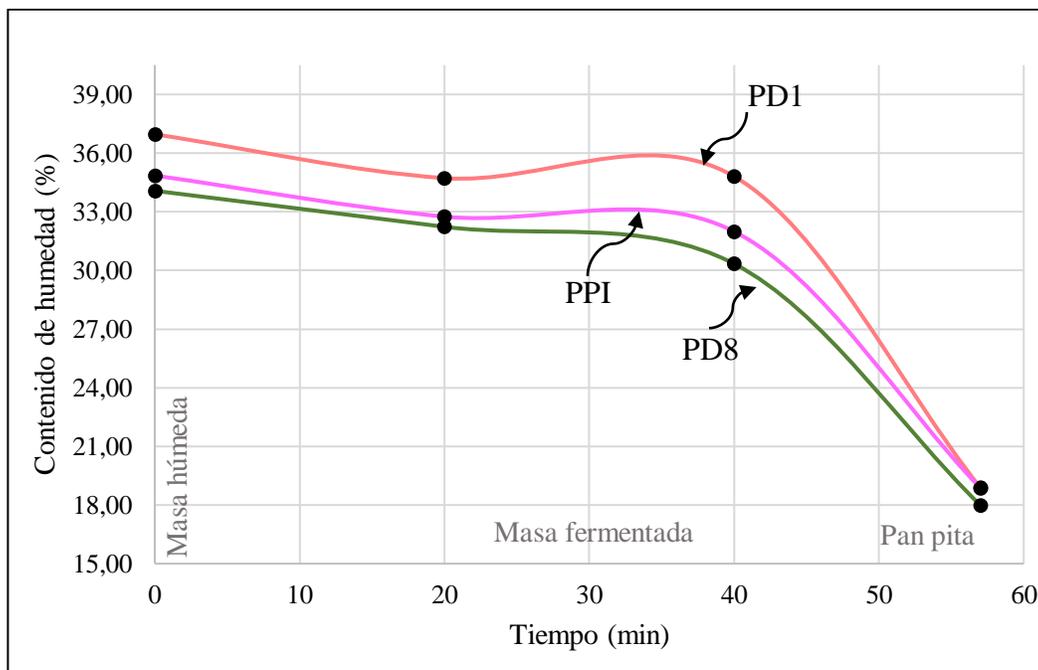
En la tabla 4.30, se muestran los resultados obtenidos del contenido de humedad para las muestras del porcentaje de harina de amaranto (PD1, PD8) y la muestra ideal (PPI) de pan pita (Anexo E.13), utilizando el método de la termobalanza detallada en el (Anexo D.2).

Tabla 4.30
Variación del contenido de humedad del porcentaje de harina de amaranto y la muestra ideal

Parámetros de control	Tiempo (min)	Muestras		
		PD1 (%)	PD8 (%)	PPI (%)
Masa húmeda	0	36,96	34,07	34,85
Masa fermentada 1	20	34,72	32,23	32,75
Masa fermentada 2	40	32,81	30,34	31,99
Pan pita	57	18,89	17,99	18,87

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.29, se muestran los resultados del contenido de humedad en masa húmeda, masa fermentada y pan pita de las muestras realizadas en base a la tabla 4.30.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.29: Control del contenido de humedad del porcentaje de harina de amaranto y la muestra ideal

Según la figura 4,29 se puede observar que la masa húmeda en la muestra PD1 (36,96), presenta mayor contenido de humedad, en comparación de las muestras PPI (34,85) y PD8 (34,07), que presentan menor contenido de humedad. Transcurrido 20 min de tiempo de la fermentación 1, las muestras presentan un descenso de su contenido de humedad PD1 (34,72), PPI (32,75) y PD8 (32,23). Pasando los 40 min del tiempo de fermentación 2 de la masa húmeda, la muestra PD1 (34,81), presenta un ascenso leve en su contenido de humedad, en comparación de las muestras PPI (31,99) y PD8 (30,34), presentan un descenso en su contenido de humedad. Finalmente, en el proceso de cocción del pan pita las muestras PD1 (18,98), PPI (18,87) y PD8 (17,99), presentan un mayor descenso en su contenido de humedad. Gráficamente observando se puede apreciar que el porcentaje de harina de amaranto influye levemente en el contenido de humedad, ya que el mayor porcentaje de harina de amaranto presenta menor contenido de humedad y el menor porcentaje de harina de amaranto presenta mayor contenido de humedad.

4.5.2.2 Control del pH para las muestras del porcentaje de harina de amaranto y la muestra ideal

En la tabla 4.31, se muestran los resultados obtenidos del pH para las muestras del porcentaje de harina de amaranto (PD1, PD8) y la muestra ideal (PPI) de pan pita (Anexo E.14), utilizando la técnica detallada en el (Anexo D.1).

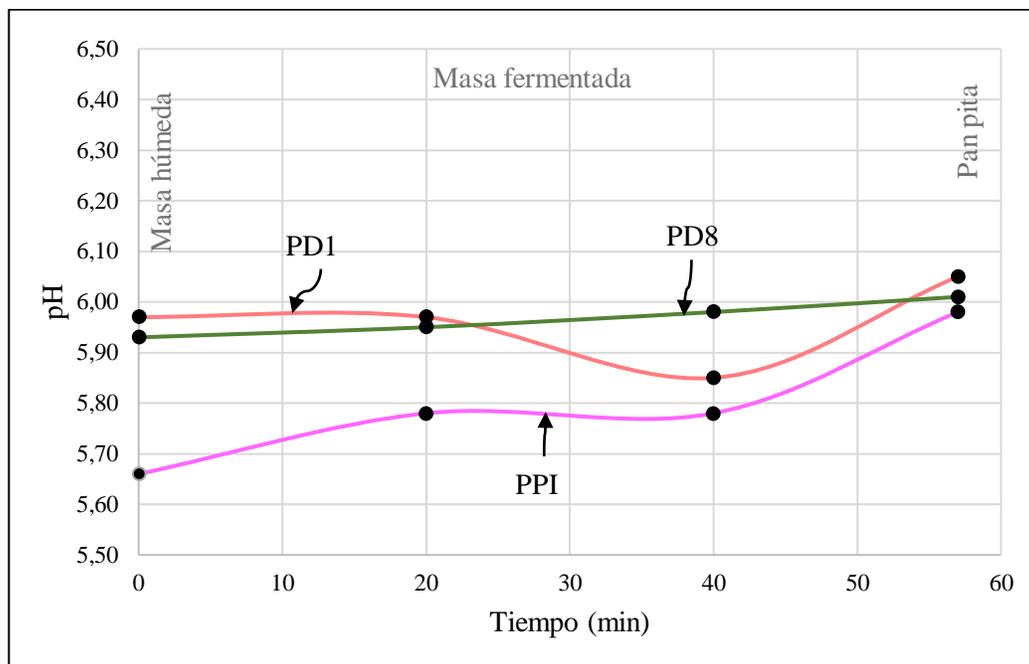
Tabla 4.31

Variación del pH del porcentaje de harina de amaranto y la muestra ideal

Parámetros de control	Tiempo (min)	Muestras		
		PD1	PD8	PPI
Masa húmeda	0	5,97	5,93	5,66
Masa fermentada 1	20	5,97	5,95	5,78
Masa fermentada 2	40	5,85	5,98	5,78
Pan pita	57	6,05	6,01	5,98

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.30, se muestran los resultados del pH en masa húmeda, masa fermentada y pan pita de las muestras realizadas en base a la tabla 4.31.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.30: Control del pH del porcentaje de harina de amaranto y la muestra ideal

Según la figura 4,30 se puede observar que la masa húmeda en la muestra PD1 (5,97), presenta mayor pH, en comparación de las muestras PD8 (5,93) y PPI (5,66), que presentan menor pH. Transcurrido 20 min de tiempo de la fermentación 1, las muestras PD8 (5,95) y PPI (5,78), presentan un leve ascenso de pH en comparación de la muestra PD1 (5,97) que se mantuvo constante. Pasando los 40 min del tiempo de fermentación 2 de la masa húmeda, la muestra PD8 (5,98), presenta un ascenso leve de pH, en comparación de las muestras PD1 (5,85), presentan un descenso en su pH y la PPI (5,78) se mantuvo constante. Finalmente, en el proceso de cocción del pan pita las muestras PD1 (6,05), PD8 (6,01) y PD8 (5,98), presentan un mayor ascenso en su pH. Gráficamente observando se puede apreciar que el porcentaje de harina de amaranto influye levemente en el pH, ya que existe una fluctuación en la masa húmeda, masa fermentada y pan pita.

4.5.2.3 Control del porcentaje de acidez (ácido láctico) de las muestras del porcentaje de harina de amaranto y la muestra ideal

En la tabla 4.32, se muestran los resultados obtenidos del porcentaje de acidez (ácido láctico) (PPI), para las muestras del porcentaje de harina de amaranto (PD1, PD8) y la muestra ideal (PPI) de pan pita (AnexoE.15), utilizando la técnica detallada en el (Anexo D.2).

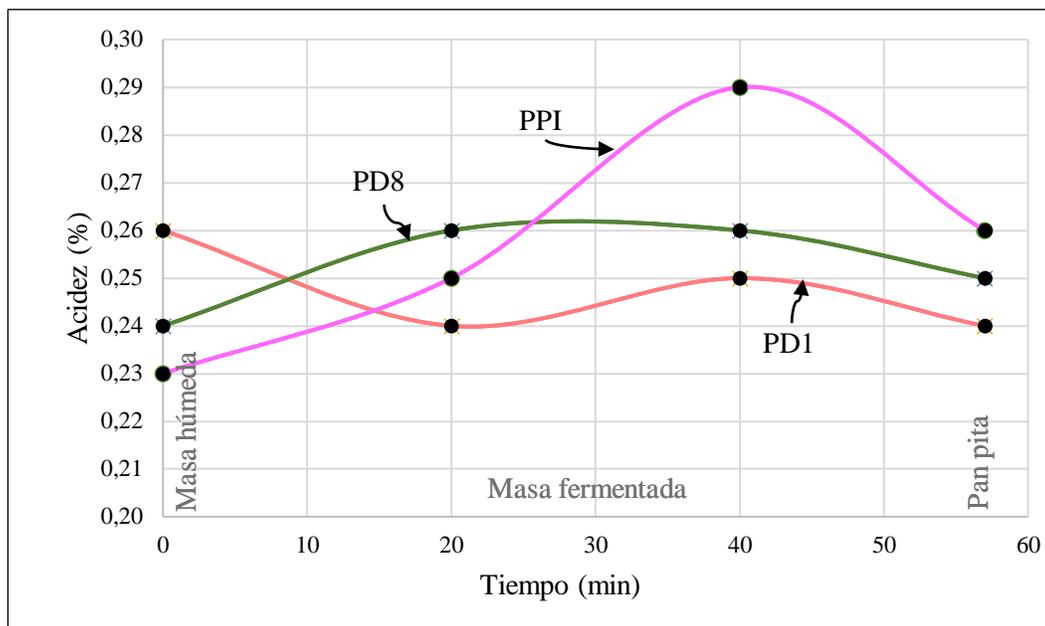
Tabla 4.32

Variación de acidez (ácido láctico) del porcentaje de harina de amaranto y la muestra ideal

Parámetros de control	Tiempo (min)	Muestras		
		PD1 (%)	PD8 (%)	PPI (%)
Masa húmeda	0	0,26	0,24	0,23
Masa fermentada 1	20	0,24	0,26	0,25
Masa fermentada 2	40	0,25	0,26	0,29
Pan pita	57	0,24	0,25	0,26

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.31, se muestran los resultados del porcentaje de acidez (ácido láctico) en masa húmeda, masa fermentada y pan pita de las muestras realizadas en base a la tabla 4.32.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.31: Control del porcentaje de acidez (ácido láctico) del porcentaje de harina de amaranto y la muestra ideal

Según la figura 4,31 se puede observar que la masa húmeda en la muestra PD1 (0,26), presenta mayor contenido de acidez (ácido láctico), en comparación de las muestras PD8 (0,24) y PPI (0,23), que presentan menor contenido de acidez (ácido láctico). Transcurrido 20 min de tiempo de la fermentación 1, las muestras PD8 (0,26) y PPI (0,25), presentan un leve ascenso de su contenido de acidez (ácido láctico), en comparación de la muestra PD1 (0,24), que presenta un descenso en su contenido de acidez. Pasando los 40 min del tiempo de fermentación 2 de la masa húmeda, la muestra PPI (0,29) y PD1 (0,25), presenta un ascenso leve en su contenido de acidez, en comparación de las muestras PD8 (0,26), manteniéndose constante en su contenido de acidez (ácido láctico). Finalmente, en el proceso de cocción del pan pita las muestras PPI (0,26), PD8 (0,25) y PD1 (0,24), presentan un descenso en su contenido de acidez (ácido láctico). Gráficamente observando se puede apreciar que el porcentaje de harina de amaranto influye levemente en el porcentaje de acidez (ácido láctico), ya que existe una fluctuación en la masa húmeda, masa fermentada y pan pita.

4.6 Diseño factorial 2² en la etapa de cocción para la elaboración de pan pita

Para aplicar el diseño experimental, se tomaron en cuenta como variables independientes; tiempo de cocción (A) entre un rango (6-7) minutos y temperatura de cocción (B) entre (205-215) °C y como variable respuesta el contenido de humedad final, para lo cual, se utilizó el método de la termobalanza, metodología que se expresa en el Anexo D. Así mismo, el diseño experimental se aplicó en la muestra (PPI) formulada en base a la tabla 4.33.

Tabla 4.33

Formulación porcentual de la muestra para diseño experimental

Materias primas/ insumos alimentarios	Porcentaje (%)
Harina integral de trigo	45,80
Harina de amaranto	14,00
Levadura	1,80
Agua	34,00

Fuente: Elaboración propia

En base al diseño experimental en la etapa de cocción, se realizó el análisis estadístico de la variable respuesta contenido de humedad final (tabla 4,34), en el programa estadístico Statgraphics (Centurión XVI.I) para Windows y los resultados obtenidos se detallan en el (Anexo E.16).

Tabla 4.34

Análisis de varianza de la variable respuesta contenido de humedad final

Fuente de varianza (FV)	Suma de Cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrado Medio (MC)	Fcal	Ftab
Factor A	11,5200	1	11,52000	73,83*	7,71
Factor B	55,8624	1	55,86240	358,04*	7,71
Interacción AB	0,68445	1	0,684450	4,39	7,71
Error	0,62410	4	0,156025	-	-
Total	68,6910	7		-	-

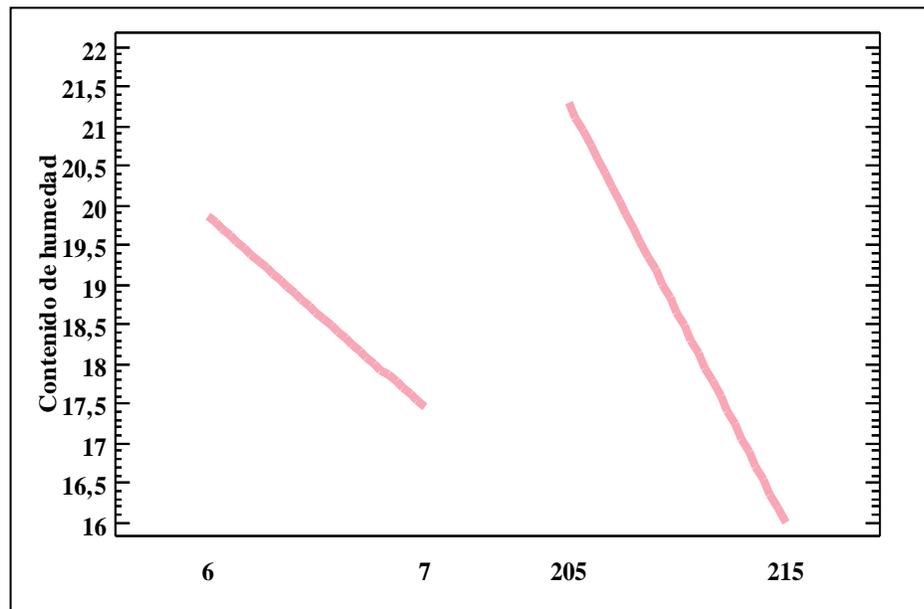
Fuente: Elaboración propia

(*) Significativo

Según el análisis de varianza (tabla 4.34), se puede observar que para los factores A (tiempo) y factor B (temperatura) existe diferencia significativa; ya que $F_{cal} > F_{tab}$, por

tanto, se rechaza la hipótesis planteada. Sin embargo, para la interacción de los factores AB (tiempo-temperatura), no existe diferencia significativa; ya que $F_{cal} < F_{tab}$, por tanto, se acepta la hipótesis planteada para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$, y los factores A y B son significativos en la etapa de cocción.

En la figura 4.32, se muestran los efectos principales para los factores; A (tiempo), B (temperatura) con relación a la variable respuesta contenido de humedad final.

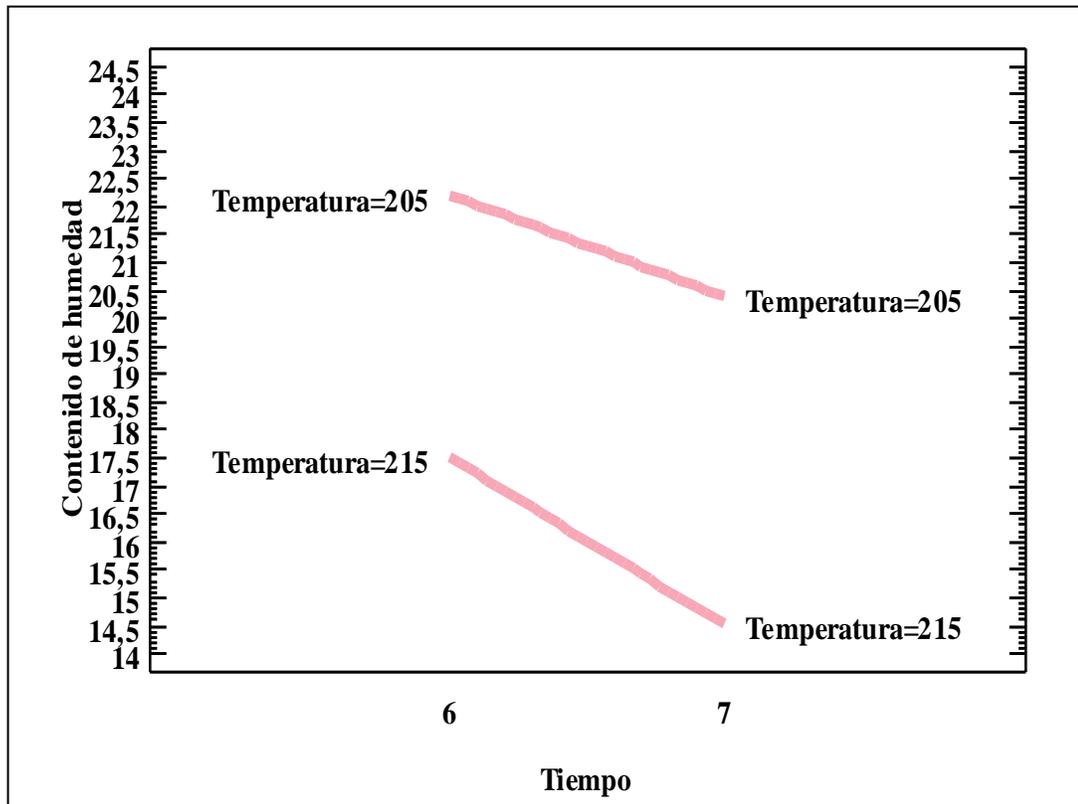


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.32 Efectos principales para contenido de humedad

Según la figura 4.32, se puede observar que el factor B (temperatura), influye significativamente sobre la variable respuesta contenido de humedad para un rango de (205-215) °C, por tanto, a nivel alto de factor B el contenido de humedad reduce en el pan pita; mientras que, el factor A (tiempo), influye levemente sobre el contenido de humedad final, ya que la variación de humedad en función del nivel alto y bajo para este factor se encuentra entre los rangos de (17,50 – 20,00) %.

En la figura 4.33, se muestra la interacción de los factores; A (tiempo), B (temperatura) en función de la variable respuesta contenido de humedad final.

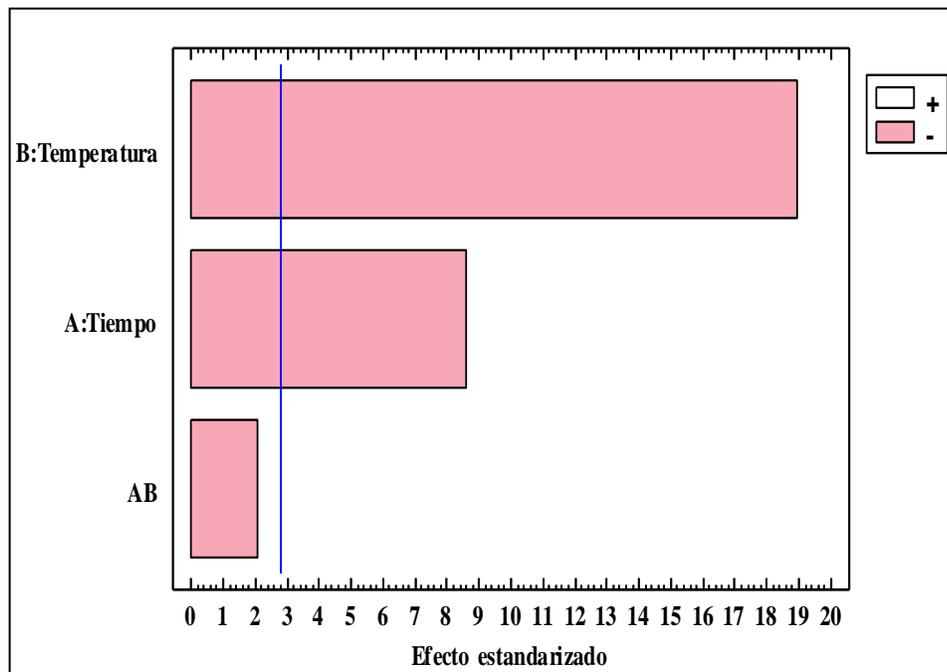


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.33. Interacción de factores para contenido de humedad

Según la figura 4.33, se puede observar que el contenido de humedad para un rango de tiempo entre (6 - 7) minutos para el nivel alto de factor B (temperatura), la humedad del pan pita oscila entre (14,00 – 17,80) %, mientras que para el nivel bajo el valor de humedad aumenta entre (20,50 - 22,50) %.

En la figura 4.34, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en el diseño factorial. Para tal efecto, el nivel de significancia de los factores e interacciones se determina con la línea vertical de referencia (2,80), de tal manera si exceden la línea de referencia indican que son significativos para un nivel de significancia a $\alpha = 0,05$.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.34. Diagrama de Pareto estandarizado para contenido de humedad

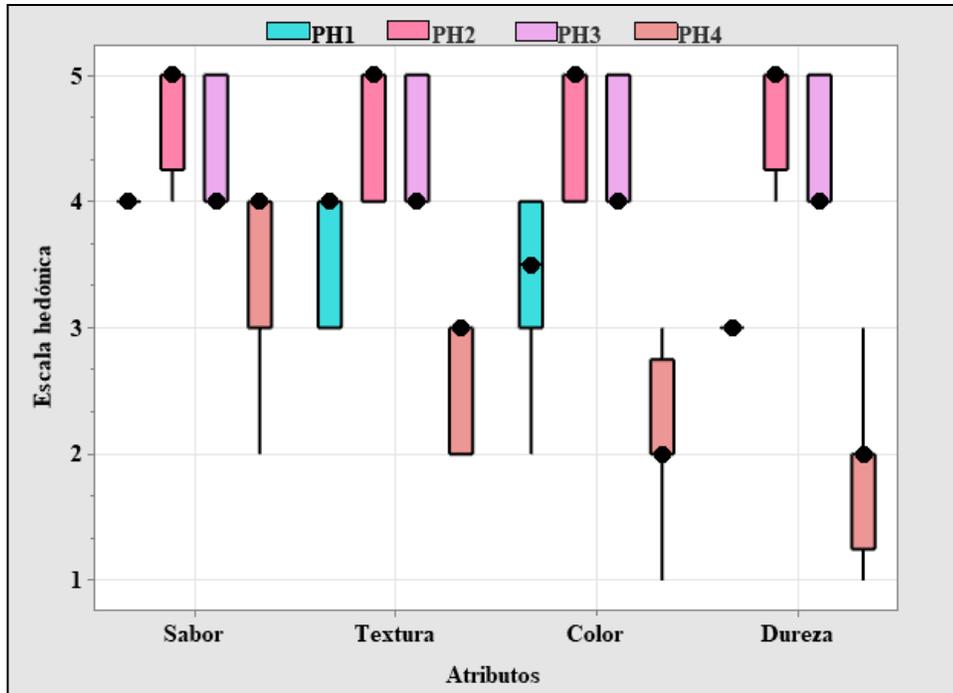
Según la figura 4.34, se puede observar que los factores B (temperatura) y A (tiempo) excede la línea de referencia; por tanto, es estadísticamente significativo en la etapa de cocción; en comparación de la interacción AB (tiempo-temperatura) que no exceden la línea de referencia, por tanto, no es estadísticamente significativo para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.7 Evaluación sensorial de pan pita con harina integral y amaranto para obtener el producto final

Para la obtención del producto final, se procedió a realizar una evaluación sensorial de las muestras PH1, PH2, PH3 y PH4 con veinte jueces no entrenados; posteriormente se realizó el control del contenido de humedad en la masa inicial, masa fermentada y pan pita, con el fin de conocer este parámetro y corroborar que el tiempo de cocción influye en el contenido de humedad del pan pita.

4.7.1 Estadístico caja y bigote para la selección de la muestra final de pan pita con harina integral y amaranto

En la figura 4.35, se muestra los resultados del estadístico de caja y bigote de datos extraídos del Anexo C, para los atributos: sabor (tabla C.55), textura (tabla C.56), color (tabla C.57) y dureza (tabla C.58).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.35: Caja y bigote para la selección de la muestra final de pan pita con harina integral y amaranto

En la figura 4.35, se puede observar que los resultados de las medianas en función de los atributos de las muestras evaluadas: sabor 5,0 (PH2); textura 5,0 (PH2); color (PH2) y dureza 5,0 (PH2). Así mismo, realizado el análisis estadístico de varianza existe diferencia significativa entre los atributos de las muestras evaluadas para un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

4.7.2 Control de contenido de humedad en el tiempo para la elaboración de pan pita con harina integral y amaranto

En la tabla 4.35, se muestran los resultados obtenidos de contenido de humedad de las muestras en el tiempo (Anexo E.17), utilizando el método de la termobalanza detallada en el (Anexo D.3).

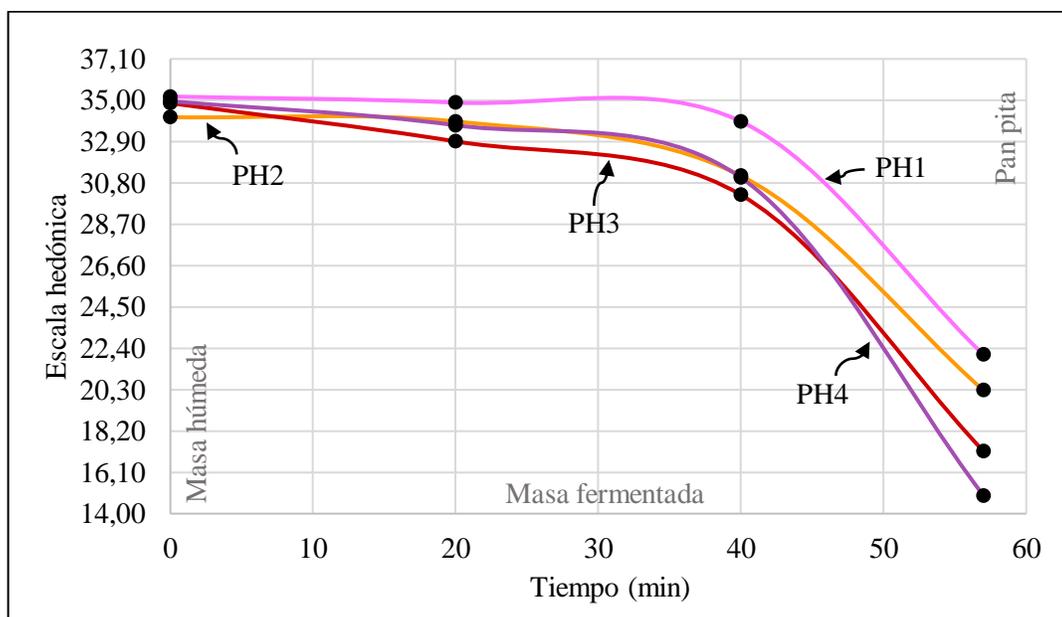
Tabla 4.35

Variación del contenido de humedad en el tiempo de la elaboración de pan pita

Parámetros de control	Tiempo (min)	Muestras			
		PH1 (%)	PH2 (%)	PH3 (%)	PH4(%)
Masa húmeda	0	35,19	34,14	34,85	34,95
Masa fermentada 1	20	34,88	33,92	32,91	33,73
Masa fermentada 2	40	33,92	31,16	30,19	31,07
Pan pita	57	22,07	20,26	17,17	14,92

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.36, se muestran los resultados del contenido de humedad en masa húmeda, masa fermentada y pan pita de las muestras realizadas en base a la tabla 4.35.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.36: Control del contenido de humedad en el tiempo de la elaboración de pan pita

Según la figura 4,36 se puede observar que la masa húmeda en la muestra PH1 (35,19) presenta mayor contenido de humedad, en comparación de las muestras PH4 (34,95), PH3 (34,85) y PH2 (34,14) que presentan menor contenido de humedad. Transcurrido 20 min de tiempo de la fermentación 1, las muestras presentan un descenso de su contenido de humedad PH1 (34,88), PH2 (33,92), PH4 (33,73) y PH3 (32,91). Pasando los 40 min del tiempo de fermentación 2 de la masa húmeda, las muestras presentan un descenso leve de en su contenido de humedad PH1 (33,92), PH2 (31,16), PH4 (31,07) y PH3 (30,19). Finalmente, en el proceso de cocción del pan pita las muestras PH1 (22,07), PH2 (20,26), PH3 (17,17) y PH4 (14,92) presentan un mayor descenso en su contenido de humedad.

De acuerdo al análisis estadístico realizado en la etapa de cocción, se puede evidenciar que los factores A (tiempo) y B (temperatura) inciden de manera significativa en el contenido de humedad de las muestras, obteniéndose el tiempo y temperatura óptima para la cocción del pan pita. De acuerdo al análisis estadístico de caja y bigote, en función de su mediana se tomó en cuenta la muestra experimental PH2 como muestra final.

4.8 Caracterización del producto terminado pan pita con harina integral de trigo y amaranto

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

4.8.1 Análisis fisicoquímico del pan pita con harina integral de trigo y harina de amaranto

En la tabla 4.36, se detallan los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del pan pita con harina integral de trigo y amaranto de datos extraídos (Anexo A).

Tabla 4.36**Análisis fisicoquímico del pan pita con harina integral de trigo y amaranto**

Parámetros	Unidad	Resultado
Calcio	mg/100 g	44,20
Ceniza	g/100 g	2,35
Fibra	g/100 g	1,29
Fósforo	mg/100 g	93,00
Gluten en seco	g/100 g	n.d.
Grasa	g/100 g	5,05
Hierro	mg/100 g	4,00
Hidratos de carbono	g/100 g	60,89
Humedad	g/100 g	20,83
Proteína total (Nx6,25)	g/100 g	10,88
Valor energético	Kcal/100 g	333,00

Fuente: CEANID, 2024

En la tabla 4.36, se puede observar los resultados del análisis fisicoquímico del pan pita con harina integral de trigo y amaranto presenta: Calcio 44,20 mg/100 g, Ceniza 2,35 %, Fibra 1,29 %, Fósforo 93,00 mg/100 g, Gluten en seco nada detectado, Grasa 5,05 %, Hierro 4,00mg/100 g, Hidratos de carbono 60,89 %, Humedad 20,83 %, Proteína total (Nx6, 25) 10,88 %, y Valor energético 333,00 Kcal/100 g.

4.8.2 Análisis microbiológico del pan pita con harina integral de trigo y harina de amaranto

En la tabla 4.37 se detallan los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del pan pita con harina integral de trigo y amaranto de datos extraídos (Anexo A).

Tabla 4.37**Análisis microbiológico del pan pita con harina integral de trigo y amaranto**

Microorganismos	Unidad	Resultado
Bacterias aerobias mesófilos	UFC/g	$8,0 \times 10^2$
Mohos y levaduras	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$

Fuente: CEANID, 2024

En la tabla 4.37, se observa los resultados del análisis microbiológico del pan pita con harina integral de trigo y amaranto presenta: Bacterias aerobias mesófilos $8,0 \times 10^2$ UFC/g, Mohos y levaduras $<1,0 \times 10^1$ UFC/g.

4.9 Control de pH, acidez y contenido de humedad en pan pita con harina integral de trigo y amaranto durante el almacenamiento

Para llevar a cabo el control de pH, acidez (ácido láctico) y contenido de humedad durante el almacenamiento, en base a la muestra final de pan pita con harina integral de trigo y amaranto (PH2) se elaboraron dos muestras con la misma formulación; (PH2S) sin conservante envasado en bolsa de polietileno y (PH2C) con conservante (propionato de calcio) envasado en bolsa de polipropileno, para lo cual, se realizó el control cada dos días de las muestras exceptuando fines de semana.

Para la obtención de los valores de pH, acidez y contenido de humedad del pan pita con harina integral de trigo y amaranto durante el control de almacenamiento en 12 días las muestras PH2S (sin conservante) y PH2C (con conservante) no presentaron formación de colonias de mohos debido a su contenido de humedad ya que dicho factor disminuye la actividad microbiana y a las condiciones atmosféricas. Por lo tanto, se determinó finaliza el control de almacenamiento del pan pita

4.9.1 Control de contenido de humedad en el pan pita durante el almacenamiento

En la tabla 4.38, se muestran los resultados obtenidos de la variación de contenido de humedad (%) del pan pita sin conservante (PH2S) y con conservante (PH2C); en función del tiempo de almacenamiento de datos extraídos del Anexo D.

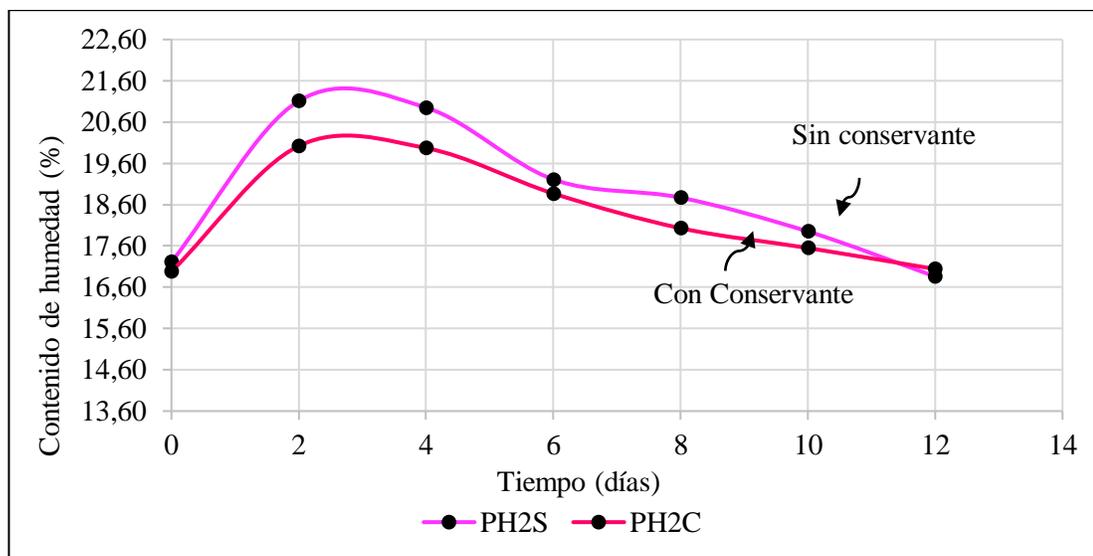
Tabla 4.38

Variación de contenido de humedad del pan pita en el almacenamiento

Tiempo (días)	Humedad (%)	
	PH2S	PH2C
0	17,21	16,97
2	21,11	20,02
4	20,95	19,97
6	19,21	18,87
8	18,77	18,03
10	17,95	17,55
12	16,86	17,04

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.37, se muestra el control de contenido de humedad en el pan pita durante el almacenamiento en base a la tabla 4.38.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.37. Control del contenido de humedad en pan pita durante el almacenamiento

Según la figura 4.37, las muestras PH2S y PH2C en (0,0) días; el contenido de humedad inicial es de 17,21 % (PH2S) y 16,97 % (PH2C), para el segundo día ambas muestras presentan ascenso en contenido de humedad entre los (16 - 22) %, sin embargo, a partir del sexto día se nota un leve descenso en ambas muestras en el contenido de humedad.

De acuerdo al control de contenido de humedad en el pan pita durante el almacenamiento, se puede evidenciar que las muestras inician con un contenido de humedad de 17,21 % (PH2S) y 16,97% (PH2C); al transcurrir los doce días de almacenamiento las muestras presentan: 16,86% (PH2S) disminuyendo el contenido de humedad y 17,04 % (PH2C) aumentando levemente su contenido de humedad. Por tanto, tomando en cuenta los datos de humedad la adición de conservante (propionato de calcio) no afecta en contenido de humedad del pan pita.

4.9.2 Control de (pH) en el pan pita durante el almacenamiento

En la tabla 4.39, se muestran los resultados obtenidos de la variación del pH del pan pita sin conservante (PH2S) y con conservante (PH2C); en función del tiempo de almacenamiento de datos extraídos del Anexo D.

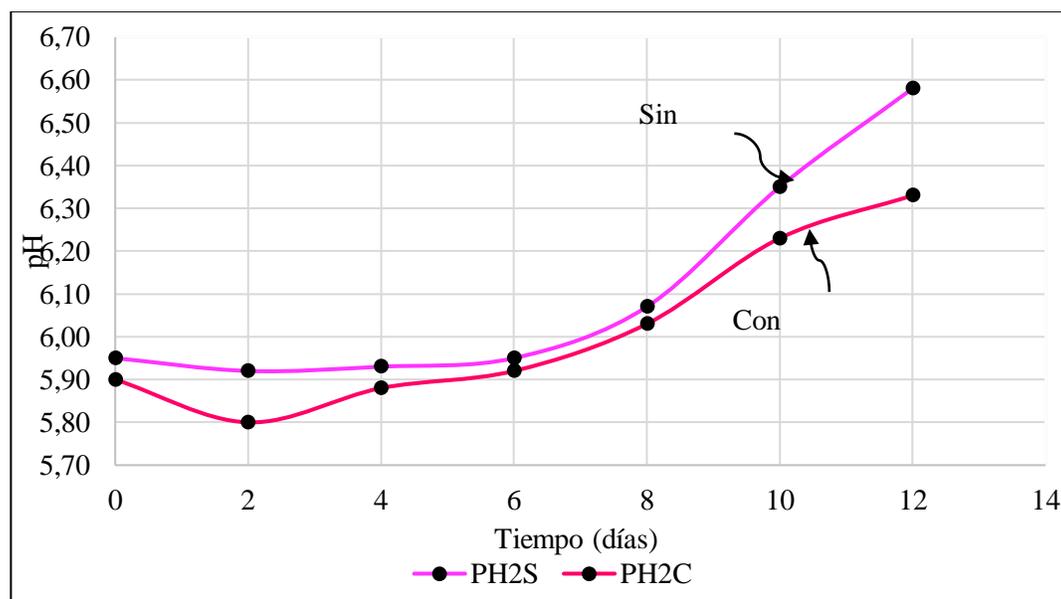
Tabla 4.39

Variación de (pH) en el pan pita durante el almacenamiento

Tiempo (días)	pH	
	PH2S	PH2C
0	5,95	5,90
2	5,92	5,80
3	5,93	5,88
6	5,95	5,92
8	6,07	6,03
10	6,35	6,23
12	6,58	6,33

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.38, se muestra el control de pH en el pan pita durante el almacenamiento en base a la tabla 4.39.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.38 Control de pH en pan pita durante el almacenamiento

Según la figura 4.38, las muestras PH2S y PH2C presentan para (0,0) días un pH inicial de 5,95 (PH2S) y 5,90 (PH2C), para el segundo día ambas muestras presentan descenso; sin embargo, a partir del sexto día se nota un leve ascenso en el pH entre los valores (5,90 -6,00) para ambas muestras.

De acuerdo al control de pH en el pan pita durante el almacenamiento, se puede evidenciar que las muestras inician con un pH inicial de 5,95 (PH2S) y 5,90 (PH2C), al transcurrir los doce días de almacenamiento las muestras presentan un aumento en el pH: 6,58 (PH2S) y 6,33 (PH2C). Por tanto, tomando en cuenta los datos del pH adición de conservante (propionato de calcio) no afecta en contenido de humedad del pan pita.

4.9.3 Control de porcentaje de acidez (ácido láctico) en el pan pita durante el almacenamiento

En la tabla 4.40, se muestran los resultados obtenidos de la variación de porcentaje de acidez del pan pita sin conservante (PH2S) y con conservante (PH2C); en función del tiempo de almacenamiento de datos extraídos del Anexo D.

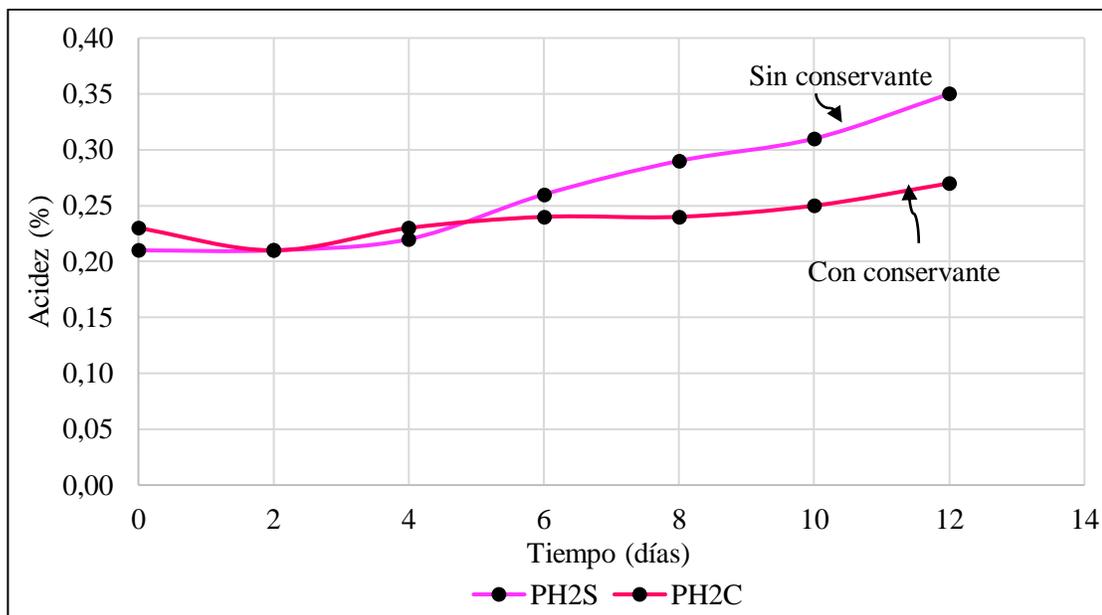
Tabla 4.40

Variación de acidez (ácido láctico) del pan pita en el almacenamiento

Tiempo (días)	Acidez (ácido láctico)	
	PH2S	PH2C
0	0,21	0,23
2	0,21	0,21
4	0,22	0,23
6	0,26	0,24
8	0,29	0,24
10	0,31	0,25
12	0,35	0,27

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.39, se muestra el control del porcentaje de acidez (ácido láctico) en el pan pita durante el almacenamiento en base a la tabla 4.40.



Fuente: Elaboración propia

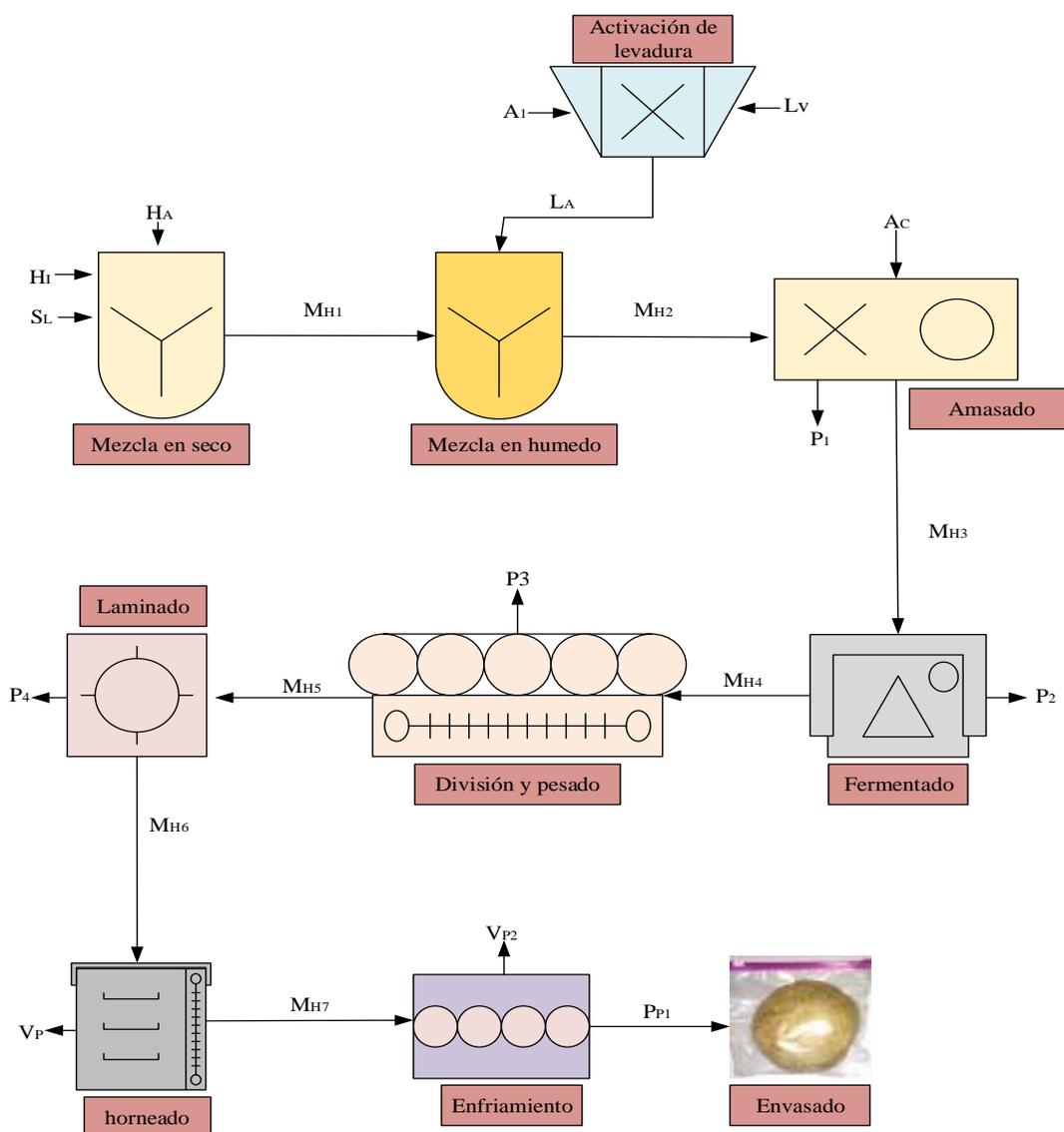
Figura 4.39. Control de porcentaje de acidez (ácido láctico) en pan pita durante el almacenamiento

Según la figura 4.39, las muestras PH2CS y PH2C presentan para (0,0) días acidez inicial de 0,21 % (PH2S) y 0,23 % (PH2C), para el segundo día la muestra PH2C muestra un leve descenso; mientras la muestra PH2S muestra constancia en el contenido de acidez; sin embargo, a partir del sexto día hay un aumento de acidez en ambas muestras (0,21 – 0,26) %.

De acuerdo al control de contenido de acidez en el pan pita durante el almacenamiento, se puede evidenciar que las muestras inician con un pH inician con un de 0,21% (PH2S) y 0,23% (PH2C), al transcurrir los doce días de almacenamiento las muestras presentan: 0,35% (PH2S) aumentando significativamente en su porcentaje de acidez y 0,27% (PH2C) aumentando levemente su porcentaje de acidez. Por tanto, tomando en cuenta los datos del porcentaje de acidez la adición de conservante (propionato de calcio) afecta levemente en el porcentaje de acidez en el pan pita.

4.10 Balance de materia en el proceso de elaboración de pan pita con harina integral y amaranto

En la figura 4.40, se muestra el balance de materia general para el proceso de elaboración de pan pita con harina integral de trigo y amaranto, para un cálculo en base de 1225,30 gramos de masa de panificación.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.40. Balance de materia general en el proceso de elaboración de pan pita con harina integral y amaranto.

Donde:

H_I = harina integral de trigo (g)

H_A = harina de amaranto (g)

P_c = Propionato de calcio (g)

A_C = aceite vegetal (g)

L_V = levadura (g)

A_L = agua (g)

S_L = sal

L_A = levadura activada (g)

M_{H1} = masa en seco (g)

M_{H2} = masa en húmedo (g)

P_1 = pérdida en la etapa de amasado (g)

M_{H3} = masa amasada (g)

P_2 = pérdida en la etapa de fermentado (g)

M_{H4} = masa fermentada (g)

P_3 = pérdida en la etapa de división y pesado (g)

M_{H5} : masa dividida y pesada (g)

P_4 = pérdida en la etapa de laminado (g)

M_{H6} = masa laminada (g)

M_{H7} = pan pita horneado (g)

V_{P1} = vapor de agua en la etapa de cocción (g)

V_{P2} = vapor de agua en la etapa de enfriamiento (g)

P_{P1} = pan pita enfriado

X^{SA1} = fracción sólida del agua para activación de levadura

X^{LA1} = fracción líquida del agua para activación de levadura

X^{SLV} : fracción sólida de la levadura

X^{LLV} : fracción líquida de la levadura

X^{SLVP1} : fracción sólida del vapor de agua en la cocción

X^{LVP1} = fracción líquida del vapor de agua en la cocción

X^{SMH6} = fracción sólida de la masa laminada

X^{LMH6} = fracción líquida de la masa laminada

X^{SMH7} = fracción sólida del pan pita horneado

X^{LMH7} = fracción líquida del pan pita horneado

X^{SLVP2} = fracción sólida del vapor de agua en el enfriamiento del pan pita

X^{LVP2} = fracción líquida del vapor de agua en el enfriamiento del pan pita

X^{SPI} = fracción sólida del pan pita

X^{LPI} = fracción líquida del pan pita

Q_{agua} = calor necesario para calentar el agua

m_{agua} = masa del agua

λ = landa de evaporización del agua

$C_{p_{\text{agua}}}$ = capacidad calórica del agua

ΔT = variación de la temperatura en el calentamiento del agua

Q_{olla} = calor necesario para calentar la olla

m_{olla} = masa de la olla

$C_{p \text{ olla}}$ = capacidad calórica de la olla

Q_T = Calor total necesario para llevar a cabo un proceso

ΣQ_i = suma de calores involucrados en el proceso

E = energía eléctrica

P = potencia

T = tiempo

V = volumen de aire

a = ancho del horno

b = base del horno

c = altura del horno

J = densidad del aire

m = masa del aire

v = volumen del aire

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

m_{aire} = masa del aire

$C_{p \text{ aire}}$ = capacidad calórica del aire

Q_{lata} = calor necesario para calentar la lata para pan pita

m_{lata} = masa de la lata para pan pita

$C_{p \text{ lata}}$ = calor específico de la lata

Q_{pan} = Calor necesario para la cocción de la masa de pan pita

m_{pan} = Masa del pan pita

λ = landa de evaporización del agua

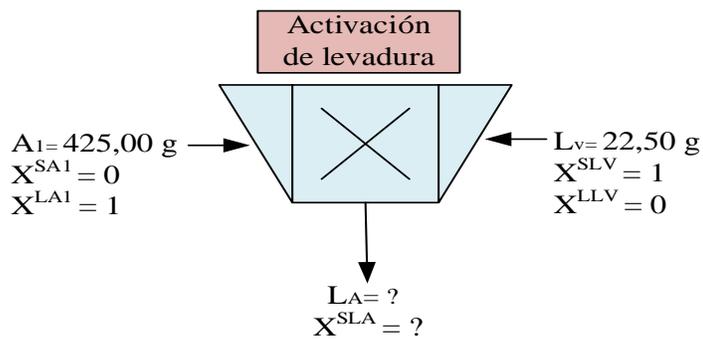
$C_{p \text{ pan}}$ = Calor específico del pan

Q_T = Calor total necesario para llevar a cabo un proceso

ΣQ_i = suma de calores involucrados en el proceso

4.10.1 Balance de materia para la activación de la levadura

En la figura 4.41, se muestra el diagrama de activación de la levadura para realizar el balance de materia correspondiente.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.41: Activación de la levadura

Balance general de materia para activación de levadura:

$$A_1 + L_v = L_A \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Para la determinación de la levadura activada se utilizó la ecuación (4.1):

$$L_A = L_v + A_1$$

$$L_A = 425,00 \text{ g} + 22,50 \text{ g}$$

$$L_A = 447,50 \text{ g}$$

Balance parcial en componente sólido en base a la ecuación 4.1:

$$A_1 * X^{SA1} + L_v * X^{SLV} = L_A * X^{SLA} \quad \text{Ecuación 4.2}$$

$$A_1 * X^{SA1} + L_v * X^{SLV} = L_A * X^{SLA}$$

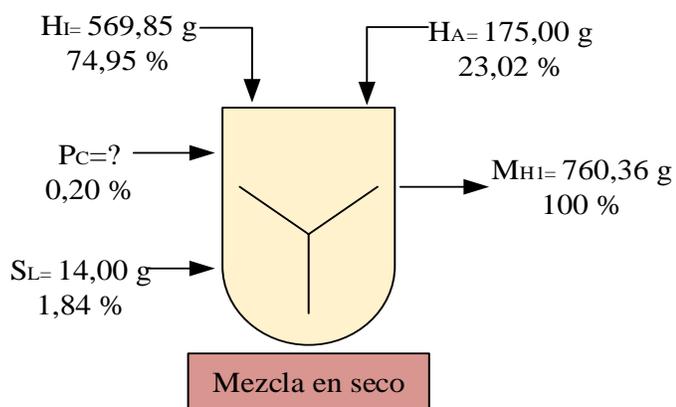
$$L_v * X^{SLV} = L_A * X^{SLA} \quad \text{Ecuación 4.3}$$

Despejando la ecuación (4.3) para hallar la fracción sólida de la levadura activada:

$$X^{SLA} = \frac{L_v * X^{SLV}}{L_A} = \frac{22,50 \text{ g} * 1}{447,50 \text{ g}} \rightarrow X^{SLA} = 0,05 \quad \text{Ecuación 4.4}$$

4.10.2 Balance de materia en la etapa de mezclado en seco

En la figura 4.42, se muestra el diagrama para la etapa de mezclado en seco para realizar el balance de materia correspondiente:



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.42: Mezclado en seco

Balance de materia general para la etapa de mezclado en seco:

$$H_I + H_A + S_L + P_C = M_{H1} \quad \text{Ecuación 4.5}$$

Balance de materia por porcentajes de rendimiento en la etapa de mezclado en seco:

$$P_C = M_{H1} * (0,0020) \quad \text{Ecuación 4.6}$$

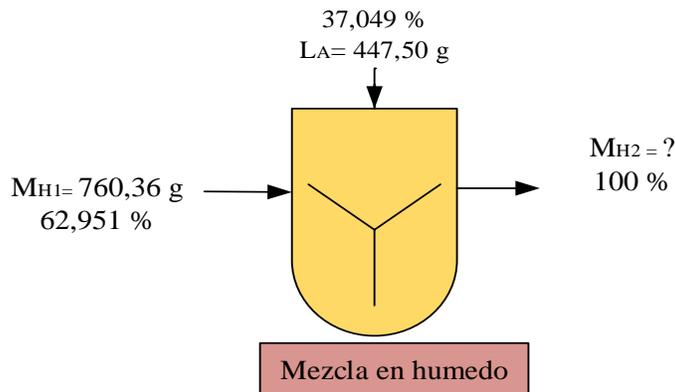
Para el cálculo de P_C (Propionato de calcio) en la etapa de mezclado en seco, se tomó en cuenta la ecuación 4.6:

$$P_C = M_{H1} * (0,0020)$$

$$P_C = 760,36 \text{ g} * (0,0020) = 1,51 \text{ g}$$

4.10.3 Balance de materia en la etapa de mezclado en húmedo

En la figura 4.43, se muestra el diagrama para la etapa de mezclado en húmedo para realizar el balance de materia correspondiente:



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.43: Mezclado en húmedo

Balance de materia general para la etapa de mezclado en húmedo:

$$M_{H1} + L_A = M_{H2} \quad \text{Ecuación 4.7}$$

Balance de materia por porcentajes de rendimiento en la etapa de mezclado en húmedo:

$$M_{H1} = M_{H2} * (0,62951) \quad \text{Ecuación 4.8}$$

$$L_A = M_{H2} * (0,37049) \quad \text{Ecuación 4.9}$$

Para el cálculo de M_{H2} (Mezcla en húmedo) en la etapa de mezcla en húmedo, se tomó en cuenta la ecuación 4.9:

$$L_A = M_{H2} * (0,37049)$$

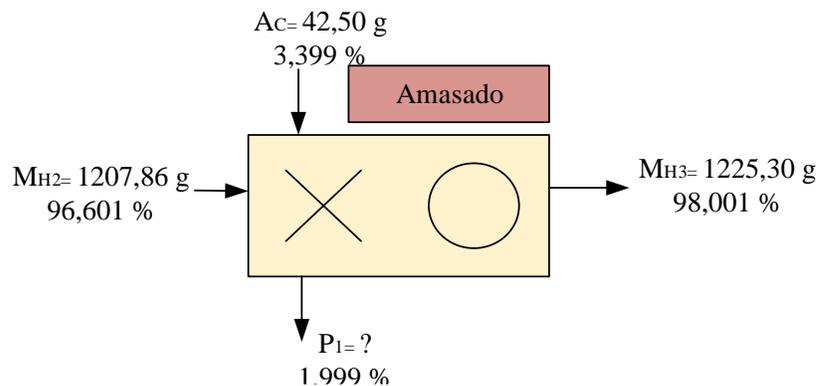
Despejando la ecuación 4.9 se obtiene:

$$M_{H2} = \frac{L_A}{0,3749} \quad \text{Ecuación 4.10}$$

$$M_{H2} = \frac{447,50 \text{ g}}{0,3749} = 1207,86 \text{ g}$$

4.10.4 Balance de materia en la etapa de amasado

En la figura 4.44, se muestra el diagrama para la etapa de amasado para realizar el balance de materia correspondiente:



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.44: Amasado

Balance de materia general para la etapa de amasado

$$M_{H2} + A_C = M_{H3} + P_1 \quad \text{Ecuación 4.11}$$

Balance de materia por porcentajes de rendimiento en la etapa de amasado:

$$P_1 = M_{H3} * (0,01999) \quad \text{Ecuación 4.12}$$

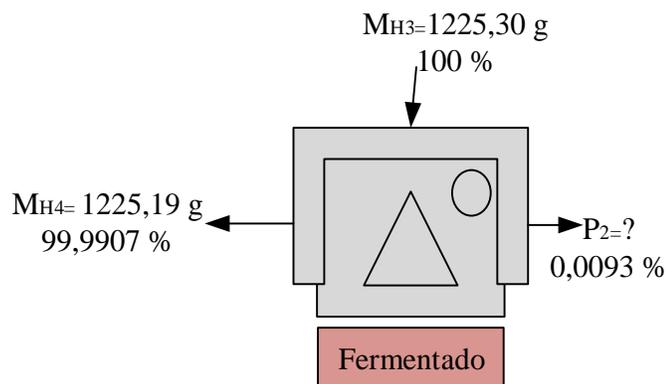
Para el cálculo de P_1 (pérdida) en la etapa de amasado, se tomó en cuenta la ecuación 4.12:

$$P_1 = M_{H3} * (0,01999)$$

$$P_1 = 1225,30 \text{ g} * (0,01999) = 24,50 \text{ g}$$

4.10.5 Balance de materia en la etapa de fermentado

En la figura 4.45, se muestra el diagrama para la etapa de fermentado para realizar el balance de materia correspondiente:



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.45: Fermentación

Balance de materia general para la etapa de fermentado

$$M_{H3} = M_{H4} + P_2 \quad \text{Ecuación 4.13}$$

Balance de materia por porcentajes de rendimiento en la etapa de fermentado

$$P_2 = M_{H3} * (0,000093) \quad \text{Ecuación 4.14}$$

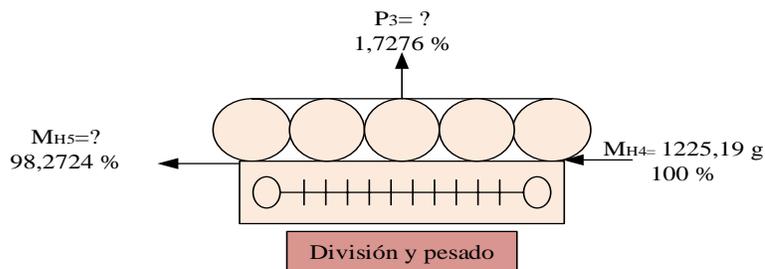
Para el cálculo de la cantidad de pérdida en la etapa de fermentado se tomó en cuenta la ecuación 4.14:

$$P_2 = M_{H3} * (0,000093)$$

$$P_2 = 1225,30 \text{ g} * (0,000093) = 0,11 \text{ g}$$

4.10.6 Balance de materia en la etapa de división y pesado

En la figura 4.46, se muestra el diagrama para la etapa de división y pesado para realizar el balance de materia correspondiente:



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.46: División y pesado

Balance de materia general para la etapa de división y pesado

$$M_{H4} = M_{H5} + P_3 \quad \text{Ecuación 4.15}$$

Balance de materia en porcentajes de rendimiento de la etapa divisoria de pesado

$$P_3 = M_{H4} * (0,017276) \quad \text{Ecuación 4.16}$$

$$M_{H5} = M_{H4} * (0,982724) \quad \text{Ecuación 4.17}$$

Para el cálculo de la cantidad de pérdida en la etapa de división y pesado se tomó en cuenta la ecuación 4.16:

$$P_3 = M_{H4} * (0,017276)$$

$$P_3 = 1225,19 \text{ g} * (0,017276) = 21,16 \text{ g}$$

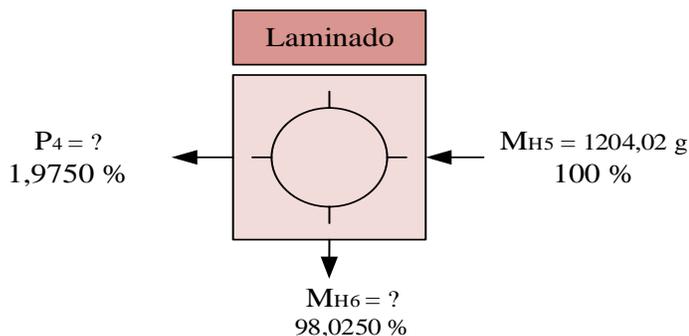
Para el cálculo de la cantidad de masa dividida en la etapa de división y pesado se tomó en cuenta la ecuación 4.17:

$$M_{H5} = M_{H4} * (0,982724)$$

$$M_{H5} = 1225,19 \text{ g} * (0,982724) = 1204,02 \text{ g}$$

4.10.7 Balance de materia en la etapa de laminado

En la figura 4.47, se muestra el diagrama en la etapa de laminado para realizar el balance de materia correspondiente:



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.47: Laminado

Balance de materia general para la etapa de laminado

$$M_{H4} = M_{H5} + P_3 \quad \text{Ecuación 4.18}$$

Balance de materia por porcentajes de rendimiento en la etapa de división de pesado

$$P_4 = M_{H5} * (0,019750) \quad \text{Ecuación 4.19}$$

$$M_{H6} = M_{H5} * (0,980250) \quad \text{Ecuación 4.20}$$

Para el cálculo de la cantidad de pérdida en la etapa de laminado se tomó en cuenta la ecuación 4.19:

$$P_4 = M_{H5} * (0,019750)$$

$$P_4 = 1204,02 \text{ g} * (0,019750) = 24,00 \text{ g}$$

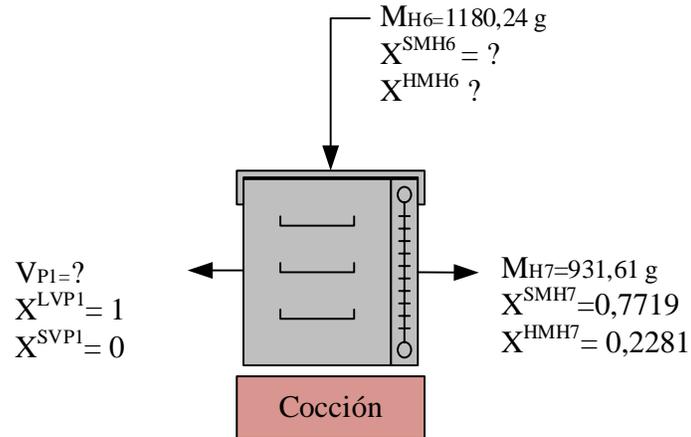
Para el cálculo de la cantidad de masa laminada se tomó en cuenta la ecuación 4.20:

$$M_{H6} = M_{H5} * (0,980250)$$

$$M_{H6} = 1204,02 \text{ g} * (0,980250) = 1180,24 \text{ g}$$

4.10.8 Balance de materia parcial en la etapa de cocción

En la figura 4.48, se muestra el diagrama para la etapa de cocción para realizar el balance de materia correspondiente:



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.48: Cocción

Balance general en la etapa de cocción del pan pita:

$$M_{H6} = V_{P1} + M_{H7} \quad \text{Ecuación 4.21}$$

Para el cálculo del agua evaporada (V_{P1}) durante la etapa de cocción se tomó en cuenta las cantidades de salida y entrada en base a la ecuación 4.21:

Despejando V_{P1} en base a la ecuación 4.21:

$$V_{P1} = M_{H6} - M_{H7} \quad \text{Ecuación 4.22}$$

$$V_{P1} = 1180,24 \text{ g} - 931,61 \text{ g} = 248,63 \text{ g}$$

Para hallar el contenido de humedad de la masa (M_{H6}) que entra al horno, se realizó el balance por componentes en líquido (agua):

$$M_{H6} * X^{LMH6} = V_{P1} * X^{LP1} + M_{H7} * X^{LMH7} \quad \text{Ecuación 4.23}$$

$$X^{LMH6} = \frac{V_{P1} * X^{LP1} + M_{H7} * X^{LMH7}}{M_{H6}} = \frac{248,63 \text{ g} * 1 + 931,61 \text{ g} * 0,2281}{1180,24 \text{ g}} = 0,3907$$

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

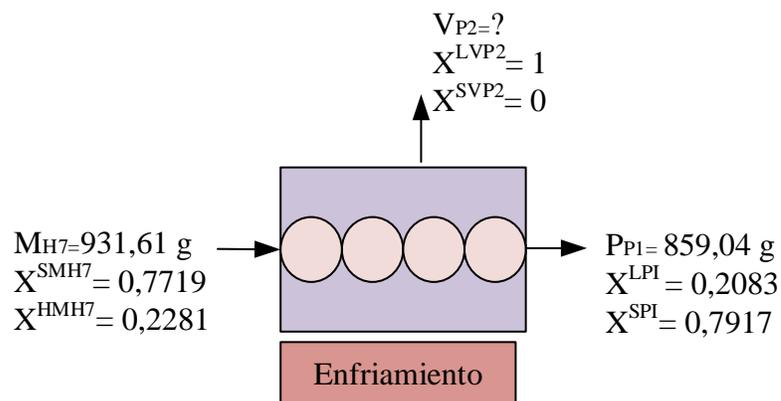
$$\text{Así mismo: } X^L + X^S = 1 \quad \text{Ecuación 4.24}$$

$$\text{Entonces: } X^S = 1 - X^L \quad \text{Ecuación 4.25}$$

$$\text{Por tanto: } X^{SMH6} = 1 - 0,3907 \longrightarrow X^{SMH6} = 0,6092$$

4.10.9 Balance de materia parcial en la etapa de enfriado

En la figura 4.49, se muestra el diagrama para la etapa de enfriado para realizar el balance de materia correspondiente:



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.49: Enfriado

Balance general en la etapa de enfriado del pan pita:

$$M_{H7} = V_{P2} + P_{P1} \quad \text{Ecuación 4.26}$$

Para el cálculo del agua evaporada (V_{P2}) durante la etapa de enfriado se tomó en cuenta las cantidades de salida y entrada en base a la ecuación 4.26:

Despejando V_{P2} en base a la ecuación 4.26:

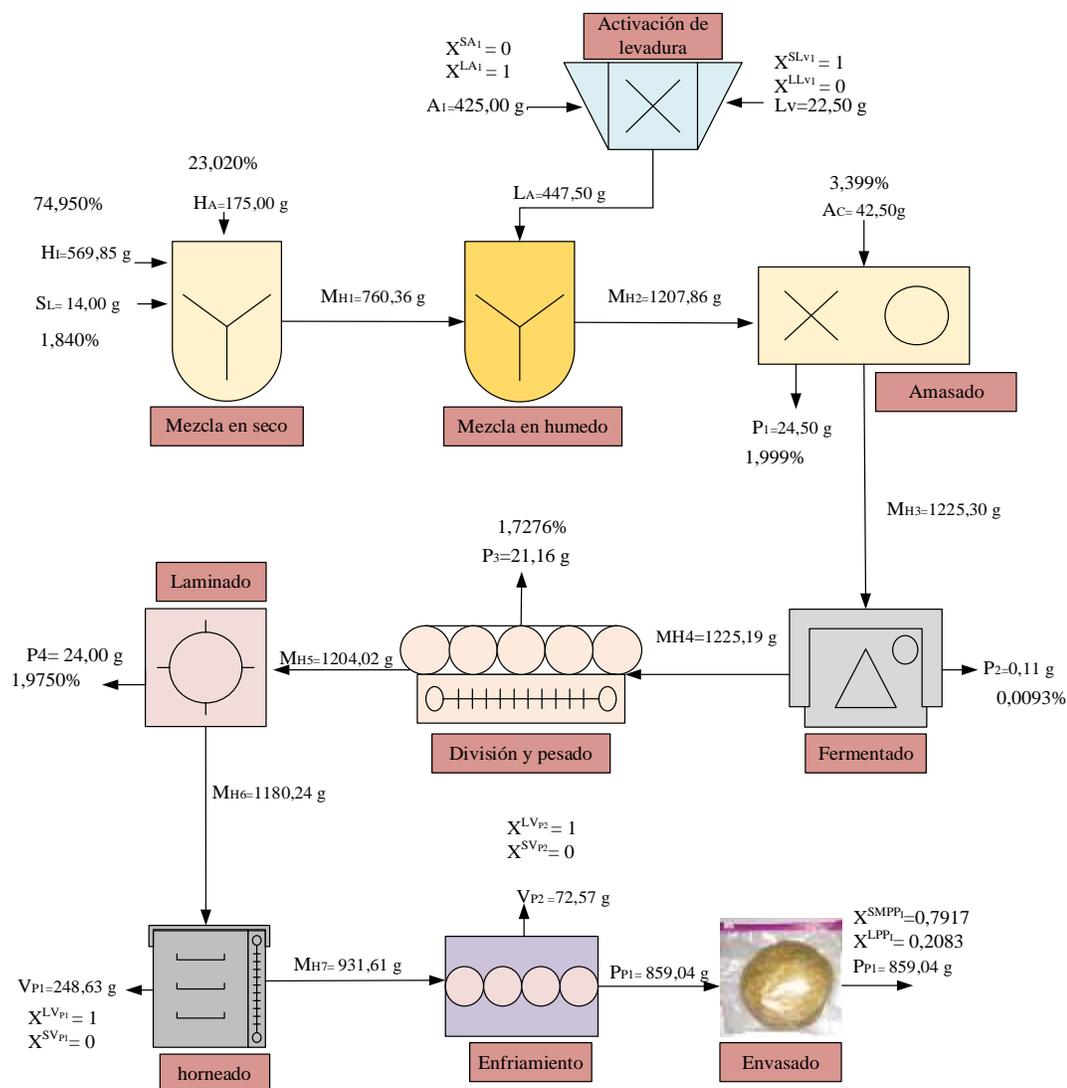
$$V_{P2} = M_{H7} - P_{PI} \quad \text{Ecuación 4.27}$$

$$V_{P2} = 931,61 \text{ g} - 859,04 \text{ g} = 72,57 \text{ g}$$

En la etapa de envasado de pan pita no se realizó el balance de materia parcial ya que el valor de pérdida en ambas etapas no sobrepasa el 0,1 %. Realizado el balance de materia para la elaboración de pan pita con harina integral de trigo y harina de amaranto, se pudo obtener 859,04 g de pan pita y a partir de este se logró obtener 26 unidades de pan pita/.

4.11. Resumen general del balance de materia para el proceso de elaboración de pan pita con harina integral de trigo y amaranto

En la figura 4.50, se muestra el resumen de los resultados obtenidos del balance general de materia para la elaboración de pan pita con harina integral de trigo y amaranto.

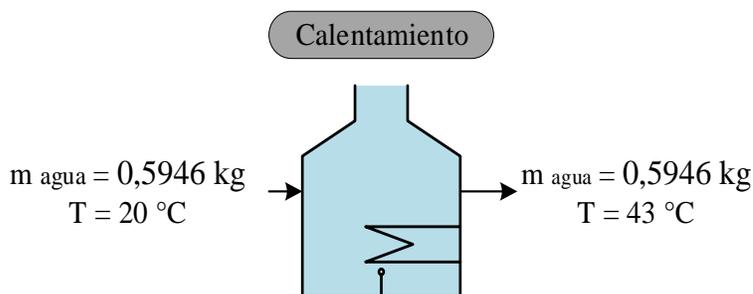


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.50: Resumen general del balance de materia para el proceso de elaboración de pan pita con harina integral de trigo y amaranto

4.11.1 Balance de energía en el calentamiento del agua para activar la levadura

El balance de energía para el calentamiento del agua se realizó para activar la levadura. En la figura 4.51, se muestra el diagrama para el balance de energía en el calentamiento de agua.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.51: Balance de energía en el calentamiento del agua

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

Para calcular el calor necesario para calentar el agua hasta 43°C , se utilizó la ecuación 4.28:

$$Q_{\text{agua}} = m_{\text{agua}} * C_{p_{\text{agua}}} * \Delta T + m_{\text{agua}} * \lambda \quad \text{Ecuación 4.28}$$

Donde:

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

m_{agua} = masa del agua (0,5946 kg)

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

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

$\Delta T = (T_f - T_i)$ variación de la temperatura en el calentamiento del agua (43- 20) °C

Remplazando datos en la ecuación 4.28:

$$Q_{\text{agua}} = 0,5946 \text{ kg} * 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} * (43 - 20) ^\circ\text{C} + 0,5946 \text{ kg} * 538,86 \text{ kcal/kg}$$

$$Q_{\text{agua}} = 334,08 \text{ kcal}$$

Para calcular el calor necesario para calentar la olla hasta 43°C, se utilizó la ecuación 4.29, según (Lewis, 1993):

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

Donde:

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

m_{olla} = 0,58 kg (masa de la olla)

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

$\Delta T = (T_f - T_i)$ variación de temperatura en el calentamiento (43 – 20) °C

Remplazando datos en la ecuación 4.25:

$$Q_{\text{olla}} = 0,58 \text{ kg} * 0,12 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} * (43 - 20) ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{olla}} = 1,60 \text{ kcal}$$

Según (Valiente, 1986), se puede determinar la suma de calores en base a la ecuación 4.30 simplificada que se muestra a continuación:

$$Q_T = \Sigma Q_i \quad \text{Ecuación 4.30}$$

Donde:

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

ΣQ_i = suma de calores involucrados en el proceso

Remplazando datos en la ecuación 4.30:

$$Q_{T.C} = 1,60 \text{ kcal} + 334,08 \text{ kcal}$$

$$Q_{T.C} = 335,68 \text{ kcal}$$

4.11.2 Balance de energía para la etapa de amasado del pan pita

Para la etapa de fermentación de la masa del pan pita se utilizó una incubadora con potencia de 2500 W durante 0,17 horas. En la figura 4.52, se muestra el diagrama para determinar la energía eléctrica requerida para la amasadora en la etapa de masado.

$$\begin{aligned} P &= 2500 \text{ W} \\ T &= 0,17 \text{ horas} \\ E &= ? \end{aligned}$$



Amasado

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.52: Balance de energía para la etapa de amasado del pan pita

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

$$E = P * T$$

Ecuación 4.31

Donde:

E = Energía eléctrica (W/h)

P = Potencia (W)

T = Tiempo (horas)

Así mismo: $1 \text{ kcal/h} = 1,163 \text{ W}$ \longrightarrow Por tanto: $2500 \text{ W} \rightarrow 2149,61 \text{ kcal/h}$

Remplazando datos en la ecuación 4.31 para hallar la energía eléctrica requerida.

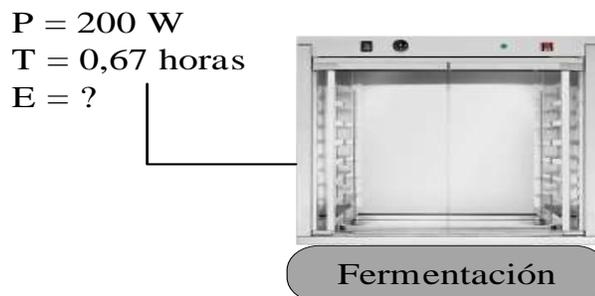
$$E = 2149,61 \text{ kcal/h} * 0,17 \text{ h}$$

$$E = 365,43 \text{ kcal}$$

La cantidad de energía eléctrica requerida para llevar a cabo el amasado durante 0,17 horas es de 365,43 Kcal para la cantidad 1225,30 g de masa para pan pita.

4.11.3 Balance de energía para la etapa de fermentación de la masa de pan pita

Para la etapa de fermentación de la masa del pan pita se utilizó una incubadora con potencia de 200W durante 0,67 horas. En la figura 4.53, se muestra el diagrama para determinar la energía eléctrica requerida para la incubadora en la etapa de fermentación.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.53: Balance de energía para fermentación del pan pita

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

$$E = P * T \quad \text{Ecuación 4.32}$$

Donde:

E = Energía eléctrica (W/h)

P = Potencia (W)

T = Tiempo (horas)

Así mismo: $1 \text{ kcal/h} = 1,163 \text{ W} \longrightarrow$ Por tanto: $200 \text{ W} \longrightarrow 189,17 \text{ kcal/h}$

Remplazando datos en la ecuación 4.32 para hallar la energía eléctrica requerida.

$$E = 189,17 \text{ kcal/h} * 0,67 \text{ h}$$

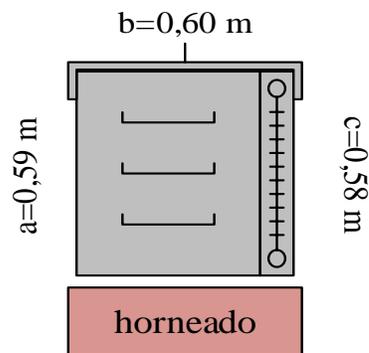
$$E = 126,74 \text{ kcal}$$

La cantidad de energía eléctrica requerida en la incubadora para llevar a cabo la fermentación durante 0,67 horas es de 126,74 kcal para 1225,30 g de masa para pan pita.

4.11.4 Balance de energía para la cocción del pan pita

El balance de energía para la cocción del pan pita se realizó para 1200,99 kg de masa para pan y para lo cual los cálculos son detallados en base a las condiciones de la ciudad de Tarija; altura de 1866 msnm y presión atmosférica de 606,25 mmHg (80,83 kPa).

Para realizar el balance de energía en la cocción del pan pita se tomó en cuenta la cantidad de calor necesario para calentar el aire dentro del horno, el calor necesario para calentar la lata, el calor necesario para cocción de la masa del pan y el calor necesario para evaporar el agua del pan. En la figura 4.54 se muestra el diagrama para el balance de energía de la cocción del pan pita.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.54: Balance de energía para la cocción del pan pita

Donde:

- a = Ancho del horno 0,59 m
- b = Base del horno 0,60 m
- c = Altura del horno 0,58 m

4.11.4.1 Balance de energía para calentar el horno

Para determinar el calor necesario para calentar el aire dentro el horno, primero se determinó la masa de aire dentro el horno para lo cual se utilizó la fórmula matemática para hallar el volumen del horno (ecuación 4.33) y posteriormente la masa del aire en base a la densidad (ecuación 4.34):

$$V = a * b * c \quad \text{Ecuación 4.33}$$

Donde:

V = volumen de aire (m³)

a = Ancho del horno 0,59 (m)

b = Base del horno 0,60 (m)

c = Altura del horno 0,58 (m)

Remplazando datos en la ecuación 4.33 para hallar el volumen del horno:

$$V = (0,59 * 0,60 * 0,58) \text{ m}^3$$

$$V = 0,205 \text{ m}^3$$

Para determinar la masa de aire dentro el horno se utilizó la fórmula de densidad en base a la ecuación 4.34:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Ecuación 4.34}$$

Donde:

ρ = Densidad del aire ($1,2 \text{ kg/m}^3$) (Lewis, 1993):

m = Masa del aire (kg)

V = Volumen del aire (m^3)

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

$$\text{Por tanto: } m_{\text{aire}} = \rho * V \quad \text{Ecuación 4.35}$$

$$\text{Entonces: } m_{\text{aire}} = 1,2 \text{ kg/m}^3 * 0,205 \text{ m}^3 \quad \longrightarrow \quad m_{\text{aire}} = 0,246 \text{ kg}$$

Habiéndose hallado la masa de aire dentro el horno, en base a la ecuación 4.35 según (Lewis, 1993), se determinó el calor necesario para calentar el aire dentro el horno que inicia con temperatura de 20°C y alcanza una temperatura final de 165°C :

$$Q_{\text{aire}} = m_{\text{aire}} * C_{p \text{ aire}} * \Delta T \quad \text{Ecuación 4.36}$$

Donde:

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

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

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

$\Delta T = (T_f - T_i)$ variación de la temperatura en el horno (205 – 20) $^\circ\text{C}$

Remplazando datos en la ecuación 4.36:

$$Q_{\text{aire}} = 0,246 \text{ kg} * 0,24 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} * (205 - 20) ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{aire}} = 10,92 \text{ kcal}$$

4.8.4.2 Balance de energía para calentar la lata del pan pita

Para determinar el calor necesario para calentar la lata de pan pita introducido al horno se utilizó la ecuación 4.37:

$$Q_{\text{lata}} = m_{\text{lata}} * C_{p \text{ lata}} * \Delta T \quad \text{Ecuación 4.37}$$

Donde:

Q_{lata} = Calor necesario para calentar la lata para pan pita (kcal)

m_{lata} = Masa de la lata para pan (0,689 kg)

$C_{p \text{ lata}}$ = Calor específico de la lata (0,12 kcal/kg °C)

$\Delta T = (T_f - T_i)$ variación de temperatura (205 – 20) °C

Remplazando datos en la ecuación 4.32:

$$Q_{\text{lata}} = 0,689 \text{ kg} * 0,12 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} * (205 - 20) ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{lata}} = 15,28 \text{ kcal}$$

4.11.4.3 Balance de energía para cocción de la masa de pan pita

Para determinar el calor necesario para la cocción de la masa de pan pita, primero se determinó el $C_{p_{pan}}$ en base a la ecuación 4.38:

$$C_{p_{pan}} = \underbrace{m_a * C_a}_{\text{(agua)}} + \underbrace{m_c * C_c}_{\text{(carbohidrato)}} + \underbrace{m_p * C_p}_{\text{(proteína)}} + \underbrace{m_g * C_g}_{\text{(grasa)}} + \underbrace{m_z * C_z}_{\text{(ceniza)}} \quad \text{Ecuación 4.38}$$

Donde:

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

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

Para el valor de los calores específicos de cada componente alimentario se tomó en cuenta la tabla 4.41 (Lewis, 1993):

Tabla 4.41

Calores específicos de componentes alimentarios

Componente	Calor específico (kcal/kg °C)
Ca	0,99904508
Cc	0,3346084
Cp	0,3824096
Cg	0,4063102
Cz	0,1912048

Fuente: Lewis, 1993

Para el valor de las fracciones de la masa de cada componente, se tomó en cuenta los resultados del pan pita con harina integral de trigo y harina de amaranto obtenidos según (CEANID, 2024) (Anexo A) y en base a estos datos se convirtió a fracción obteniéndose:

$m_a = 0,2083$ (fracción de masa del componente agua)

$m_c = 0,6089$ (fracción de masa del componente carbohidrato)

$m_p = 0,1088$ (fracción de masa del componente proteína)

$m_g = 0,0505$ (fracción de masa del componente graso)

$m_z = 0,0235$ (fracción de masa del componente cenizas)

Habiéndose obtenido los datos de fracciones de masa y datos de C_p se remplazaron en la ecuación 4.38 para hallar el C_p del pan pita:

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

$$C_{p_{\text{pan}}} = 0,2083 * 0,99904508 + 0,6089 * 0,3346084 + 0,1088 * 0,3824096 + 0,0505 * 0,406312 + 0,0235 * 0,1912048$$

$$C_{p_{\text{pan}}} = 0,47 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

Habiéndose determinado el C_p del pan, se determinó el calor necesario para la cocción de la masa del pan pita en base a la ecuación 4.39:

$$Q_{\text{pan}} = m_{\text{pan}} * C_{p_{\text{pan}}} * \Delta T + m_{\text{agua evap}} * \lambda \quad \text{Ecuación 4.39}$$

Donde:

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

m_{pan} = Masa del pan pita (1200,99 g = 1,20099 kg)

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

$C_{p_{\text{pan}}}$ = Calor específico del pan (0,47 kcal/kg $^\circ\text{C}$)

$m_{\text{agua evap}}$ = masa del agua evaporada (0,26838 kg)

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

Remplazando datos en la ecuación 4.39:

$$Q_{\text{pan}} = 1,20099 \text{ kg} * 0,47 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} * (205 - 20) ^\circ\text{C} + 0,26938 \text{ kg} * 538,86 \text{ kcal/kg}$$

$$Q_{\text{pan}} = 249,58 \text{ kcal}$$

4.11.4.4 Balance de energía para evaporar el agua de la masa del pan pita

Para determinar el calor necesario en la evaporación del agua de la masa del pan, se utilizó la ecuación 4.40:

$$Q_{\text{agua evap.}} = m_{\text{pan}} * X_{\text{pan}} * \lambda \quad \text{Ecuación 4.40}$$

Donde:

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

m_{pan} = masa del pan (1200,99 g = 1,20099 Kg)

X_{pan} = contenido de humedad de la masa (0,2083)

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

Remplazando datos en la ecuación 4.40:

$$Q_{\text{agua evap.}} = 1,20099 \text{ kg} * 0,2083 * 538,86 \text{ kcal/kg}$$

$$Q_{\text{agua evap.}} = 134,81 \text{ kcal}$$

4.11.5 Balance de energía para determinar la cantidad de calor total necesario en la elaboración del pan pita

Para determinar la cantidad total de calor necesario para llevar a cabo el calentamiento del agua, para la activación de la levadura y la cocción de la masa del pan pita, se utilizó la ecuación simplificada 4.41 (Valiente, 1986):

$$Q_T = \sum Q_i \quad \text{Ecuación 4.41}$$

Donde:

Q_T = Calor total necesario para llevar a cabo un proceso

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

Remplazando datos en la ecuación 4.41:

$$Q_T = Q_{T.C} + Q_{\text{aire}} + Q_{\text{lata}} + Q_{\text{pan}} + Q_{\text{agua evap.}} \quad \text{Ecuación 4.42}$$

Donde:

$$Q_T = 335,68 \text{ kcal} + 8,35 \text{ kcal} + 15,28 \text{ kcal} + 249,58 \text{ kcal} + 134,81 \text{ kcal}$$

$$Q_T = 743,70 \text{ kcal}$$

La cantidad de energía requerida para llevar a cabo la cocción es de 743,70 kcal para la cantidad 1225,30 g de masa para pan pita

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- ◆ En base al análisis fisicoquímico en la harina integral de trigo, se muestra que la misma contiene: Ceniza 1,75%, Fibra bruta 2,83%, Fósforo 94,00 mg/100 g, Gluten seco 18,09%, Grasa 2,51%, Hierro 6,70 mg/100 g, Hidratos de carbono 73,17%, Humedad 10,05%, Proteína total (Nx5, 70) 12,52% y Valor energético 365,35 Kcal/100 g.
- ◆ En base al análisis fisicoquímico en la harina de amaranto contiene: Calcio 100,00 mg/100 g, Ceniza 2,13%, Fibra bruta 2,00%, Gluten seco nada detectado, Grasa 6,87%, Hierro 7,34 mg/100 g, Hidratos de carbono 70,16%, Humedad 6,15%, Proteína total (Nx6, 25) 14,69% y Valor energético 401,23 Kcal/100 g.
- ◆ Realizado la evaluación sensorial para la prueba preliminar de pan pita con harina integral y amaranto indica que, según el análisis estadístico de varianza que si existe diferencia significativa entre los atributos (acidez, sabor, textura y apariencia), de las muestras evaluadas para un nivel de confianza $\alpha=0,05$. Y tomando en cuenta la preferencia de los jueces, se tomó en cuenta la dosificación y parámetros de proceso de las muestras PI2 y PI6.
- ◆ Realizada la evaluación sensorial para las pruebas seleccionadas de pan pita con harina integral y amaranto en el cual se modificó la formulación de dosificación nos indica que, la muestra con mayor aceptación por los jueces es la muestra PT2 en los atributos de acidez, sabor, amargor y textura.
- ◆ Aplicado el diseño experimental en la etapa de dosificación para la elaboración de pan pita, se puede establecer que las variables; harina integral de trigo (A), harina de amaranto (B) y levadura (C), existe evidencia estadística significativa debido que $F_{cal} > F_{tab}$, por tanto, se rechaza la hipótesis planteada.
- ◆ Realizada la evaluación sensorial para comparar muestra experimental e ideal, se pudo evidenciar que existe diferencia significativa entre los atributos de las muestras

evaluadas para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. Así mismo, tomando en cuenta la preferencia de los jueces por las muestras PPI, se tomó en cuenta para el diseño de cocción.

- ◆ Aplicado el diseño experimental 2^2 en la etapa de cocción se pudo concluir que para los factores A (tiempo) y B (temperatura), es estadísticamente significativo para un nivel de confianza $\alpha = 0,05$ ya que $F_{cal} > F_{tab}$, por tanto, se rechaza la hipótesis planteada.
- ◆ Realizado el análisis fisicoquímico en el producto final, se indica que presenta: Calcio 44,20 mg/100 g, Ceniza 2,35 %, Fibra 1,29 %, Fósforo 93,00 mg/100 g, Gluten en seco nada detectado, Grasa 5,05 %, Hierro mg/100 g, Hidratos de carbono 60,89 %, Humedad 20,83 %, Proteína total (Nx6, 25) 10,88 %, y valor energético 333,00 Kcal/100 g.
- ◆ Realizado el análisis microbiológico en el producto final indica que presenta: Bacterias aerobias mesófilos $8,0 \times 10^2$ UFC/g, Mohos y levaduras $<1,0 \times 10^1$ UFC/g.
- ◆ Realizado el balance de materia y energía se evidencio que, a partir de 1225,30 g de masa para pan pita se obtiene 859,04 g de pan pita (26 unidades de pan pita). Así mismo, para determinar la cantidad total de calor para la elaboración de pan pita se requiere 584,93 Kcal, para la estufa se necesitan 126,74 kcal de energía eléctrica para llevar a cabo la fermentación de la masa de pan pita por un tiempo de 0,67 horas y para la amasadora se necesita 365,43 kcal de energía eléctrica para llevar a cabo el amasado por un tiempo de 0,17 horas.
- ◆ Realizado el envasado del pan pita con material polietileno de baja densidad con cierre hermético se pudo evidenciar que, el tipo de almacenamiento del pan pita es de doce días.

5.2 Recomendaciones

- ❖ Se recomienda tomar en cuenta otras variables independientes como ser: cantidad de agua y cantidad de aceite con la finalidad de conocer el grado de influencia que tiene sobre el pan tipo pita
- ❖ Se recomienda utilizar otros tipos de conservantes con el objetivo de seleccionar el más adecuado para su durabilidad, conservando la calidad organoléptica y nutritiva del pan pita.
- ❖ Se recomienda elaborar pan pita a base de harinas sin gluten, con la finalidad de incluir al mercado local panes especiales exclusivamente para personas celiacas y personas que padezcan otras enfermedades.