

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En Bolivia, la harina de trigo es obtenida a través del proceso de transformación de sus semillas, llega al consumidor como: harina, pastas y productos de panificación. Teniendo en cuenta un consumo promedio es 78kg per cápita de productos derivados de la harina de trigo, del mismo que se obtiene un uso del 72% en el área de panificación, pero solo entre (30 a 20) % son para el consumo nacional (Flores, 2016).

Aunque la situación de la producción de harina de trigo en Bolivia es complicada por distintos factores como alteraciones climáticas, superficies de hectáreas de producción, el consumo del pan es fundamental en la dieta nacional, pues cada habitante ingiere 42,90 kilos de pan por año según “La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación” FAO. Lo que han llevado a la población obtener otras alternativas para la adquisición de estos productos como el contrabando con un 27% de harina de trigo Argentina, que actualmente en el departamento de Tarija, es algo inevitable debido a la fácil adquisición y calidad que se puede adquirir (Flores, 2016).

La Federación de Panificadores de Tarija (F.P.T), cuentan con 200 afiliaciones, conformada con panificadores artesanos pequeños en su mayoría y los industrializados, los trabajadores trabajan en dos tipos de hornos: industrial para panes especiales y leña para preparar los panes caseros como caspitas, bollos y otros, utilizando entre dos a tres quintales para elaborar el pan y abastecer la demanda. (Luksic, 2012).

La Empresa de Apoyo a la Producción de Alimentos (E.M.A.P.A), estima que en el departamento de Tarija tiene una producción solo del 5%, a nivel nacional; se logra destacar que la población ha marcado nueva tendencia en cuanto al consumo de panes más saludables, funcionales e innovadores, es por eso que la aparición del pan elaborado con “masa madre”, la creciente popularidad del consumo de pan de masa madre con múltiples beneficios para la salud está provocando el desarrollo del mercado de la masa madre. La factibilidad del procesamiento de este producto pan de masa fermentada está impulsado por el crecimiento conciencia de los consumidores y demandas de mejora del valor nutritivo, ha tenido un impacto notable en la sociedad

tarijeña contando con dos locales reconocidos que comercializa; este pan siendo panadería “El Obrador” y “Fratelli”, tras conocer los beneficios de su consumo, sus excelentes propiedades culinarias, ha logrado poner a la masa madre en el mapa no solo en panaderías, sino restaurantes de la provincia de Cercado (Mustaffá, 2022).

1.2 Justificación

- El presente trabajo de investigación, pretende elaborar pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano, con la finalidad de ofrecer un producto novedoso y lograr otra alternativa en la industria de panificación para la población de Tarija.
- El presente trabajo de investigación desea promover el potencial prebiótico (inulina) y probiótico que tiene la masa madre en la elaboración de pan de campo, debido a su proceso de fermentación en el que aparecen bacterias beneficiosas (lactobacilos, ácido láctico, bacterias acéticas) y levaduras (*Scharyomyces cerevisiae*), que ayudan a equilibrar la microbiota intestinal y mejorar la salud.
- El proceso de fermentación natural de la masa madre potencia la biodisponibilidad de nutrientes presentes en este tipo de panes, favoreciendo la descomposición de los fitatos considerados anti nutrientes que dificultan la digestión y absorción de minerales esenciales en el intestino delgado como fósforo, calcio, hierro y zinc.
- El pan de masa madre posee un bajo índice glucémico, lo que significa que evita picos elevados de azúcar en sangre, lo que es fundamental en el manejo y prevención de enfermedades como la diabetes tipo 2 y la obesidad.

1.3 Objetivos

Los objetivos propuestos del siguiente trabajo de investigación son:

1.3.1 Objetivo general

Aplicar la metodología experimental de panificación para elaborar pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano; con la finalidad de obtener un producto innovador y de calidad nutricional para la provincia Cercado de Tarija.

1.3.2 Objetivos específicos

- ♦ Determinar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de la materia prima, con la finalidad de establecer su composición.
- ♦ Realizar pruebas subjetivas de pan de campo con masa madre el fin de obtener el cultivo inicial para elaborar la masa madre.
- ♦ Realizar una evaluación sensorial con distintas saborizaciones (pallito y maíz criollo, dulce con pasas de uva y nueces, ajo con orégano, y ajo con nueces y albahaca) con el fin de obtener una muestra ideal para el diseño factorial del proceso.
- ♦ Aplicar el diseño factorial 2^3 en el proceso de elaboración de pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano el fin de establecer variables de control.
- ♦ Determinar la humedad, acidez y pH de pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano con la finalidad de analizar las variaciones antes y después de su cocción.
- ♦ Determinar las propiedad fisicoquímicas, microbiológicas y organolépticas del “Pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano”, con el objetivo de establecer su control de calidad.
- ♦ Realizar un balance de materia y energía en el proceso de elaboración de pan de masa madre tipo campo con la finalidad de determinar el rendimiento, las perdidas y la energía consumida en las distintas etapas del proceso.

1.4 Objeto de estudio

Aplicación de la metodología experimental del proceso de panificación para elaborar pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano.

1.5 Campo de acción

Los campos de acción utilizado para el presente trabajo de investigación, quedó delimitado por los siguientes aspectos:

- **Espacial**

El campo espacial donde se desarrolló el trabajo de investigación fue en la provincia de Cercado.

- **Temporal**

El campo temporal del desarrollo del trabajo fue en la gestión 2022- 2023.

- **Institucional**

Las instituciones donde se realizó presente trabajo de investigación fueron en el Taller de Alimentos (L.T.A) y Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (L.A.C.I.A), ubicadas en el Campus de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (U.A.J.M.S).

1.6 Planteamiento del problema

La mayoría de la población tarijeña desconoce el pan de masa madre y las panaderías no elaboran este tipo de producto al no conocer la metodología de elaboración.

En la actualidad, existe una tendencia creciente entre la población de evitar el consumo de pan blanco debido a la preocupación por la obesidad y la diabetes, esto se debe al alto índice glucémico que genera su consumo, lo que significa que se digiere rápidamente y provoca picos elevados de glucosa en sangre; por esta razón el pan de

campo con masa madre se presenta como una solución innovadora y de calidad nutricional, por tener un índice glucémico más bajo y mayor biodisponibilidad de nutrientes esenciales como zinc, fosforo, potasio y calcio.

1.7 Formulación del problema

¿Cuál será la metodología experimental de panificación que permita obtener pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano que sea innovador y de calidad nutricional para la provincia de Cercado?

1.8 Hipótesis

La aplicación de la metodología experimental de panificación, permite obtener un pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano innovador y de calidad nutricional para la población de la provincia de Cercado.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Origen del pan de masa madre

Se cree que años antes de Cristo, los egipcios por error; descubrieron la masa madre, un fermento de harina y agua. Técnica muy utilizada en Europa, sobre todo en los países centroeuropeos y nórdicos, en los cuales este tipo de fermento previo es casi omnipresente y ya no es un sinónimo de calidad sino prácticamente una obligación de cualquier panadería que se precie. En Alemania este tipo de panes son célebres y los países latinoamericanos han logrado cautivar la esencia de un pan con verdadero sabor, textura y aroma. (Bachiller, 2017).

2.2 Definición de pan

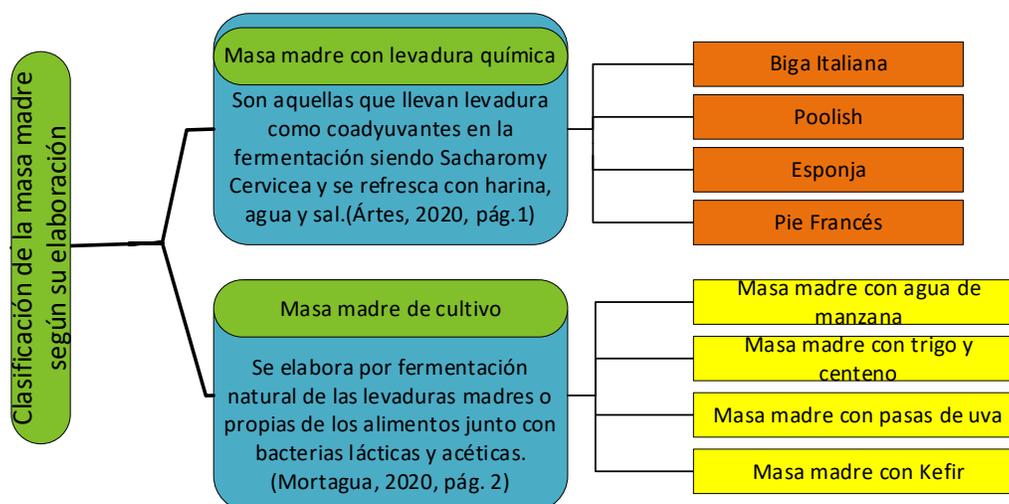
El pan, por definición según el Codex Alimentarius, es el producto resultante de la masa obtenida por la mezcla de harina de trigo y agua potable, con o sin adición de sal comestible, fermentada por especies de microorganismos propios de la fermentación panadera. (Pág.10)

2.3 Definición de masa madre

Según la FAO, masa madre se produce por acción de levaduras y bacterias presentes en el medio ambiente sobre una masa de harina y agua que se deja fermentar a temperatura ambiente (25 – 30)°C y se le realizan posteriores refrescos para su conservación. Este tipo de fermentación es más lenta y más ácida que la que presenta un mayor contenido de aminoácidos y azúcares simples.

2.4 Tipos de masa madre

Los panes elaborados con masa madre, llevan el corazón de la panadería, debido a que es la mezcla antigua de harina y agua, que deja que los microorganismos como, levaduras y bacterias silvestres, se multiplican, generan aire para la esponjosidad de la masa. La masa madre puede tener una infinidad de elaboraciones con jugo de frutas fermentados, distintos tipos de harina y hasta en algunos casos incluir levadura química. En la figura 2.1, se observa la clasificación según su elaboración, masa madre con levadura química y masa madre de cultivo. (Diario Madrid, 2020).



Fuente: Llarás, 2011.

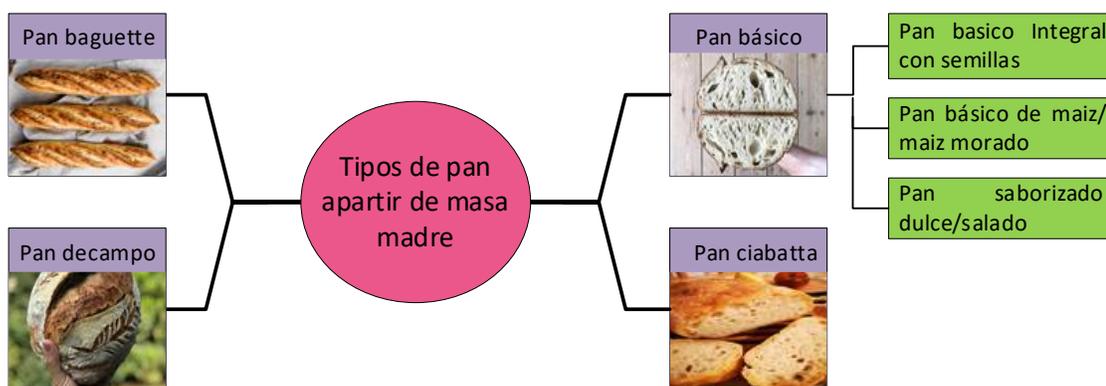
Figura 2.1. Clasificación de masa madre según su elaboración.

2.5 Clasificación de los tipos de pan elaborados con masa madre

Según Mortagua (2020), plantea que... “la panificación es un complejo y maravilloso mundo, es que resulta difícil comprender como la unión de tan sencillos ingredientes pueden crear un producto tan rico y provocativo” (Pág. 1).

Al utilizar masa madre en la elaboración de una variedad de panes se generan cambios como son aumento de la masa final, la consistencia del pan alveolada, la corteza dura y crujiente del pan que es ideal para crear panes rústicos, también logran mejorar el sabor y olor del pan. (Garriga & Koppman, 2020. Pág. 34).

En la figura 2.2, podemos destacar una variedad de panes elaborados con distintas masas madres.



Fuente: Clemente, 2018.

Figura 2.2: Tipos de panes elaborados a partir de masa madre.

2.5.1 Pan de campo con masa madre

Pan de campo o pan campesino, es uno de los panes más antiguos conocido como pan ácimo, lo que quiere decir sin levadura mayormente consumido con distintos sabores, se elabora con masa madre porque genera una corteza crujiente y es muy famoso por eso y su sabor es inigualable cuando se lo hace en un horno de barro, horno de piso o leña que le han permitido obtener un sabor único. (Villalobos, 2019).

2.5.2 Pan básico con masa madre

El pan básico con masa madre es elaborado con 50% harina integral y 50% harina blanca, logrando obtener un pan con una humedad de distintos tipos de panes, eso se debe a que la harina integral absorbe mayor cantidad de agua y crea una masa de gran textura, sabor particular y gran valor nutricional. El pan básico de masa madre puede a su vez tener varias variantes desde insumos como frutos secos, harinas distintas que pueden generar innovación y nuevos aromas para el consumidor. (Kimbell, 2017).

2.5.3 Pan básico con masa madre saborizado

Los panes saborizados con masa madre tienen una gran variedad de posibilidades de mezclar desde mantequilla, ghee, ajos, pimienta, albahaca, queso rallado, quesos maduros como parmesano, sal gruesa o ingredientes frescos como frutos rojos, chocolate, marmolados que dan un toque original a los panes. (Kimbell, 2017).

2.5.4 Composición fisicoquímica del pan de masa madre

La fermentación de la masa madre es una de las biotecnologías alimentarias más antiguas, que se han estudiado y redescubierto recientemente por las grandes propiedades sensoriales, estructurales, nutricionales y como repercuten en los productos horneados, esto se debe a que la acidificación y proteólisis desarrollan una serie de cambios fisicoquímicos que se presentan en un pan normal, así mismo coadyuvan a la aparición de una serie de enzimas prebióticas, reduce la respuesta glucémica de los productos horneados y la biodisponibilidad de la fibra dietaria y los fotoquímicos, y puede aumentar la absorción de minerales; se puede deducir que las propiedades fisicoquímicas de 100 gramo de un pan común, y un pan de masa madre difieren. (Gobbetti et al., 2017) como se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2.1

Composición fisicoquímica de pan de masa madre y pan común

Parámetros	Pan de masa madre	Unidad	Pan común	Unidad
Carbohidratos	62,30	%	42,30	%
Ceniza	2,01	%	6,30	%
Fibra cruda	2,91	%	1,21	%
Grasa	0,28	%	0,16	%
Humedad	17,00	%	4,25	%
Proteína cruda	13,00	%	4,70	%

Fuente: Gobbetti et al., 2017

2.5.5 Composición microbiológica del pan de masa madre

Se han analizado muchas masas madres distintas y estos son algunos de los microorganismos encontrados: las bacterias y levaduras presentes en las masas madres. No se encuentran cantidades exactas. (Koppman & Garnica, 2020. Pág. 19).

Sin embargo, se conoce su presencia, mostradas en la tabla 2.2.

Tabla 2.2

Composición microbiológica del pan de masa madre

Bacterias	Levaduras
<i>Streptococcus</i>	<i>Candida (C)</i>
<i>Enterococcus</i>	<i>Tropialis (C)</i>
<i>Lactobacilos</i>	<i>Saccharomyces (S.)</i>
<i>Weissella</i>	<i>Cerevisae (S).</i>
<i>Lactococcus</i>	<i>Ellipsoideus (S).</i>
<i>Aerococcus</i>	<i>Fructuum, (S).</i>
<i>Leuconostoc</i>	<i>Polymorpha, P</i>

Fuente: Koppman & Garnica, 2020.

2.6 Caracterización de harina de trigo y harina integral para la elaboración de pan de campo con masa madre

Se define como harina, al producto finamente triturado, obtenido a través del proceso de la molturación de grano de trigo o algún otro tipo de cereal, incluye la trituración del mismo y su tamizado. El grano se criba, se descascarilla, se escoge y se limpia, excluyendo los granos extraños, y en ocasiones se lavan los granos antes de ser molidos. La harina es una materia básica en la elaboración del pan, pastas alimenticias y productos de pastelería. (Requena, 2013).

2.6.1 Harina de trigo

El trigo, es considerado el mejor cereal de panificación por la proteína que forma su gluten, la cual permite a la masa una estructura celular estable por fermentación o por gasificación química, así que se puede obtener un pan de estructura ligera y miga estable. (Emagister, 2014).

Según Requena, (2007), existen distintos tipos de harina según su fuerza que ayudaran a las características del producto final entre ellas se tiene (Pág. 6):

- Harina fuerte 00: Es la que procede de trigos duros, es rica en gluten, lo que le da la capacidad de retener mucha agua, dando lugar a la formación de masas consistentes y elásticas.

- Harina de fuerza o 000; es la que procede de trigos duros, ricos en gluten (12-14) % , lo que le da la capacidad de retener mucha agua, dando lugar a la formación de masas resistentes y elásticas.
- Harina floja o 0000; su contenido en gluten es mucho menor, lo cual la hace menos compacta que la harina fuerte, este tipo de harina da masas lisas y menos consistentes.

2.6.1.1 Composición química de la harina de trigo

Según Emagister, (2014), a realizar un análisis típico de las harinas de panificación se obtienen los siguientes resultados de la composición fisicoquímica (Pág. 58) y expresados en la tabla 2.3:

Tabla 2.3

Composición fisicoquímica de la harina de trigo

Nutrientes	Cantidad mínima	Cantidad máxima	Unidad
Proteína de gluten	7,50	15,00	%
Almidón	68,00	76,00	%
Azúcares	2,50	2,80	%
Grasas	0,50	1,50	%
Sales minerales	0,20	0,60	%
Humedad	14,00	15,00	%
Vitamina B1	0,30	0,40	%

Fuente: Emagister, 2014.

Proteínas: Las proteínas propias de trigo se clasifican en su solubilidad que comprenden entre (12 – 15) % en su totalidad estas se caracterizan por no formar masas y el otro (75-78) % se comprenden por las proteínas según su funcionalidad entre la más importante tenemos al gluten, es una proteína funcional que se encuentra en la matriz del endospermo del grano comprendiendo casi un 80% de las proteínas totales del trigo, se constituye por las gliadinas y gluteninas que cumplen con la finalidad obtener un fluido visco elástico que da propiedades reológicas a las distintas etapas de fermentación de la masa. (De la Vega, 2009)

Hidratos de Carbono: Los hidratos de carbono, no es más que el almidón formado por amilosa y amilopectina, comprendiendo un 60-72% perteneciente del grano de trigo. Se caracteriza por brindar 3 funciones principales a la hora de elaborar productos de panificación (Manobanda, 2017), como:

- Medio de cultivo principal a la levadura natural que transforma el almidón en glucosa.
- Ayuda a la retención de agua, para obtener un pan con una humedad agradable.
- Da estructura a los alveolos de la miga del pan.

2.6.1.2 Propiedades nutricionales de la harina de trigo

Las harinas son la fuente de energía y nutrientes más importante en la alimentación humana y animal, distinguiéndose entre ellos el trigo, del cual se obtiene harina como producto principal; salvado y germen como subproductos existe una serie de propiedades del salvado y almidón que son benéficas para la salud humana, gracias a sus componentes, entre los que se incluyen la fibra dietaria, proteínas, minerales, vitaminas del complejo B, vitamina E, compuestos fenólicos, luteína, antocianinas, tocotrienoles y ácido fólico. (Mercado et al., 2017)

2.6.2 Harina de trigo integral

Es el producto resultante integrado (sémolas, cáscaras y harinas) de la molienda del grano de trigo. Se utiliza para la elaboración de productos panificados integrales, en una proporción entre (10-30) % de los materiales secos. Se puede usar para la mayoría de los productos horneados. Tiene un sabor a trigo más fuerte y un color más oscuro que la harina refinada. Los productos horneados tendrán una textura más compacta y pesada. (O.S.U., 2016).

2.6.2.1 Composición fisicoquímica y nutricional de la harina de trigo integral

Según la definición del CAE “Código Alimentario Español”, (2016) la harina de trigo integral debe ser: suave al tacto, de color natural, sin sabores extraños a rancio, moho, amargo o dulce y en la composición fisicoquímica y nutricional por 100 gramos de harina integral debe contener los componentes expresados en la tabla 2.4.

Tabla 2.4***Composición fisicoquímica y nutricional de la harina de trigo integral***

Nutrientes	Cantidad	Unidad
Grasa	2,02	g.
Sodio	3,02	mg.
Carbohidratos	58,28	g.
Fibra	9,05	g.
Azúcar	2,10	g.
Proteínas	12,70	g.
Hierro	3,90	mg.
Calcio	3,80	mg.
Vitamina B3	8,20	mg.

Fuente: Chungata, 2013.

2.7 Caracterización de insumos alimentarios utilizados en la elaboración del pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano

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

2.7.1 Ajo blanco crudo

El ajo blanco, “*Alliumsativum*”, es una planta de la madre tierra que más allá de ser un condimento, aporta con muchos beneficios para la prevención y contrarrestar enfermedades, es un antiviral por excelencia, sirve para infecciones respiratorias, cardiovasculares y propiedades antioxidantes y antimicrobianas (MSyD, 2022). En la tabla 2.5 detalla sus propiedades nutricionales en 100 gramos de ajo blanco:

Tabla 2.5***Composición nutricional ajo blanco crudo***

Componentes	Cantidad	Unidad
Hidratos de carbono	24,32	g.
Proteína	4,30	g.
Fibra	1,20	g.
Grasa	0,23	g.
Sodio	19,02	mg.
Calcio	17,80	mg.
Fosforo	134,00	mg.
Potasio	446,00	mg.
Vitamina C	14,00	mg.

Fuente: MSyD, 2022.

2.7.2 Hojas de orégano mediterráneo en polvo

El orégano mediterráneo, "*Origanum vulgare*"; comprende más de dos docenas de diferentes especies de plantas, con flores y hojas mayor mente ubicado en latino américa que presentan un olor característico, ideal para el consumo en productos elaborados como obtención de aceite, panes, pizzas y salsas de tomate. (Herraiz, 2004) En la tabla 2.6 muestra su composición nutricional en 100 gramos de hojas de orégano mediterráneo:

Tabla 2.6

Composición nutricional de orégano mediterráneo en polvo

Componentes	Cantidad	Unidad
Proteína	11,00	g.
Grasa	10,30	g.
Hidratos de carbono	49,50	g.
Agua	29,50	g.
Calcio	1580,01	mg.
Hierro	44,00	mg.
Magnesio	27,01	mg.
Potasio	1670,02	mg.
Vitamina A	690,02	mg.

Fuente: (EFSA, 2010).

2.7.3 Manzana roja

La manzana roja, es un fruto carnoso (pomo); según su forma es redondeada, tiene una piel rojiza y sabor de los frutos difieren en una amplia gama pueden ser jugosas o arenosas, desde el punto de vista nutritivo la manzana es una de las frutas más completas y enriquecedoras en la dieta. (FAUTAPO, 2010). En la tabla 2.7 Se muestra la composición nutricional en 100 gramos de manzana roja:

Tabla 2.7

Composición fisicoquímica de la manzana roja

Componente	Cantidad	Unidad
Proteína	0,50	g
Hidratos de Carbono	20,20	g
Fibra	2,30	g
Agua	85,70	g
Potasio	120,00	mg
Vitamina C	10,00	mg

Fuente: EFSA, 2010.

2.7.4 Pasas de uva negra sin semillas

Las pasas de uva negra sin semillas son derivados de la uva, por lo tanto, contienen algunos de los polifenoles que son originarios de la fruta, como los flavonoles, quercetina y kaempferol y los ácidos fenólicos, caftárico y cutárico, junto con algunos otros productos que se forman durante el procesamiento. Los polifenoles aportan beneficios para salud, ya que presentan un efecto preventivo contra enfermedades cardiovasculares y accidentes cerebrovasculares. (Laborde et al., 2014).

2.7.5 Miel de abeja

La miel es una sustancia dulce y viscosa, por lo general de tono amarillo o dorado, que es producida por las abejas del género “*Apis Mellifera*” a partir del néctar de las flores o de algunas plantas. (Fatorri, 2004. Pág.4).

La miel de abeja sirve de apoyo en la fermentación para la preparación de la masa madre por aportar una variedad de nutrientes para el desarrollo de la masa, a su vez puede ir acompañada con agua de remojo de pasas de uva o manzana para crear una microbiota ideal para el desarrollo de la masa madre. (Marqués et al. 2002).

2.7.6. Agua potable para la hidratación de la masa madre

El agua potable es apta para el consumo humano que, tras un tratamiento adecuado, puede ser consumida sin que exista peligro para la salud, es limpia, transparente,

inolora o sabores desagradables y está libre de contaminante, es un ingrediente importante en la elaboración de la masa madre a la hora de hacer pan. (Doreste, 2010)

La función más importante del agua es hidratar las proteínas para formar el gluten o hacerse activas (enzimas), también el medio donde los azúcares presentes en la harina o generados por las enzimas se desplazarán y llegarán a los microorganismos que los necesitan para crecer, fermentar y multiplicarse. (Garnica et al., 2020).

2.7.7 Aceite de oliva

Los lípidos mayoritarios en el pan son las grasas de tipo insaturado, sobre todo ácidos oleico y linoleico, por lo que también se puede considerar una característica deseable en el pan por sus conocidos efectos saludables. Las grasas y aceites a nivel funcional limitan la fuerza de la trama de gluten, debido a que se asocian en algunos lugares que justamente atribuyen a formar la red de gluten. Se considera que la porción de no debe ser muy elevada si se desea alveolos y esponjosidad, debido a que el aceite puede crear masas planas ideales en panes tipo ciabatta y masa para pizzas. (Gimeno, 2013).

2.7.8. Sal fina de mesa

La sal fina es uno de los ingredientes básicos para la elaboración del pan su objetivo principal es dar sabor al pan. Además, es importante porque hace la masa más tenaz, actúa como regulador de la fermentación, favorece la coloración de la corteza durante la cocción y aumenta la capacidad de retención de agua en el pan. (Mesas et al., 2002).

2.8 Descripción del método de preparación para la elaboración de pan de campo con masa madre

Para el método de elaboración de pan de campo con masa madre se debe considerar la fermentación, la autólisis, el amasado y horneado del pan.

2.8.1 Fermentación

Según García (2004), la fermentación es la primera y más importante etapa para el tipo de pan de masa madre que se desea elaborar porque de ella depende la calidad organoléptica del producto final. (Pág. 13).

La masa agria o masa madre se elabora por una mezcla de harina y agua principalmente puede, realizarse con coadyuvantes como cascara y pulpa de manzana, vino, cerveza o kéfir de acuerdo al sabor que más gusté al consumidor final. (Garnica et al., 2020)

Dentro la fermentación las enzimas proteasas en el endospermo son capaces de romper la trama del gluten. para aumentar la extensibilidad. También colaboran con el sabor del pan, ya que al cortar las proteínas y generar aminoácidos libres (algunos de ellos sápidos) contribuyen al sabor de la miga y son los sustratos que durante la formación de la corteza participarán en la reacción de Maillard, dándole su sabor y aspecto característico (Garrica, 2020).

2.8.1.1 Fermentación láctica

La fermentación láctica se lleva a cabo en el citoplasma celular de microorganismos lactobacilos, fermentan la glucosa a través del glucolisis y otras hexosas a lactato en condiciones anaeróbicas, lo que conlleva a crear ácido láctico, responsable del sabor, textura novedosa en el pan de masa madre. (Reinhart, 2012) Durante la fermentación láctica se producen dos fenómenos:

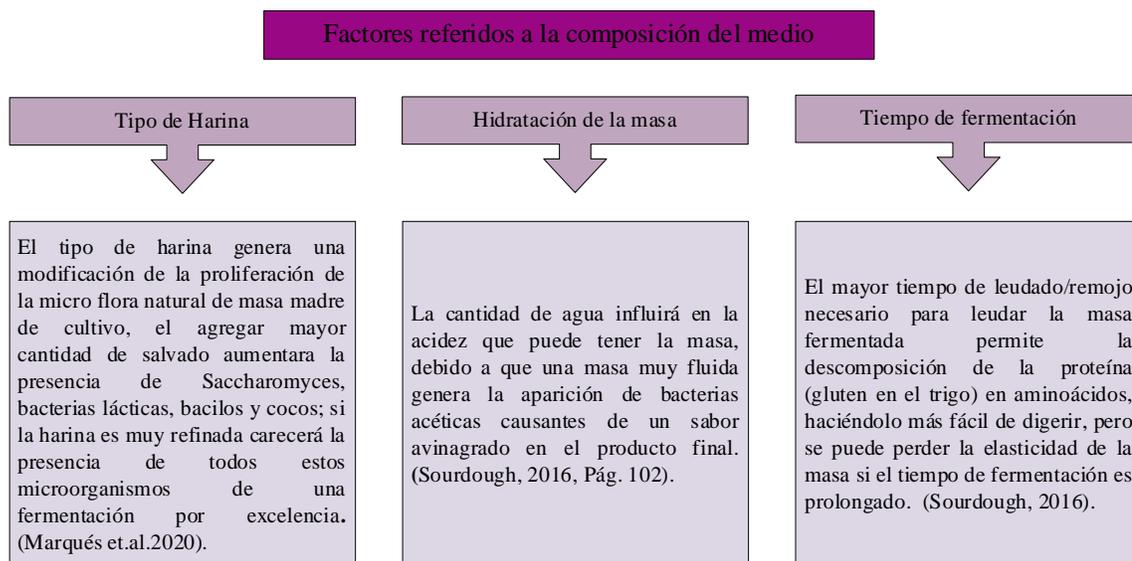
Por un lado, la levadura genera dióxido de carbono y alcohol – etanol -. Esos gases son los que facilitan el levado de la masa de pan, tanto cuando la masa reposa como en los primeros instantes del horneado, generando la estructura alveolar de la miga; por otro lado, la levadura produce un gran número de moléculas aromáticas, que son las que aportan el sabor al pan. La cantidad de moléculas de sabor producidas varía dependiendo, por un lado, de los parámetros de producción (tipo de harina, ingredientes de la fórmula, hidratación de la masa, tiempo de fermentación, etc.), y por otro, del metabolismo particular de cada levadura. (Hernández, 2020)

2.8.1.2 Factores que influyen en el proceso de fermentación de la masa madre

Según Kimbell (2020), existen muchos factores que influyen en el proceso de fermentación de la masa madre entre ellos destacamos:

2.8.1.2.1 Factores referidos a la composición del medio de crecimiento de la masa madre

En la figura 2.3 se muestra los factores referidos a la composición del medio que pueden afectar a la masa madre:



Fuente: Sourdought, 2016.

Figura 2.3: Factores referidos a la composición del medio

2.8.1.2.2 Factores propios de la masa madre

- ❖ **Acidez y pH:** En la masa la acidez total aumenta debido a la disolución del CO₂, producido por las levaduras. La acidez proporciona un equilibrio entre las bacterias lácticas y las levaduras. (Koppman,2020. Pág. 130).

2.8.1.2.3 Factores externos en la fermentación

- ❖ **Temperatura:** Un aumento de temperatura puede favorecer la formación de ácido láctico, pero no debe ser superior de 20-27°C, debido que si la temperatura se eleva o baja la probabilidad presencia de bacterias acéticas es más probable. (Mesas et al. 2004).

2.8.2 Autolisis

Autolisis o descanso de la masa entre (20 – 30) min., permite que las moléculas de glutenina y gliadina recién hidratadas con la harina se asocien de manera aleatoria sin ser guiadas en ninguna dirección en particular. (Garnica & Koppman, 2020. Pág. 102).

Según Raymond (2012), la autolisis consiste en separar una parte de la formula total de la harina (hasta un 25%) hidratarla con su correspondiente % de agua dejándola en reposo durante un lapso de 8 a 12 horas o incluso toda la noche. (Pág. 135).

A partir de ese momento la levadura genera dióxido de carbono y alcohol – etanol -. Esos gases son los que facilitan el levado de la masa de pan, tanto cuando la masa reposa como en los primeros instantes del horneado, generando la estructura alveolar de la miga. (Collster, 2006).

2.8.3 Amasado

El objetivo del amasado es incorporar aire a la masa y continuar desarrollando la trama del gluten, que luego será la responsable de que el pan tenga forma, sea liviano y posea una miga bien aireada. Este procedimiento se hará por unos siete a 10 minutos aproximadamente y ese será todo el amasado. (Reinhart, 2012).

La incorporación de aire durante el amasado y también en el plegado; tiene gran importancia, ya que las levaduras se encontrarán con una provisión de oxígeno que les permitirá respirar y realizar una utilización más eficiente de los azúcares presentes. En presencia de oxígeno pueden transformarlas en dióxido de carbono y agua, mientras que en ausencia de oxígeno dará n dióxido de carbono y alcohol. (Koppman, 2020).

2.8.3.1 Tipos de amasado para elaborar el pan

En los tipos de amasado destacaremos los principales en las industrias de panificación.

2.8.3.1.1 Amasado manual

El amasado manual a diferencia el amasado con maquina tiene ventajas distintas a considerar como la posibilidad sensorial de determinar el punto de amasado correspondiente, evitar el estiramiento excesivo de la masa, lograr que la red de gluten

sea delicada; aunque esta puede llegar a tardar más a comparación de un amasado a máquina. (Rodríguez, 2020).

2.8.3.1.2 Amasado con máquina

El amasado en maquina se realiza en forma circular hasta obtener una mezcla homogénea, lisa, aireada, flexible, elástica y brillante. Durante la mezcla, el agua moja las partículas de almidón y proteína (gluten), las moléculas de las proteínas se asocian en fibras y aprisionan el almidón en sus mallas, es preciso que la harina contenga la cantidad de gluten para poder envolver en la masa todos los gránulos de almidón. La otra etapa del amasado es precisamente para airear la masa y estirar las proteínas al fin de suavizarlo, logrando que las burbujas de aire se localizan sobre todo en la materia grasa. (López, 2012).

2.8.4 Horneado con bolsa de asar

En el horneado buscamos la cocción del pan a una temperatura que oscile entre (190 a 220) °C, con el método de cocción elegido. (Garriga & Koppman, 2020. Pág 78)

Lo que ocurre dentro de este proceso, es que el gluten coagula bajo el efecto del calor a la vez que los gránulos de almidón forman un engrudo. El gas carbónico producido de la levadura permanece atrapado en el interior de la masa logrando formar los futuros alveolos de la miga, el vapor que se atrapa con la bolsa de asar evita la formación temprana de la corteza para que se permita la expansión de la masa. (Kimbell, 2020).

El tiempo estimado con la bolsa de asar solamente debe ser (10 – 15) minutos, luego debe retirarse para continuar con la cocción que es entre (40 - 60) min para un kilo de pan (Gyobani, 2015.Pág 5).

2.8.4.1 Factores de control en el proceso de horneado

- ❖ **Temperatura:** Dependerá del tamaño y pieza de masa del tipo de receta e ingredientes que tenga la masa. (Garnica & Koppman, 2020. Pág. 54).
- ❖ **Tiempo:** El tiempo debe ser estimado por los mismos factores tamaño, ingredientes y longitud de la masa. (Gyobani, 2015. Pág. 31).

2.9 Importancia del vapor de agua en la cocción de un pan de campo con masa madre

La importancia del vapor de agua es evitar la formación temprana de la corteza sobre la superficie de la masa, logrando humedecerla, retardando su secado y deshidratación. Al estar húmeda, la superficie de la masa no pierde flexibilidad necesaria para ceder al empuje del gas carbónico generado por la masa madre que se produce durante los primeros minutos de cocción; todo ello se traduce de manera evidente en un aumento del volumen del pan. (Flecha, 2015).

Existe una gran variedad de incorporar vapor de agua en la cocción de un pan de masa madre entre las más populares de manera artesanal es el uso de un recipiente con agua caliente durante los primeros minutos de cocción, uso de cacerolas de hierro que eviten la salida del vapor o uso de las bolsas de asar. (Kimbell, 2020)

2.10 Efecto del uso de masa madre en la conservación de los productos de panificación

El deterioro de los productos de panadería incluye los cambios de distintas índoles que conducen a una menor aceptabilidad en el momento de su consumo, y cuya naturaleza física es: (perdida de la humedad y envejecimiento), química (rancidez) y microbiológica (crecimientos de mohos y bacterias). (Ribotta & Tadini, 2009).

Resulta que diversos de los metabolitos que se producen en la fermentación del pan con masa madre, como los ácidos acéticos, caproico y fórmico, entre otros compuestos que tienen una acción anti fúngica y actúan contra los mohos, impidiendo que el pan se eche a perder de tal manera que sin necesidad de conservantes químicos un pan de masa madre ofrece mayor durabilidad (García, 2010).

CAPÍTULO III

DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 Desarrollo de la parte experimental

El presente trabajo de “*Elaboración de pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano*”, se llevó a cabo en los Laboratorios de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (L.A.C.I.A). y el Taller de Alimento (L.T.A); ubicados en las instalaciones de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (U.A.J.M.S).

3.2 Tipo de intervención experimental

El presente trabajo de investigación “*Elaboración de pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano*”, se utilizó la metodología experimental con el fin de desarrollar un producto de calidad y novedoso a base de los siguientes:

- Análisis físico, fisicoquímico y microbiológico de la manzana, pasa de uva y harina de trigo.
- Análisis de sólidos solubles, acidez y pH, en las soluciones madres elaboradas a partir del fermento de manzana y pasas de uva
- Análisis de acidez, pH y humedad de pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano.
- Análisis del diseño factorial 2^3 en la dosificación y tiempo de fermentación del pan de campo con masa madre con ajo y orégano.
- Análisis sensorial de las muestras del pan de campo con masa madre.
- Análisis fisicoquímico y microbiológico del pan de campo con masa madre con ajo y orégano.
- Operalización de la variable en la elaboración de pan de campo con masa madre saborizado con ajo y oregano

3.3 Tipo de investigación

Según Hernández, 2001, la investigación descriptiva, es un tipo de estudio que tiene como propósito describir y explicar los fenómenos, es decir que mientras mejor y más preciso puedan medirse las variables a investigar, con mayor exactitud se podrán

describir los fenómenos observados, para finalmente controlar un proceso, desarrollar nuevos productos o teorías.

Una investigación descriptiva obviamente requiere tener conocimientos sólidos en el área que se desea investigar, como técnicas, instrumentación, análisis e interpretación de datos del proceso que se están estudiando para lograr mayor validez de los resultados. (Paz, 2017).

3.4 Paradigma

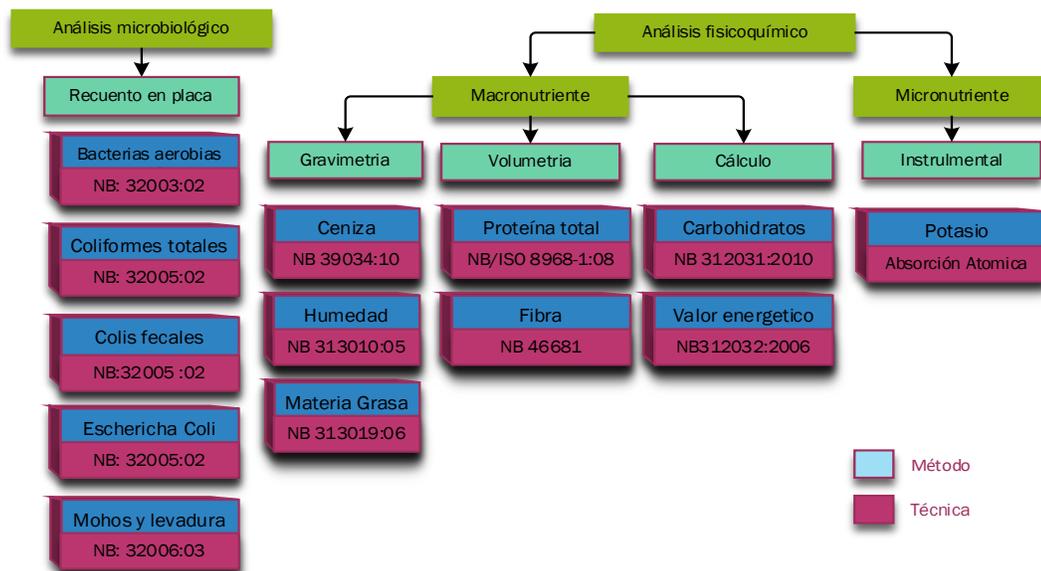
Según Martínez (2013), “un paradigma es positivista si se lleva a cabo en un sistema de investigación hipotético - deductivo, que tiene relación científica universal reconocido, que durante cierto tiempo proporcionan un modelo de problemas y soluciones por lo tanto permite un acercamiento a la realidad de los hechos para consolidar un conocimiento de los procesos observados, que se basa en recolección de datos y análisis estadísticos.

3.5 Tipo de enfoque

Según Ñaupus et al. (2018), un enfoque cuantitativo se caracteriza por utilizar métodos y técnicas, por ende, tiene que ver con la medición, el uso de magnitudes, la observación y medición de las unidades de análisis, el muestreo, el tratamiento estadístico; por lo tanto, utiliza la recolección de datos y el análisis de datos.

3.6 Métodos, técnicas, equipos e instrumentos

La recopilación de datos para una investigación se lleva a cabo mediante la aplicación de métodos, técnicas e instrumentos, los cuales se seleccionan según se trate la información cuantitativa de la investigación. (Sánchez et al., 2017. Pág. 75). Los métodos y técnicas que se utilizaron en el trabajo de investigación fueron las siguientes:

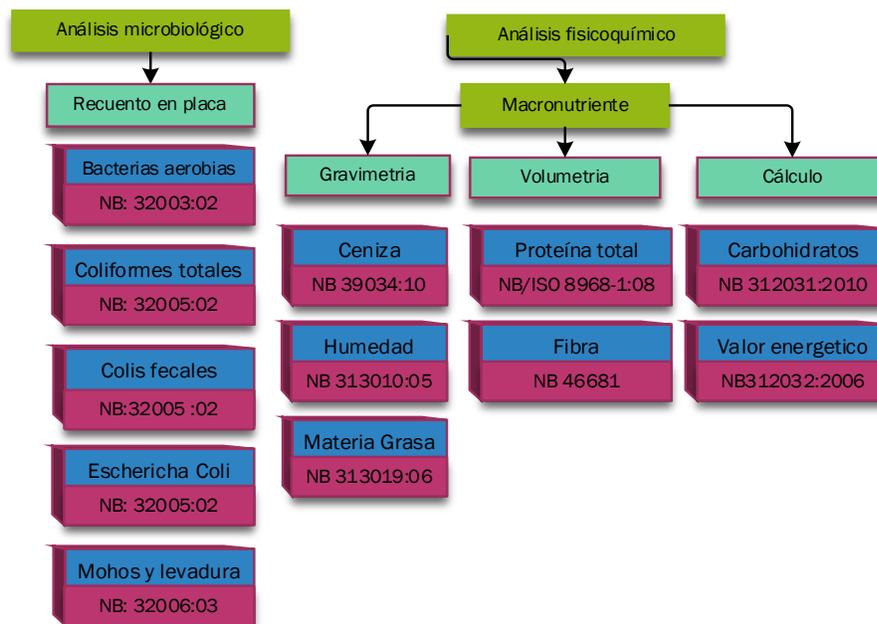


Fuente: CEANID, 2023.

Figura 3.2: Métodos y técnicas realizados en la pasa de uva negra sin semilla.

3.6.3 Métodos y técnicas para el análisis fisicoquímico y microbiológico para la harina de trigo

En la figura 3.3, se muestra los métodos y técnicas realizados en la harina de trigo.

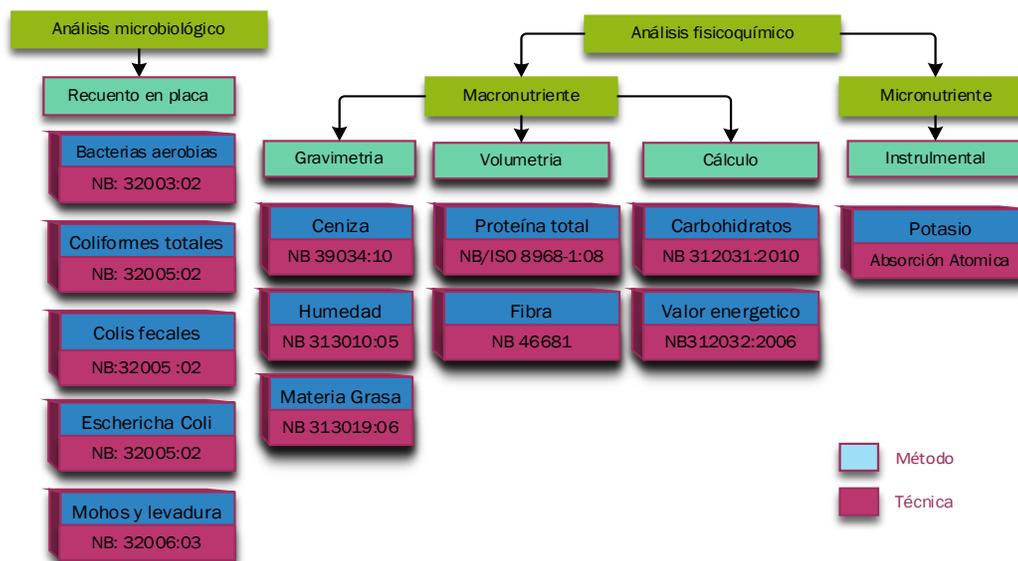


Fuente: CEANID, 2023.

Figura 3.3: Métodos y técnicas realizados en la harina de trigo.

3.6.4 Métodos y técnicas para el análisis fisicoquímico y microbiológico para pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano

En la figura 3.4, se muestran los métodos y técnicas realizados en el pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano.



Fuente: CEANID, 2023

Figura 3.4: Métodos y técnicas para el pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano.

3.6.5 Métodos y técnicas en el control de las variables en las soluciones madres

El control de las variables para las soluciones madres, se realizó en el pH, acidez y sólidos solubles; las cuales fueron controladas en el Laboratorio de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (L.A.C.I.A). En la figura 3.5, se muestra los métodos y técnicas utilizadas.

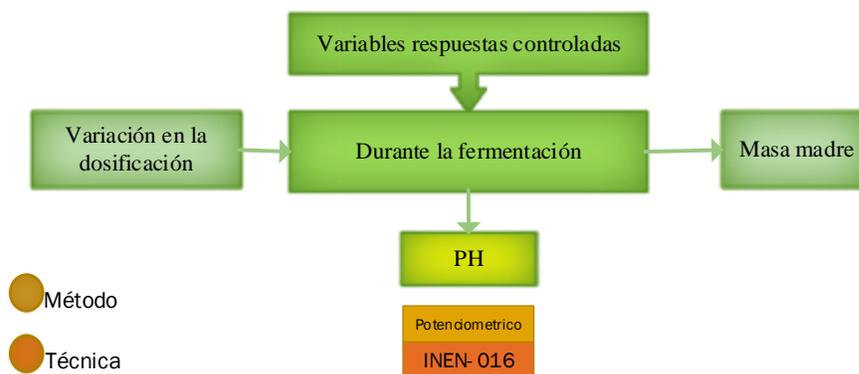


Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.5: Métodos y técnicas de control en soluciones madres.

3.6.6 Métodos y técnicas en el control de la variable en la masa madre

El control de la variable para la masa madre, se realizó en el pH; las cuales fueron controladas en el Laboratorio de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (L.A.C.I.A). En la figura 3.6, se muestra los métodos y técnicas utilizadas.

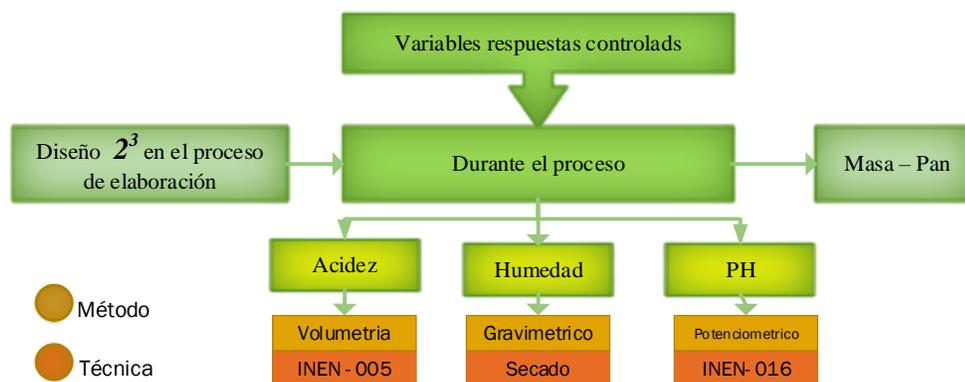


Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.6: Métodos y técnicas en el control de la masa madre.

3.6.7 Métodos y técnicas en el control de las variables respuestas del pan de campo de masa madre saborizado con ajo y orégano

El control de las variables respuestas para el trabajo de investigación, se realizó en el pH, acidez y contenido de humedad; las cuales fueron controladas en el Laboratorio de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (L.A.C.I.A). En la figura 3.7, se muestran los métodos y técnicas de las variables respuestas en el proceso de elaboración de pan de campo con masa madre en los diseños experimentales aplicados.

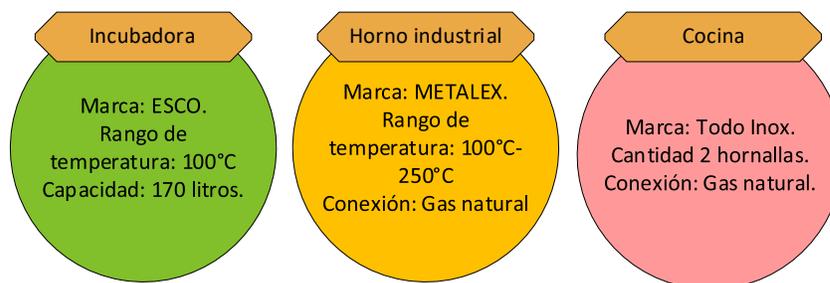


Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7: Métodos y técnicas para el control de las variables respuestas en el proceso de elaboración de pan de campo con masa madre.

3.6.8 Equipos utilizados en la elaboración de pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano

En la figura 3.8, se detallan las especificaciones técnicas de los equipos utilizados en el proceso de elaboración de pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano.



Fuente: L.A.C.I.A., 2023.

Figura 3.8: Equipos de proceso de elaboración de pan de campo saborizado .

3.6.9 Material de laboratorio utilizados en el proceso de elaboración de pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano

Se detalla el material de laboratorio necesario para elaborar pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano. (Anexo H)

- Vaso de precipitado: Material de vidrio, 500/100/50 ml.
- Malla: Material de amianto, mediano.
- Pipeta: Material de vidrio, 10/20 ml.

- Matraz volumétrico: Material de vidrio, 250 ml
- Vidrio reloj: Material vidrio, pequeño.
- Mortero: Material de porcelana, pequeño.
- Varilla: Material de vidrio, espesor 2/5 mm.
- Termómetro del alcohol: Material de vidrio, temperatura entre (10 a 110) °C.
- Termómetro de mercurio: Material de vidrio, temperatura entre (10 a 300) °C.

3.6.10 Instrumentos de laboratorio e utensilios de cocina utilizados en la elaboración de pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano

Los instrumentos utilizados para la elaboración de pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano se encuentran en el Laboratorio de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (L.A.C.I.A).

3.6.10.1 Utensilios de cocina para elaborar pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano

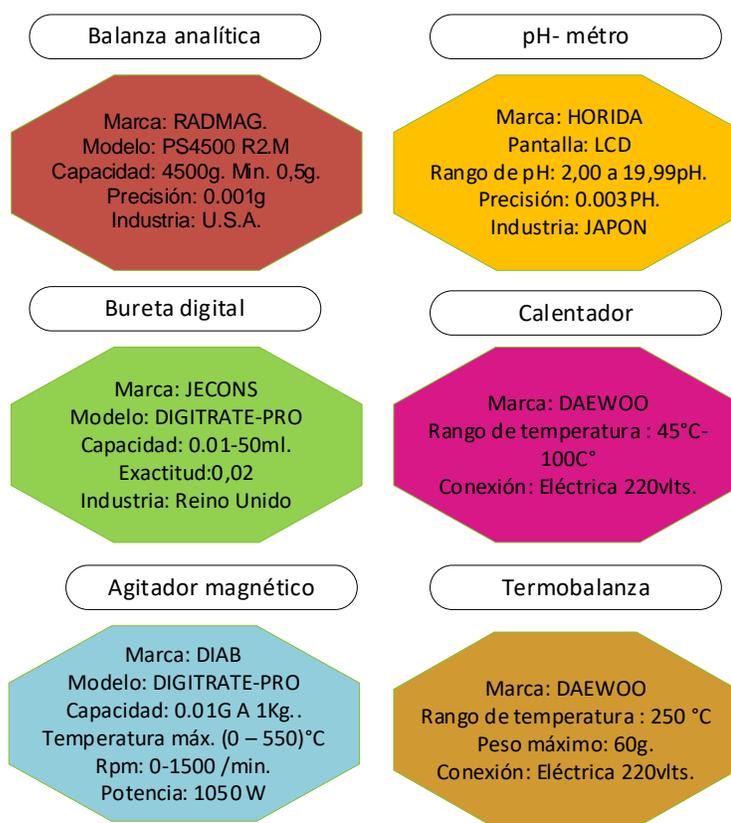
Los utensilios de cocina necesarios para el proceso, son los siguientes:

- ♦ Fuente de acero inoxidable mediano.
- ♦ Espátula de acero inoxidable pequeña.
- ♦ Dos espátulas de madera mediana
- ♦ Cucharilla de madera pequeña.
- ♦ Cornet de plástico (PVC) mediano.
- ♦ Viandas de plástico (PVC) medianas.
- ♦ Bandeja de horno de acero mediana.
- ♦ Bandeja resistente al calor de acero pequeña.
- ♦ Frasco hermético de vidrio tamaño mediano
- ♦ Jarra de plástico (PVC) de un litro.
- ♦ Dos trapos de algodón
- ♦ Un par de guantes de algodón.
- ♦ Bolsas para horno libre de siliconas y BPA temperatura entre 10 a 220°C, tamaño 25x40cm.
- ♦ Bolsa Ziploc (PVC), mediana.

- ♦ Papel adhesivo, tamaño carta.

3.6.10.2 Instrumentos de laboratorio utilizados en el proceso de elaboración de pan de campo con masa madre

En la figura 3.9, se muestran las especificaciones técnicas de los instrumentos necesarios para la determinación de las variables del pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano.



Fuente: L.A.C.I.A, 2023.

Figura 3.9: Instrumentos de laboratorio.

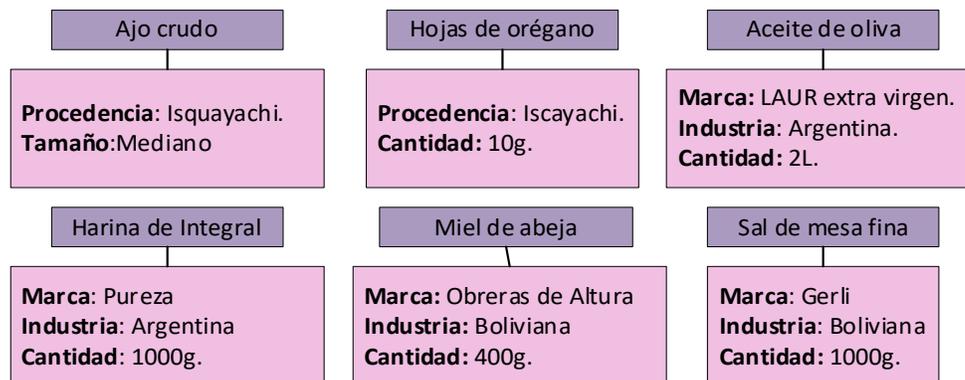
3.6.11 Reactivos químicos

Los reactivos químicos utilizados para realizar la determinación del parámetro de acidez fueron:

- **Hidróxido de sodio:** Biopack. 0,1N.
- **Fenolftaleína:** Biopack. 0,1%.

3.6.12 Insumos alimentarios

En la figura 3.10, se muestran los insumos alimentarios para la elaboración de pan de campo con masa madre saborizado con masa madre fueron:



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.10: Insumos alimentarios para la elaboración.

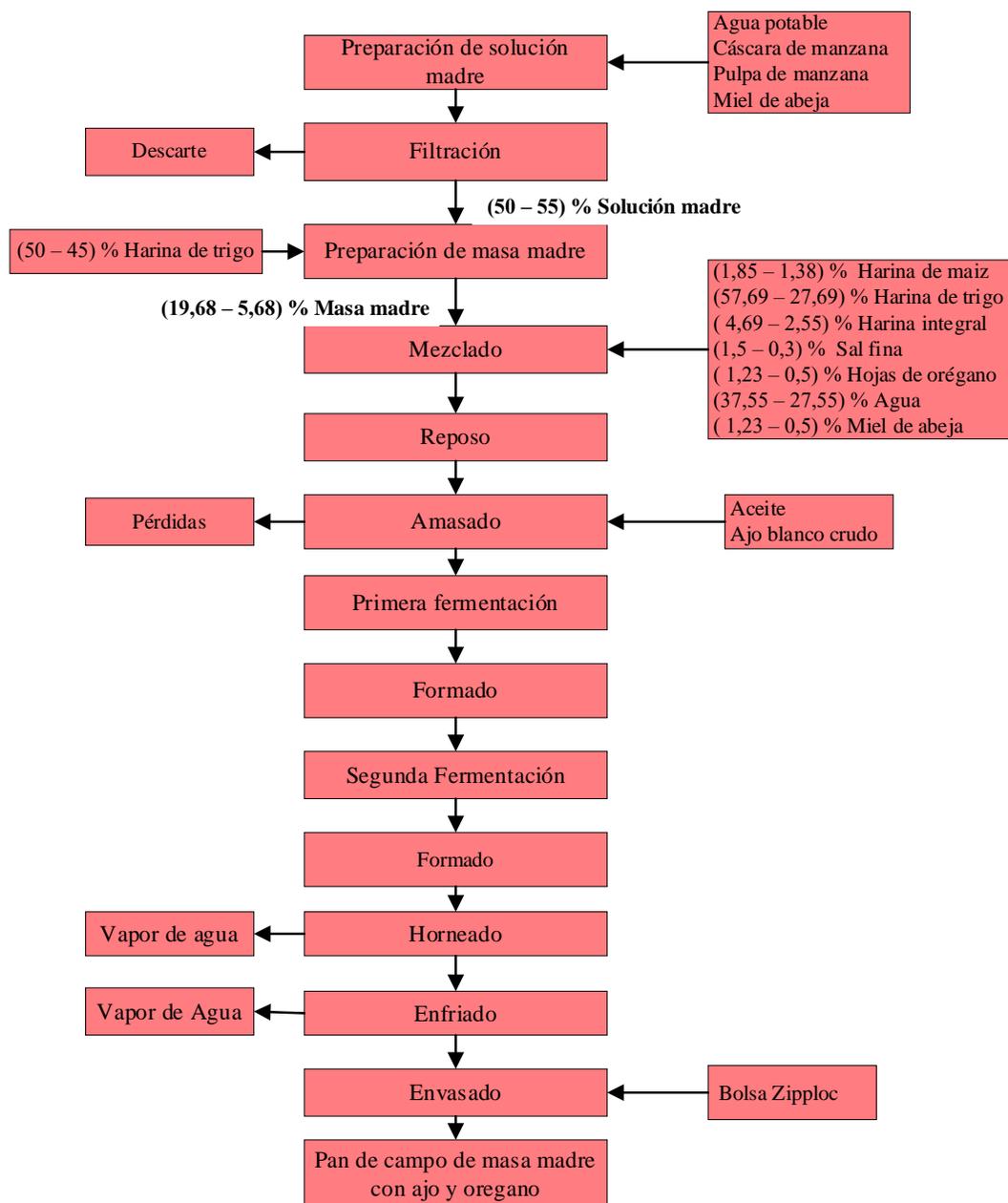
3.6.13 Software exclusivo aplicado para la resolución de datos en el proceso de pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano

Los programas de software que se utilizaron en el presenta trabajo de investigación son:

- **Software Estadístico**
 - Statgraphics, Versión 2017
 - Minitab; Versión 2017.

3.7 Diagrama de flujo del proceso para la elaboración de pan de campo con masa madre

En la figura 3.11, que se presenta el diagrama de flujo para la elaboración de pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.11: Diagrama del flujo del proceso para la elaboración del pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano.

3.7.1 Descripción del diagrama de flujo del proceso de elaboración de pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano

A continuación, se realiza la descripción del diagrama de flujo para la elaboración de pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano.

3.7.1.1 Preparación de la solución madre

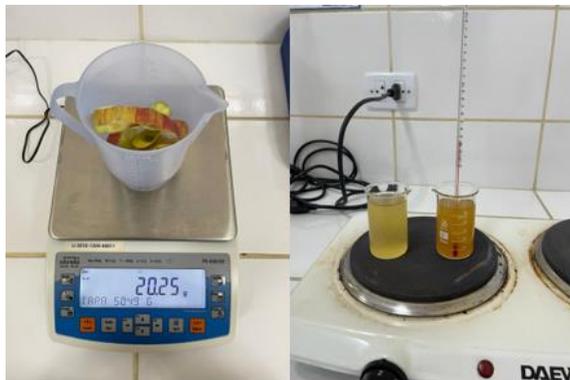


Fuente: Elaboración propia
Figura 3.12: Solución madre

Para la preparación de la solución madre a partir de la manzana roja se utilizó la pulpa y cáscara sin el corazón, agua endulzada con miel de abeja en un frasco de vidrio esterilizado con agua caliente por veinte minutos, se deja enfriar 10 minutos, tras ese proceso se lleva a una fermentación anaeróbica por dos días a una temperatura ambiente de 25°C (figura 3.12), con la finalidad de obtener una solución rica en azúcares, que permita la reproducción de levaduras.

Tras dos días de fermentación de la solución madre se debe filtrar la cascara junto con la pulpa para obtener únicamente una solución líquida libre de residuos sólidos.

3.7.1.2 Filtración de la solución madre



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.13: Separación sólidos y líquidos

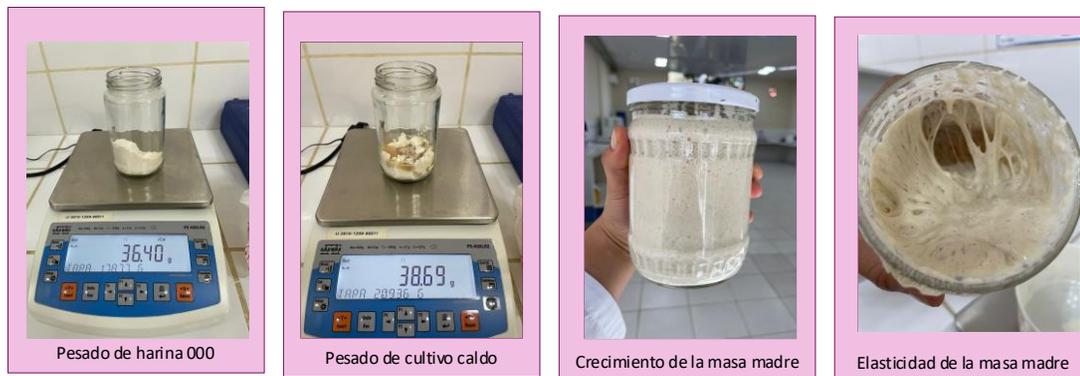
El filtrado de la solución madre, se realizó mediante un colador pequeño de polipropileno, separando la pulpa y cáscara de la solución líquida.

En la figura 3.13, se muestra lo obtenido después de la filtración sólidos y líquidos.

3.7.1.3 Preparación de la masa madre

Para preparar la masa madre se utilizó una relación entre 1:1 (harina de trigo - solución madre de manzana) y 1:1.2 (harina de trigo – solución madre), se mezcló en un frasco esterilizado con un cuchara metálica hasta obtener una papilla homogénea, al lograr esa consistencia se lleva a una fermentación anaeróbica por doce horas a una

temperatura ambiente de 25°C, al cumplir ese tiempo y esas condiciones la masa madre habrá alcanzado el doble o hasta el triple de su volumen inicial en el frasco, se podrá saber que la masa madre está activa cuando la mezcla haya generado carbonatación (presencia de burbujas) y una elasticidad notable. En la figura 3.14, se observa la preparación de la masa madre, pesado de la harina de trigo, pesado de la solución madre, el crecimiento en el frasco y la elasticidad obtenida.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 3.14: Preparación de la masa madre

3.7.1.4 Mezclado

El mezclado se realiza en un recipiente polietileno, donde se mezclaron con ayuda de una cuchara la finalidad de mezclado es integral todos los ingredientes hasta obtener una masa consistente y ligeramente húmeda. En el cuadro 3.15 se detallan los ingredientes utilizados junto con la figura 3.15, se muestra el momento del mezclado.

Cuadro 3.1

Ingredientes del proceso de mezclado

Ingredientes (%)	Proceso
<ul style="list-style-type: none"> • (19,68 – 5,68) Masa madre • (57,69 – 27,69) Harina de trigo • (1,85 – 1,38) Harina de maíz • (4,97 – 2,55) Harina de trigo integral • (37,55 – 27,55) Agua • (0,5 - 0,3) Sal de mesa fina • (1,23 – 0,5) Miel de abeja • (0,30 – 0,20) Hojas de orégano 	 <p>Fuente: Elaboración propia Figura 3.15: Mezclado</p>

Fuente: Elaboración propia.

3.7.1.5 Reposo

Es el período de descanso de la masa después de la mezcla inicial de todos los ingredientes a temperatura ambiente de 25°C en bandeja con tapa, a este proceso anaeróbico se lo denomina autólisis, la finalidad es que las enzimas intracelulares degraden el gluten, generando mayor elasticidad en la masa y facilitando el amasado.

En la figura 3.16 se muestra la masa lista para el reposo.

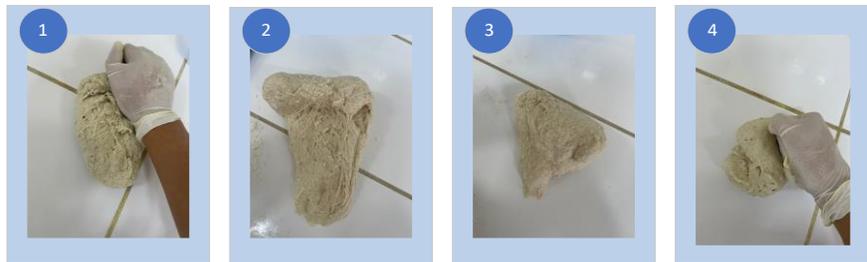


Fuente: Elaboración Propia
Figura 3.16: Reposo de la masa

3.7.1.6 Amasado

El amasado de la masa se realizó de manera manual hasta obtener una suavidad y firmeza notable, por un tiempo de 7 minutos, la técnica que se empleó consiste en aplastar la masa hasta estirla ligeramente y doblarla sobre sí misma para iniciar el proceso de nuevo con el fin de obtener una miga homogénea poco alveolada.

En la figura 3.17, se muestra la técnica de amasado que se empleó para la elaboración de pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano.



Fuente: Elaboración propia.
Figura 3.17: Técnica de amasado

3.7.1.7 Primera Fermentación



La primera fermentación se lleva a cabo en una bandeja herméticamente cerrada por dos horas a temperatura controlada de 26°C en incubadora de laboratorio. En la figura 3.18, se muestra la masa en la incubadora de laboratorio.

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.18: Primera fermentación

3.7.1.8 Formado

La masa se coloca sobre la mesada, es en este momento donde se agrega el ajo blanco crudo picado y el aceite de oliva si bien se los integra, no se amasa porque no se desea desgasificar la masa, luego se comienza a dar la forma clásica de un pan de campo. En la figura 3.19, se muestran los panes ya formados en sus bandejas.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.19: Panes formados

3.7.1.9 Segunda fermentación



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.20: Segunda fermentación representado en la figura 3.20.

La segunda fermentación se la masa nuevamente ingresa a la incubadora de laboratorio la misma temperatura de 26°C, por un tiempo entre (3 – 5) horas, la masa ingresa al equipo protegida con una bolsa de polipropileno con la finalidad de evitar que se reseque la corteza y puede crecer 2 a 3 veces su volumen inicial,

3.7.1.9 Horneado

El horneado de la masa se realizó en una bandeja de aluminio, en el horno semi industrial; se procedió a pre calentar el horno por un tiempo de 15 minutos, mientras transcurre ese tiempo la masa se retira de la incubadora de laboratorio y se le realiza un corte perpendicular de 45° antes de ser colocada en las bolsas de horno (material similar al plástico sin PET apto para alimentos), cuidadosamente la masa ingresa en la bolsa y se cierra herméticamente casi al borde con un precinto para evitar pérdidas de vapor de agua con el fin de que el pan pueda tener aún más volumen.

Al haber pasado el tiempo el horno habría alcanzado una temperatura de 190°C que debe mantenerse constante hasta finalizar todo el horneado, para verificar que la temperatura permanezca durante todo el horneado constante se utiliza un termómetro de mercurio ubicado en la salida de aire caliente; el horneado con bolsa solo debe ser entre (10 – 12) minutos, transcurrido ese tiempo se debe retirar la bolsa y continuar el horneado por 15 minutos más para finalizar el proceso de horneado. En la figura 3.21, se muestra el corte perpendicular de la masa, la masa con bolsa de horno al finalizar los 11 minutos y el pan saliendo del horno.



Corte perpendicular



Horneado con bolsa de horno



Pan horneado

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.21: Proceso de horneado

3.7.1.11 Enfriado

El enfriado de la masa, consiste en retirar el pan del horno y dejarlo reposar por un tiempo de 25 minutos, en una superficie que permita una aireación de la base del mismo, no se debe tapar el pan para evitar el exceso de humedad que produciría un pan

gomoso y corteza poco crujiente. En la figura 3.22, se puede apreciar los panes durante el tiempo que estuvieron enfriando.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.22: Enfriado de pan de campo con masa madre.

3.7.1.12 Envasado

En la figura 3.23, se muestra el envasado del pan de masa madre utilizando bolsas de polietileno con cierre hermético tipo ziploc, que bloquea la entrada de aire u olores extraños del medio que lo rodea, también evita que la humedad se escape logrando mayor durabilidad del pan.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.23: Pan envasado.

3.8 Análisis sensorial de alimentos

Según Sancho et al., (1999), menciona... “la valoración sensorial es una función que la persona realiza desde la infancia que la lleva de manera consciente o inconsciente, al aceptar o rechazar los alimentos de acuerdo con las sensaciones experimentadas al observarlos o ingerirlos”. (Pág. 23).

La calidad estética de un alimento recae en la apreciación de sus caracteres organolépticos como aspectos de olor, sabor, textura y el método actual de análisis sensorial permite en forma más científica y objetiva la evaluación de estos caracteres, que tanto influyen la aceptabilidad del alimento y las bebidas en los consumidores. (Rovira, 2001).

El análisis sensorial que se utilizó en el trabajo de investigación fue con el propósito de conocer el agrado y desagrado del producto del Pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano, utilizando una escala hedónica de 5 a 7 puntos para la recolección de datos a jueces no entrenados. En la figura 3.24 se muestra las evaluaciones sensoriales realizadas todo el proceso de elaboración pan de campo con masa madre utilizando jueces no experimentados.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.24. Evaluación sensorial para la elaboración de pan de campo con masa madre.

3.9 Diseño experimental

El diseño de experimentos también puede definirse como un proceso que consiste en plantear los pasos necesarios que se deben seguir, así como el orden de estos, para una recolección y posterior análisis de la información que requiere estudiar un problema de investigación. (Fernández, 2020).

3.9.1 Diseño factorial

Un diseño factorial, es el estudio de relaciones multivariadas, esto es, cuando se conoce que más de una variable independiente determina el efecto que se desea estudiar. Los niveles o categorías de las variables se combinan entre sí dando lugar a diversas alternativas o tratamientos. Los sujetos o grupos se asignan aleatoriamente a los diferentes tratamientos. Para la aplicación de estos diseños es necesario contar con igual número de grupos de sujetos. (Bernal, 2010).

Según Fernández, (2020) menciona... cada una de las combinaciones se convierte en una condición para el experimento. Esto produce que los experimentos sean más eficientes, dado que se puede proporcionar información de los efectos de todos los factores en relación a los niveles de los otros (Pág. 25).

3.10 Diseño factorial 2^k

Son denominados diseño factorial 2^k a los diseños en los cuales cada uno de los factores cuenta con dos niveles, es decir cuando se realiza un experimento con un número de factores k en el que cada uno de estos solo puede adoptar dos niveles. Estos niveles podrían ser cuantitativos o cualitativos y una réplica completa de tal diseño requiere que realizar 2^k combinaciones. (Fernández, 2020).

3.10.1 Diseño factorial 2^3

Con el diseño factorial 2^3 se estudian 3 factores en dos niveles. Consta de 8 tratamientos diferentes, en este diseño se puede estudiar $2^3 - 1 = 7$ efecto, tres efectos principales A,

B, C; tres interacciones dobles AB, AC, BC y una interacción triple ABC, siendo este quizá un efecto de menos relevancia, sin embargo, es recomendable que su valor se mantenga pequeño, además que, al incluirse en el análisis, puede ayudar a mejorar la perspectiva de algunas gráficas. (Gutiérrez & De la Vara, 2008).

Como deseamos estudiar tres variables independientes (X_1 , X_2 , X_3) componentes del producto estudiado, que puede presentar dos niveles (alto y bajo).

En la siguiente ecuación 3.2, se muestra el diseño experimental 2^3

Ecuación 3.1

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{123} X_1 X_2 X_3$$

Donde:

Y = Variable dependiente (respuesta)

(X_1, X_2, X_3) = Variables independientes.

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{23}$ y β_{123} = Coeficientes a estimar en el modelo.

En la siguiente ecuación 3.2, se muestra el diseño factorial aplicado en la parte experimental del presente trabajo.

2^k

Ecuación 3.2

Donde:

2 = Número de niveles

k = Número de tratamientos

3.10.2 Diseño factorial 2^3 en la dosificación y tiempo de fermentación en la elaboración pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano

En el trabajo de investigación de elaboración de pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano, se tomó en cuenta las siguientes variaciones, porcentaje de cultivo de masa madre, cantidad de agua y tiempo de fermentación, que contará con

dos niveles. En la tabla 3.1, se detallan los niveles de variación utilizados para la elaboración del diseño para las variables, tomadas en cuenta para el proceso de dosificación y tiempo de fermentación.

Tabla 3.1

Nivel de variación de los factores en el proceso dosificación y tiempo de fermentación

Variables	Nivel inferior	Nivel Superior	Unidad
Porcentaje de agua	28,98	32,98	%
Porcentaje de cultivo madre	9,68	5,68	%
Tiempo de fermentación	5	7	h

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 3.2, se muestra la disposición matricial de las variables respuestas que se utilizaron en la etapa de dosificación y tiempo de fermentación en la elaboración de pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano.

Tabla 3.2

Matriz experimental de las variables en la etapa de dosificación y tiempo de fermentación

Combinaciones	Factores			Interacción				Respuestas		
	A	B	C	AB	AC	BC	ABC	pH	Humedad	Acidez
(1)	-	-	-	+	+	+	-	Y ₁	Y ₁	Y ₁
A	+	-	-	-	-	+	+	Y ₂	Y ₂	Y ₂
B	-	+	-	-	+	-	+	Y ₃	Y ₃	Y ₃
AB	+	+	-	-	-	-	-	Y ₄	Y ₄	Y ₄
C	-	-	+	+	-	-	+	Y ₅	Y ₅	Y ₅
AC	+	-	+	-	+	-	-	Y ₆	Y ₆	Y ₆
BC	-	+	+	-	-	+	-	Y ₇	Y ₇	Y ₇
ABC	+	+	+	+	+	+	+	Y ₈	Y ₈	Y ₈

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.2, se muestra la matriz experimental en la etapa de dosificación y tiempo de fermentación, donde:

Y = Variable dependiente (pH, humedad y acidez).

3.12. Operalización de las variables para la elaboración de pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano.

En el cuadro 3.2, se muestra la operalización de variable que se realizó para elaborar el pan de campo de masa madre saborizado con ajo y orégano.

Cuadro 3.2

Operalización de la variable

Hipótesis	Variables		Conceptualización de la variable	Subvariables	Indicadores
La aplicación de la <i>metodología experimental de panificación</i> , permite obtener un <i>pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano</i> innovador y de calidad nutricional para la provincia de Cercado.	Independiente	Metodología experimental de panificación	Hace referencia a los métodos utilizados para desarrollar panes con maquinaria, o equipos bajo registro sanitario y nutricionales (Isque, 2014)	Dosificación	(%)
				Fermentación	(min)
	Dependiente	Pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano	Se considera pan de masa madre de consistencia esponjosa o no, resultante de la fermentación natural de levaduras y bacterias. (FAO, 2015)	Humedad	(%)
				Hidratos de Carbono	(%)
				Proteína	(%)
				Materia Grasa	(%)
				Fibra	(%)
				Ceniza	(%)
				Valor energético	(Kcal/100g)
				Potasio	(mg/100g)
				Acidez	(%)
				pH	(pH)
Mohos y levaduras	(UFC/g)				
Coliformes totales	(UFC/g)				
Bacterias Aerobicas	(UFC/g)				
Coliformes fecales	(UFC/g)				

Fuente: Elaboración propia.

CÁPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización de la manzana roja, pasa de uva y harina de trigo

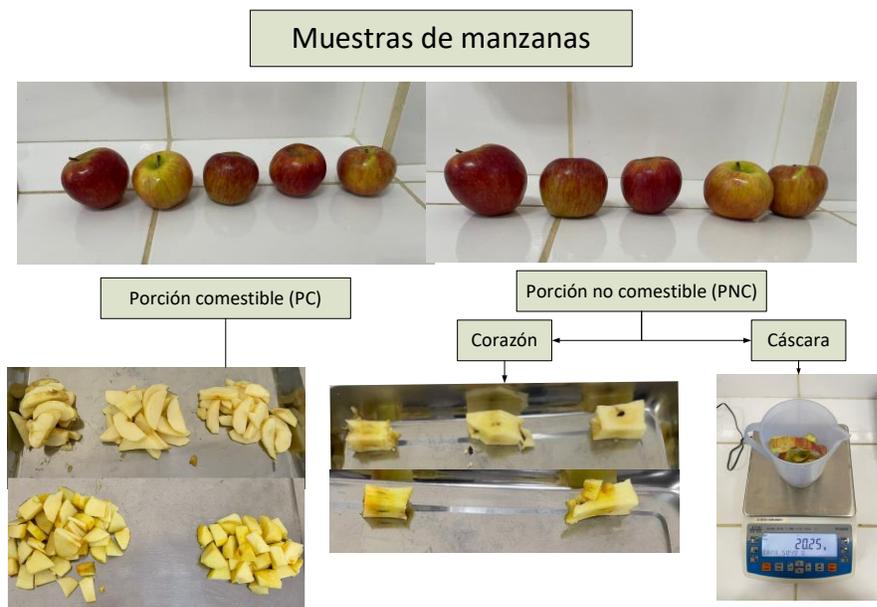
En la caracterización de la manzana roja, pasa de uva y harina de trigo, se tomaron en cuenta distintos parámetros según la materia prima, los cuales se detallan a continuación

4.1.1 Caracterización de la manzana roja

Para la caracterización de la manzana variedad roja, se tomaron en cuenta los análisis: físicos, análisis fisicoquímico y análisis microbiológico.

4.1.1.1 Análisis físico de la manzana

Para la determinación del análisis físico de la manzana variedad roja, se utilizaron 10 muestras elegidas aleatoriamente al azar, donde se tomaron en cuenta los parámetros de peso inicial, manzana limpia y seca, peso del corazón y descarte (porción no comestible), la pulpa y cáscara (peso de la porción comestible), en la figura 4.1 se observa el esquema para su determinación de los análisis físicos.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.1: Esquema de determinación del análisis físico.

A continuación, los resultados obtenidos del análisis físico de la manzana, se muestra en la tabla 4.1; los cuales fueron realizados en el Laboratorio dependiente de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (L.A.C.I.A).

Tabla 4.1

Análisis físico de la manzana variedad roja

<i>Peso inicial manzana (g)</i>	<i>Peso de la manzana Limpia y Seca (g.)</i>	<i>Peso cáscara (g.)</i>	<i>Peso Porción no comestible (g.)</i>	<i>Peso Porción comestible (g.)</i>	<i>PNC (%)</i>	<i>Peso cascara (%)</i>	<i>PC (%)</i>
159,43	159,57	15,58	22,64	116,67	9,76	14,20	73,18
143,77	143,99	15,61	14,04	113,19	10,84	9,77	78,39
141,37	142,12	12,68	15,45	112,24	8,92	10,87	79,39
128,06	128,16	12,92	22,74	104,52	10,08	17,76	81,62
135,61	135,72	14,34	13,82	106,99	10,57	10,19	78,89
141,83	141,84	15,23	14,27	111,85	10,95	10,74	78,86
144,05	144,05	16,20	24,67	102,51	11,25	11,25	71,16
136,82	136,92	12,87	23,45	103,32	9,39	9,41	75,52
140,85	140,85	15,64	14,65	113,45	11,10	10,40	80,75
152,32	152,35	14,43	21,11	117,82	9,47	13,85	77,35
<i>142,41±0,01</i>	<i>142,54±0,01</i>	<i>14,55±0,01</i>	<i>18,68±0,01</i>	<i>110,26±0,01</i>	<i>10,21</i>	<i>13,12</i>	<i>77,42</i>

Fuente: Elaboración propia.

Donde X= promedio

En la tabla 4.1, se puede observar los valores promedios del análisis físico de la manzana los cuales presentan: Un peso inicial $142,41 \pm 0,01$ g, peso de la manzana limpia y seca $142,54 \pm 0,01$ g; peso de la cáscara de 10,21%, peso de la porción no comestible 13,12% y porción comestible de 77,42% en porcentaje.

4.1.1.2 Análisis fisicoquímico de la manzana

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

Tabla 4.2*Análisis fisicoquímicos de manzana variedad roja*

Parámetros	Unidad	Resultado
Ceniza	%	0,37
Fibra	%	0,69
Grasa	%	0,09
Hidratos de carbono	%	15,03
Humedad	%	82,97
Proteína total (Nx5,70)	%	0,85
Potasio	mg/100g	102,00
Valor energético	Kcal/100g	64,33

Fuente: CEANID,2023.

En la tabla 4.2, se puede observar los datos obtenidos del análisis fisicoquímico realizados a la manzana variedad roja, que presenta: Fibra 0,69%, ceniza 0,37%, materia grasa 0,09%, hidratos de carbono 15,06%, humedad 82,97%, proteína total (N x 5,70) 0,85% y valor energético de 64,33 Kcal/100g, Potasio 102,00 mg/100g.

4.1.1.3 Análisis microbiológico de la manzana roja

En la tabla 4.3, se detallan los resultados obtenidos del análisis microbiológico de la manzana roja de datos extraídos del (ANEXO A).

Tabla 4.3*Análisis microbiológico de la manzana roja*

Microorganismos	Unidad	Resultado
Bacterias aerobias mesófitas	UFC/g	5,2 x 10 ²
Coliformes fecales	UFC/g	<1,0 x 10 ¹ (*)
Coliformes totales	UFC/g	<1,0 x 10 ¹ (*)
Escherichia coli	UFC/g	<1,0 x 10 ¹ (*)
Mohos y levaduras	UFC/g	<1,0 x 10 ¹ (*)

Fuente: CEANID,2023.

En la tabla 4.3, se observa los resultados obtenidos del análisis microbiológico de la manzana roja, que presenta: Bacterias aerobias mesófitas 5,2 x 10² UFC/g, Coliformes fecales <1,0 x 10¹ (*) UFC/g, Coliformes totales <1,0 x 10¹ (*) UFC/g, Escherichia coli <1,0 x 10¹ (*) UFC/g, Mohos y levaduras <1,0 x 10¹ (*) UFC/g. En donde (*) = No se observa desarrollo de colonias.

4.1.2.1 Caracterización de la pasa de uva negra

Para la caracterización de la pasa de uva negra variedad *Flame Seedles*; se tomaron en cuenta los parámetros del análisis fisicoquímico y microbiológico.

Tabla 4.4

Análisis fisicoquímico de la pasa de uva negra Flame Seedles

Parámetros	Unidad	Resultado
Ceniza	%	2,62
Fibra	%	1,15
Grasa	%	0,25
Hidratos de carbono	%	81,97
Humedad	%	12,38
Proteína total (N x 6,25)	%	1,63
Potasio	mg/100g	677,00
Valor Energético	Kcal/100g	336,65

Fuente: CEANID,2023

En la tabla 4.4, se puede observar los datos obtenidos del análisis fisicoquímico que presenta: Fibra 1,15%, ceniza 2,62%, materia grasa 0,25%, hidratos de carbono 81,96%, humedad 12,38%, proteína total (N x 6,25) 1,63% y valor energético de 336,65Kcal/100g y Potasio 677,00 mg/100g.

4.1.2.2 Análisis microbiológico de la pasa de uva Flame Seedles

En la tabla 4.5, se detallan los resultados obtenidos del análisis microbiológico de las pasas de uva negra de datos extraídos del (ANEXO A).

Tabla 4.5

Análisis microbiológico de la pasa de uva negra Flame Seedles

Microorganismos	Unidad	Resultado
Bacterias aerobias mesófilas	UFC/g	$8,0 \times 10^2$
Coliformes fecales	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$ (*)
Coliformes totales	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$ (*)
Escherichia coli	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$ (*)
Mohos y levaduras	UFC/g	$6,7 \times 10^2$

Fuente: CEANID, 2023.

En la tabla 4.5, se observa los resultados obtenidos del análisis microbiológico de la pasa de uva negra Flame Seedles, que presenta: Bacterias aerobias mesófitas $8,0 \times 10^2$ UFC/g, Coliformes fecales $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g, Coliformes totales $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g y Escherichia coli $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g, Mohos y levaduras de $6,7 \times 10^2$ UFC/g. En donde (*) = No se observa desarrollo de colonias.

4.1.3. Caracterización de la harina de trigo

En la caracterización de la harina de trigo, se tomaron en cuenta los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que se detallan a continuación:

4.1.3.1 Análisis fisicoquímico de la harina de trigo 000

En la tabla 4.6, se detallan los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la harina de trigo 000 de datos extraídos del (ANEXO A).

Tabla 4.6

Análisis fisicoquímico de la harina de trigo 000

Parámetros	Unidad	Resultado
Ceniza	%	0,75
Fibra	%	1,70
Fósforo	mg/100g	38,00
Grasa	%	0,78
Hidratos de carbono	%	74,54
Humedad	%	11,13
Proteína total (Nx5,70)	%	11,10
Potasio	mg/100g	162,00
Valor Energético	Kcal/100g	349,58

Fuente: CEANID, 2023.

En la tabla 4.6, se puede observar los datos obtenidos del análisis fisicoquímico: fibra 1,70%, ceniza 0,75%, materia grasa 0,78%, hidratos de carbono 74,54%, humedad 11,13%, proteína total (Nx5,70) 11,10% y valor energético de 349,58 Kcal/100g. Potasio 162,00 mg/100g y fósforo 38,00 mg/100g.

4.1.3.2 Análisis microbiológico de la harina de trigo 000

En la tabla 4.7, se detallan los resultados obtenidos del análisis microbiológico de la harina de trigo 000 de datos extraídos del (ANEXO A).

Tabla 4.7

Análisis microbiológico de la harina de trigo 000

Microorganismos	Unidad	Resultado
Bacterias aerofilas mesofilas	UFC/g	$7,0 \times 10^3$
Coliformes fecales	UFC/g	$1,2 \times 10^2$
Coliformes totales	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$ (*)
Escherichia coli	UFC/G	$<1,0 \times 10^1$ (*)
Mohos y levaduras	UFC/g	$7,0 \times 10^2$

Fuente: CEANID, 2023.

En la tabla 4.7, se observa los resultados obtenidos del análisis microbiológico de la harina de trigo 000, que presenta: Bacterias aerobias mesófitas $7,0 \times 10^3$ UFC/g, Coliformes fecales $1,2 \times 10^2$ UFC/g, Coliformes totales $< 1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g y Escherichia coli $< 1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g, Mohos y levaduras de $7,0 \times 10^2$ UFC/g. En donde (*) = No se observa desarrollo de colonias.

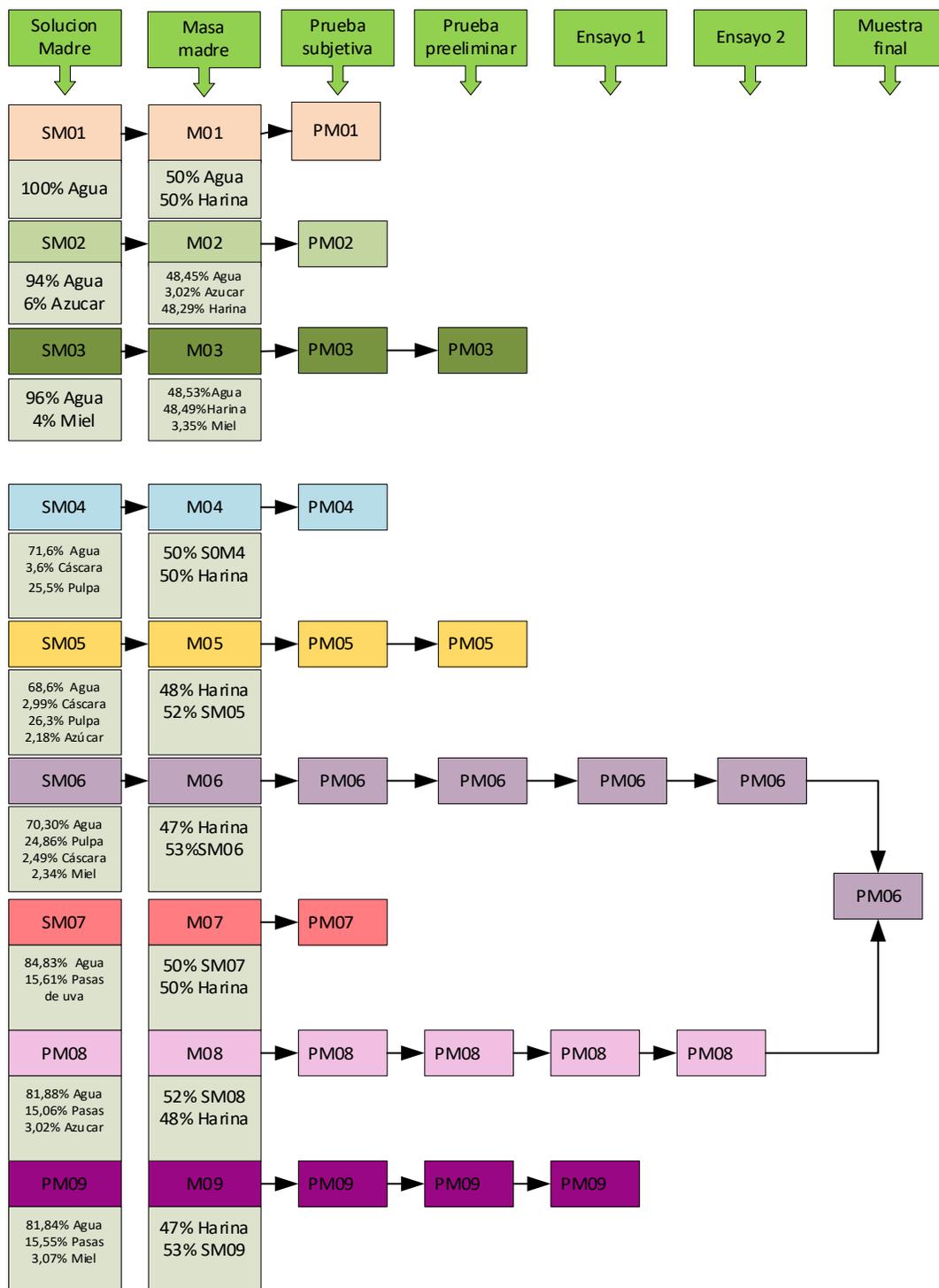
4.2 Caracterización de las variables del proceso de elaboración del pan de campo con masa madre

Para la caracterización de las variables del proceso de elaboración de pan de campo con masa madre, se tomó en cuenta ensayos preliminares para seleccionar la solución madre que permita obtener un método de preparaciones, seguido de pruebas preliminares y pruebas iniciales con el fin de obtener una muestra ideal de pan de campo saborizado.

4.2.1 Formulación de soluciones madres para la elaboración de pan de campo

A nivel experimental, se prepararon nueve soluciones madres divididas en: tres soluciones con agua potable (SM01, SM02 y SM03), tres con agua fermentada de manzana roja (SM04, SM05 y SM06) y tres con agua fermentada de pasa de uva (SM07, SM08 y SM09). Posteriormente, se realizó la incorporación de harina en cada una de las nueve muestras para formar la masa madre (figura 4.2) para comenzar las

pruebas subjetivas, prueba preliminar (PM03,PM05,PM06,PM08 y PM09), ensayo (PM06, PM08 y PM09) , ensayo 2 (PM06 y PM08) para obtener a la muestra final (PM06).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.2: Esquema de aplicación para la metodología experimental

4.2.1.1 Caracterización de la solución madre con manzana roja

Para la caracterización de la solución madre con manzana roja se realizaron tres formulaciones incorporando agua, cáscara, pulpa, azúcar y miel de abeja; para realizar el control de los parámetros de acidez, pH y °Brix durante 24 y 48 horas de fermentación, como se detallan en la tabla 4.8.

Tabla 4.8

Parámetros de control de la solución madre de manzana roja

Solución madre con manzana						Parámetros controlados					
Muestra	Agua (%)	Cáscara (%)	Pulpa (%)	Azúcar (%)	Miel de abeja (%)	Fermentación 24horas			Fermentación 48horas		
						Temperatura		25°C	Temperatura 24°C		
						Brix°	pH	Acidez (%)	pH	Brix°	Acidez (%)
SM04	71,34	3,66	25,5	0,00	0,00	2,30	4,618	0,09	4,474	2,50	0,17
SM05	68,6	2,99	26,3	2,18	0,00	4,10	4,814	0,10	4,496	4,20	0,16
SM06	71,78	3,29	22,5	0,00	2.39	3,50	4,659	0,08	4,495	3,35	0,22

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.8 se puede observar que las soluciones madres con manzana roja después de 48 horas de fermentación cambian significativamente sus valores: SM04, 4,474 pH, 2,5 °Brix y 0,17% de acidez, SM05, pH de 4,496, 4,10°Brix y 0,16% de acidez y SM06 un pH de 4,495, 5,40 °Brix y una acidez 0,22% expresado en ácido málico.

4.2.1.2 Caracterización de la solución madre con pasa de uva

Para la caracterización de la solución madre con pasa de uva se realizaron tres formulaciones incorporando agua, pasas de uva, azúcar y miel de abeja; para realizar el control de los parámetros de acidez, pH y °Brix durante 24 y 48 horas de fermentación, como se detallan en la tabla 4.9.

Tabla 4.9

Parámetros de control de la solución madre de pasas de uva

Solución madre con pasas de uva					Parámetros de control					
Muestra	Agua (%)	Pipas de uva (%)	Azúcar (%)	Miel (%)	Fermentación 24horas			Fermentación 48horas		
					Temperatura 25°C			Temperatura 24°C		
					Brix°	pH	Acidez (%)	pH	Brix°	Acidez (%)
SM04	84,83	15,16	0,00	0,00	7,2	4,586	0,03	4,160	14,00	0,27
SM05	81,88	15,09	3,02	0,00	9,5	4,292	0,09	4,093	10,00	0,45
SM06	81,34	15,55	0,00	3,07	6,1	4,608	0,06	4,203	6,20	0,26

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.9 se puede observar que las soluciones madres con pasas de uva, al finalizar la fermentación de 48 horas, si presentan variaciones resulta “SM07”, pH 4,160, Brix 14° y acidez 0,27%, SM08, pH 4,093, Brix 10° y 0.45% de acidez, “SM09”, pH de 4.203, Brix 6,2 y 0.16% de acidez expresado en ácido tartárico.

4.2.2. Preparación de las masas madres según el tipo de fermento

En la figura 4.2, se detallan la preparación de las masas madres incorporando las soluciones madres elaboradas para la elaboración de pan de campo.

4.2.2.1 Masa madre con solución madre con manzana roja

En la tabla 4.10 se detalla los parámetros obtenidos de la masa madre partiendo de las soluciones: SM04 (Solución no azucarada), SM05 (Solución azucarada con azúcar) y SM06 (solución azucarada con miel de abeja), con la finalidad de verificar si el pH se encuentra bajo las condiciones de la Norma de Calidad del Pan (BOE, 2001), considerando que el mismo debe encontrarse entre (4,2 – 5,2) pH, para ser masa madre.

Tabla 4.10***Control de pH en la masa madre con solución madre con manzana roja***

Muestras	Agua de manzana (%)		Harina (%)	pH
	Código	Cantidad		
M04	SM04	50,23	49,65	5,092
M05	SM05	52,15	44,98	4,869
M06	SM06	52,05	48,65	4,980

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.10 se puede observar que las masas madre de solución madre con manzana roja cumplen con la Norma de Calidad de Pan, por lo que si con consideradas masa madre obteniendo: M04, 5,092 pH, “M05”, pH de 4.869 y “M06” un pH de 4,980.

4.2.2.2 Masa madre con solución madre con pasas de uva

En la tabla 4.11, se detalla los parámetros obtenidos de la masa madre partiendo de las soluciones: SM07 (Solución no azucarada), SM08 (Solución azucarada con azúcar) y SM09 (solución azucarada con miel de abeja), con la finalidad de verificar si el pH se encuentra bajo las condiciones de la Norma de Calidad del Pan (BOE, 2001), considerando que el mismo debe encontrarse entre (4,2 – 5,2) pH, para ser masa madre.

Tabla 4.11***Control de pH en la masa madre con solución madre de pasas de uva***

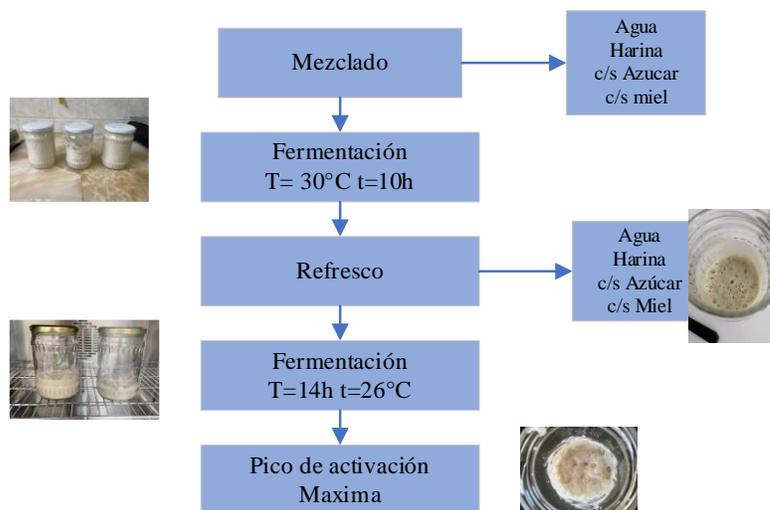
Muestra	Agua de pasas de uva (%)		Harina (%)	pH
	Código	Cantidad		
M07	SM07	41,40	52,05	5,081
M08	SM08	48,12	50,85	5,158
M09	SM09	45,65	50,08	5,138

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.11, se puede observar que las masas madre con solución madre de pasas de uva cumplen con la Norma de Calidad de Pan, por lo que si con consideradas masa madre obteniendo: M07, 5,081 pH, “M08”, pH de 5,158 y “M09” un pH de 5,138.

4.2.2.3 Masa madre con solución de agua

A nivel experimental la masa madre con solución de agua, conlleva uno de los medios de cultivos más largos y sensibles a los cambios por sus cuidados en el proceso de elaboración detallado en la figura 4.3.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3: Proceso de elaboración masa madre con solución de agua.

En la tabla 4.12, se detalla los parámetros obtenidos de la masa madre partiendo de las soluciones: SM01 (Agua potable), SM02 (Agua potable con azúcar) y SM03 (Agua potable con miel de abeja), con la finalidad de verificar si el pH se encuentra bajo las condiciones de la Norma de Calidad del Pan (BOE, 2001), considerando que el mismo debe encontrarse entre (4,2 – 5,2) pH, para ser masa madre.

Tabla 4.12

Control de parámetros de la masa madre con agua

Muestra	Agua (%)		Harina (%)	pH
	Código	Cantidad		
M01	SM01	50,00	50,00	5,022
M02	SM02	52,00	48,00	5,072
M03	SM03	55,65	44,35	4,894

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.12; se puede observar que las masas madre con agua cumple con la Norma de Calidad de Pan, por lo que si se pueden considerar masa madre obteniendo: M01, 5,022 pH, “M02”, pH de 5,075 y “M03” un pH de 4,894.

4.2.3 Pruebas subjetivas para la elaboración de pan de masa madre con harina de trigo

Para el presente trabajo de investigación, de acuerdo la figura 4.2, se realizan nueve pruebas subjetivas que partieron de formulaciones con harina de trigo, agua, un tipo de cultivo madre y sal fina, variando los porcentajes de cada uno de los en función a la tabla 4.13.

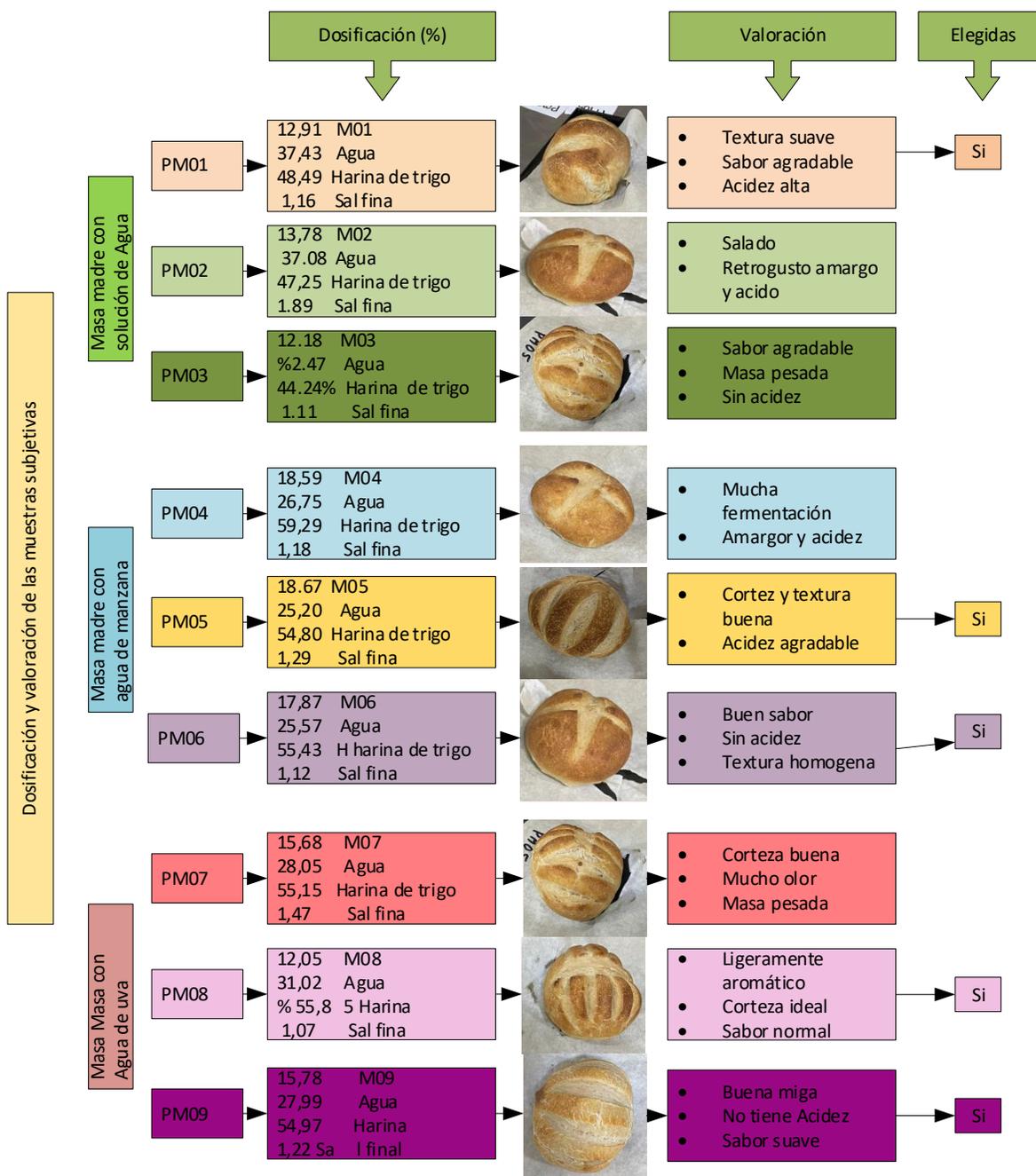
Tabla 4.13

Variación de la dosificación para elaboración de pan de campo con masa madre

Materia prima/insumos	Rango	Unidad
Masa madre	6,18 – 18,67	%
Agua	25,20 – 42,47	%
Harina 000	44,24 – 59,29	%
Sal fina	1,07-1,89	%

Fuente: Garnica, 2020.

En la figura 4.4, se muestran las nueve muestras de pan con masa madre con harina de trigo elaborados de acuerdo a los rangos de dosificación de la tabla 4.13.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.4: Pruebas subjetivas de pan con masa madre.

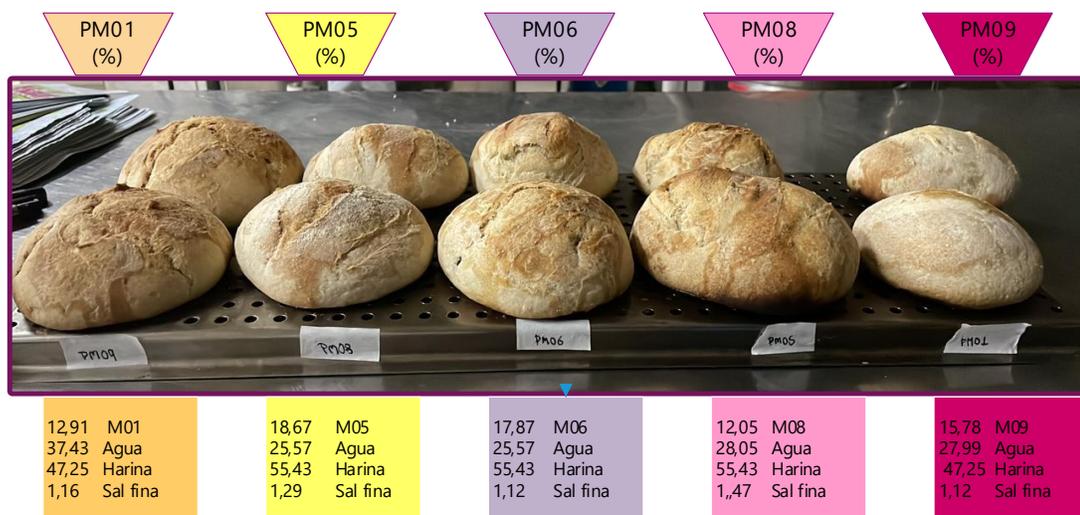
Según la figura 4.4, en base a la valoración realizada por el personal del laboratorio del taller de alimentos, se puede observar que las muestras (PM01, PM05, PM06, PM08 y

PM09), fueron las de mayor preferencia por presentar mejor corteza, sabor más agradable, acidez poco notable y textura; en comparación a las muestras (PM02, PM03, PM04, PM07), que presentaron un masa pesada, acidez elevada y olores no agradables.

4.2.4 Prueba preliminar de pan con masa madre

En base a las muestras valoradas subjetivamente (figura 4.4), se procedió a elaborar las cinco muestras, tomando en cuenta la valoración de los jueces, con el fin de reformular su dosificación para mejorar sus atributos, color, aroma, sabor, textura, corteza y acidez, con ayuda de una evaluación sensorial al pan con masa madre, mediante 20 jueces no entrenados.

En la figura 4.5, se muestra la dosificación de los panes sometidos a la evaluación sensorial.

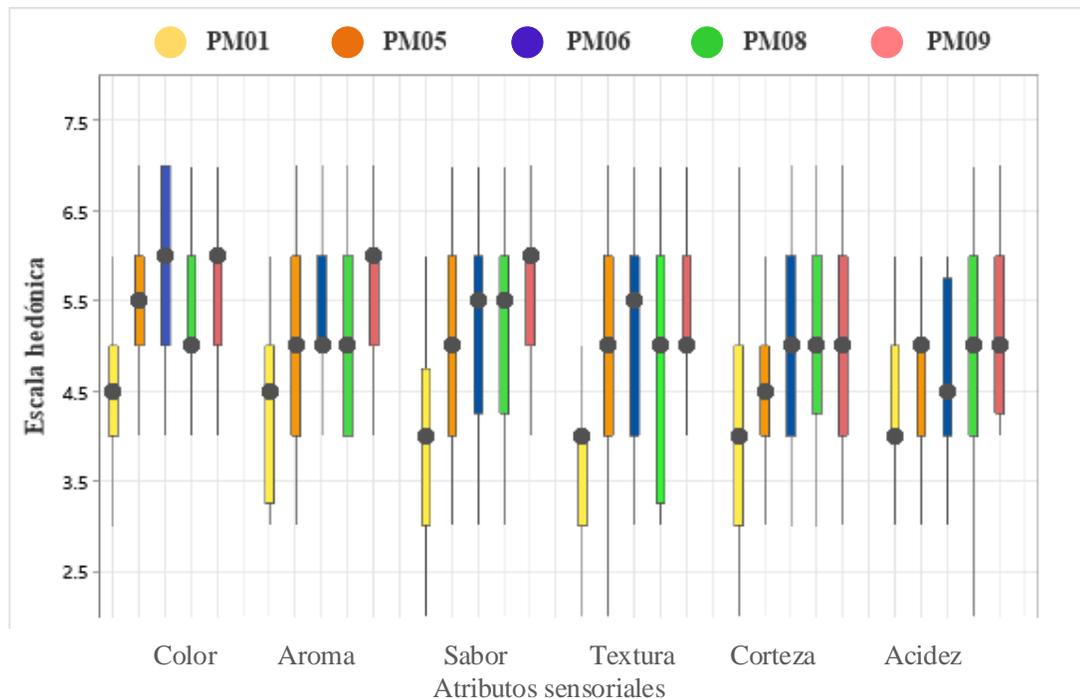


Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.5: Prueba preliminar de pan con masa madre.

4.2.4.1 Estadístico de caja y bigote para prueba preliminar de pan con masa madre

En la figura 4.6, se muestra el estadístico de caja y bigote de datos extraídos del Anexo C, para los atributos de color (Tabla C.1), aroma (Tabla C.2), sabor (Tabla C.3), textura (Tabla C.4), corteza (Tabla C.5) y acidez (Tabla C.6).



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.6: Caja y bigote para la prueba preliminar de pan con masa madre.

Según la figura 4.6, se puede observar que los resultados de las medianas en función a los atributos de las muestras evaluadas: color 6,0 (PM06), aroma 6,0 (PM09); sabor 6,0 (PM09), textura 5,5 (PM06), corteza 5 (PM06, PM08 y PM09) y acidez 5 (PM05, PM08 y PM09). Así mismo, se realizó el análisis estadístico de varianza para la prueba de Tukey, de tal manera evidenciar que existen diferencias significativas entre los atributos de las muestras.

4.2.4.2 Estadístico de Tukey para el atributo aroma de prueba preliminar de pan con masa madre

En la tabla 4,14, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo aroma de datos extraídos del (Anexo C).

Tabla 4.14

Estadístico de Tukey para el atributo aroma de prueba preliminar de pan con masa madre

Factor	N	Mediana	Agrupación		
PM06	20	5,30	A		
PM09	20	5,15	A	B	
PM08	20	4,80	A	B	
PM05	20	4,55		B	C
PM01	20	3,95			C

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla 4.14, se puede observar que existen diferencias significativas entre las medianas de las muestras PM06 (5,30), PM09 (5,15), PM08 (4,80), PM05 (4,55) y PM01 (3,95) para un nivel de significancia del $\alpha=0.05$.

4.2.4.3 Estadístico de Tukey para el atributo sabor prueba preliminar de pan con masa madre

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

Tabla 4.15

Estadístico de Tukey para el atributo sabor de prueba preliminar de pan con masa madre

Factor	N	Mediana	Agrupación		
PM09	20	5,00	A		
PM06	20	5,00	A		
PM08	20	4,65	A		
PM05	20	4,55	A		
PM01	20	3,40			B

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.15, se puede observar que existen diferencias significativas entre las medianas de las pruebas evaluadas obteniendo: 5,00 (PM09 y PM06), 4,65 (PM08), 4,55 (PM05) y 3,40 (PM01) para un nivel de significancia del $\alpha=0.05$.

4.2.4.4 Estadístico de Tukey para el atributo textura de la prueba de pan con masa madre

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

Tabla 4.16

Estadístico de Tukey para el atributo textura prueba preliminar de pan de campo con masa madre

Factor	N	Mediana	Agrupación		
PM06	20	4,95	A		
PM09	20	4,85	A	B	
PM08	20	4,50	A	B	
PM05	20	3,95		B	C
PM01	20	3,40			C

Fuente: Elaboración propia,

Según la tabla 4.16, se puede observar que existe diferencia significativa entre las muestras: 4,95 (PM06), 4,85 (PM09), 4,50 (PM08), 3,95 (PM05) y 3,40 (PM01); datos obtenidos con un nivel de significancia del $\alpha=0.05$.

4.2.4.5 Estadístico de Tukey para el atributo acidez prueba preliminar de pan con masa madre

En la tabla 4.17, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo acidez de datos extraídos del (Anexo C).

Tabla 4.17

Estadístico de Tukey para el atributo acidez prueba preliminar de pan con masa madre

Factor	N	Mediana	Agrupación		
PM06	20	5,00	A		
PM09	20	4,85	A	B	
PM08	20	4,70	A	B	
PM05	20	4,10		B	
PM01	20	3,25			C

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla 4.17, se puede observar que existen diferencias significativas entre las medianas de las muestras 5,00 (PM06), 4,85 (PM09), 4,70 (PM08), 4,10 (PM05) y 3,25 (PM01). De acuerdo a la evaluación sensorial realizada para los atributos sensoriales de las pruebas preliminares de pan de campo con masa madre, según análisis estadístico de varianza para un nivel de $\alpha=0.05$, se analizó que los jueces prefirieron las muestras PM09, PM08 Y PM06 por presentar un color, aroma, sabor, textura, corteza y acidez.

4.2.5 Pruebas preliminar pan con masa madre del ensayo 1

En la figura 4.7, se muestra la nueva dosificación para el pan con masa madre, según las valoraciones obtenidas de la prueba preliminar.

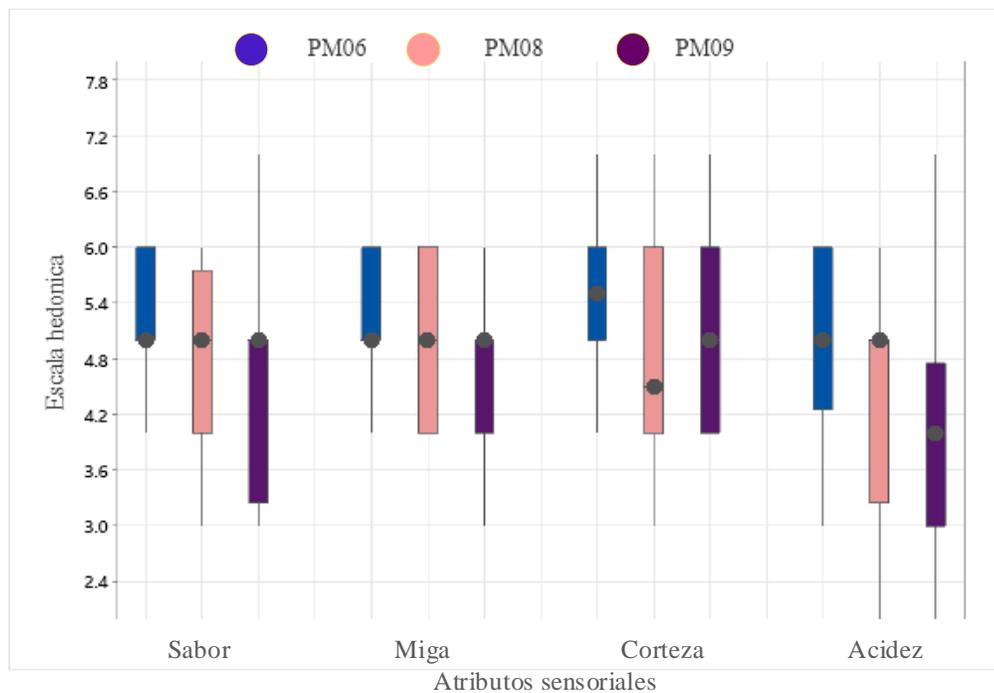


Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.7: Dosificación de prueba preliminar del ensayo 1.

4.2.5.1 Estadístico de caja y bigote de prueba preliminar de pan con masa madre del ensayo 1

En la figura 4.8 se muestra el estadístico de caja y bigote de datos extraídos del Anexo C, para los atributos de sabor (Tabla C.7), miga (Tabla C.8), corteza (Tabla C.9), y acidez (Tabla C.10).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.8: Caja y bigote prueba preliminar de pan con masa madre del ensayo 1.

Según la figura 4.8, se puede observar que los resultados de las medianas en función a los atributos de las muestras evaluadas: sabor 5,0 (PM06, PM08 y PM09), miga 5,0 (PM06, PM08 y PM09); corteza 5,4 (PM06), textura 5 (PM06 – PM08) y acidez 5,0 (PM08 y PM09). Así mismo, se realizó el análisis estadístico de varianza para evidenciar si existen diferencias significativas entre los atributos de las muestras evaluadas.

4.2.5.2 Estadístico de Tukey para el atributo acidez prueba preliminar de pan con masa madre del ensayo 1

En la tabla 4.18, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo acidez de datos extraídos del (Anexo C).

Tabla 4.18*Estadístico de tukey para el atributo acidez de prueba preliminar del ensayo 1*

Factor	N	Mediana	Agrupación	
PM06	20	5,05	A	
PM08	20	4,40	A	B
PM09	20	3,90		B

Fuente: Elaboración propia.

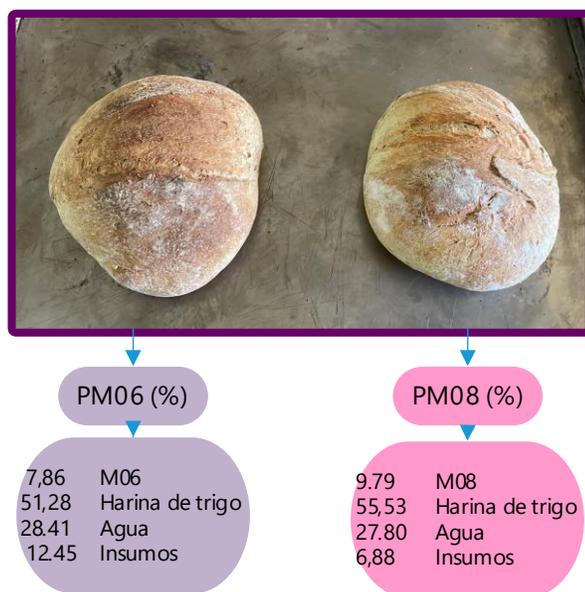
Según la tabla 4.18, se puede observar que existe diferencia significativa en entre las muestras PM06 (5,05), PM08 (4.40) Y PM09 (3.90), datos obtenidos con un nivel de significancia del $\alpha=0.05$.

En base a los resultados obtenidos para el atributo sabor y acidez se pudo evidenciar que en el estadístico de caja y bigote el valor de las medianas fue 5,0; para las pruebas (PM06 y PM08) de Tukey el atributo miga fue 5,05 (PM06), y se concluye que las muestras PM06 y PM08 de pan con masa madre, se evaluaron para seleccionar una muestra final.

4.2.6 Selección final de muestra preliminar de con masa madre del ensayo 2

En base a las tres muestras valoradas en el ensayo 1, se procede a elaborar las dos muestras preferidas por los jueces (PM06 y PM08), reformulando nuevamente su dosificación para mejorar sus atributos sensoriales, con el fin de obtener una muestra final de pan con masa madre.

En la figura 4.9, se detallan la dosificación de las dos muestras finales que se procedieron a evaluar en una evaluación sensorial con escala hedónica de cinco puntos en que se valoran los atributos; sabor, miga, corteza y acidez.

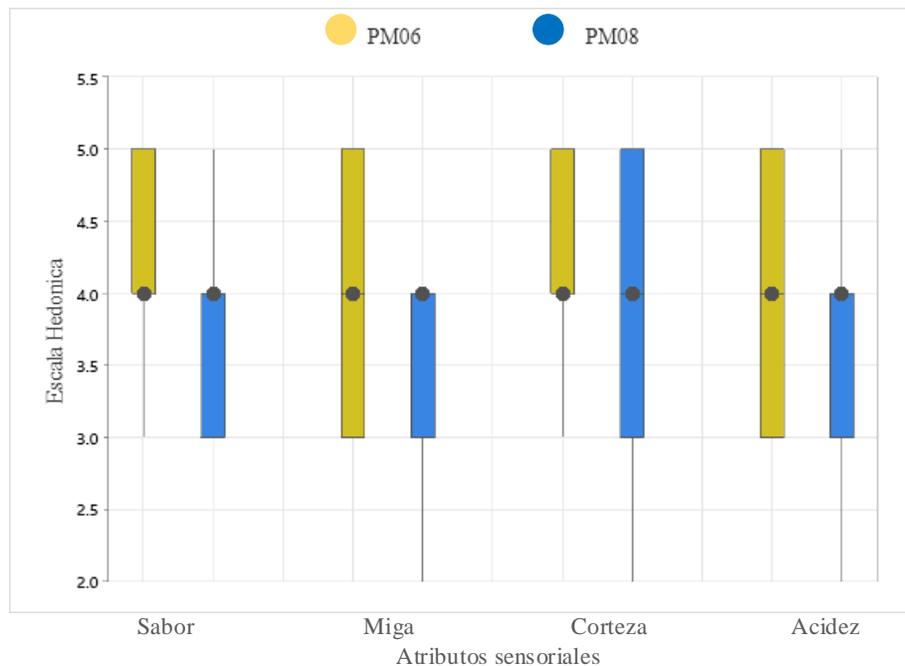


Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.9: Dosificación final pan con masa madre de ensayo 2.

4.2.6.1 Estadístico de caja y bigote de la selección final de pan con masa madre del ensayo 2

En la figura 4.10, se muestra el estadístico de caja y bigote de datos extraídos del Anexo C, para los atributos de sabor (Tabla C.11), miga (Tabla C.12), corteza (Tabla C.13), y acidez (Tabla C.14).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.10: Caja y bigote para selección final de pan con masa madre de ensayo 2.

Según la figura 4.10, se puede observar que los resultados de las medianas para los atributos de las muestras son: sabor 4,0 (PM06 y PM08), miga 4,0 (PM06 y PM09) corteza 4,0 (PM06 Y PM08) y acidez (PM06 y PM09). Así mismo, se realizó el análisis estadístico de varianza para la prueba de Tukey, con el fin de comprobar si existen diferencias significativas

4.2.6.2 Estadístico de tukey para el atributo miga de la selección final de pan con masa madre de ensayo 2

En la tabla 4.19, se muestran los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo miga de datos extraídos de (Anexo C).

Tabla 4.19

Estadístico de Tukey para el atributo miga de pan con masa madre de ensayo 2

Factor	N	Mediana	Agrupación
PM06	19	4,05	A
PM08	19	3,47	B

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla 4.19, se puede observar que existen diferencias significativas entre las muestras PM06 y PM08 para el atributo miga. Así mismo, para los demás atributos sabor, corteza y acidez del análisis de varianza no se observaron diferencias significativas para un nivel $\alpha=0,05$.

En base a los resultados obtenidos para el atributo sabor y corteza se pudo evidenciar que en el estadístico de caja y bigote el valor de las medianas fue 4,0 y para la prueba de Tukey el atributo miga fue 4,05, y se concluye que la muestra PM06 de pan con masa madre, fue la muestra preferida por los jueces.

En la tabla 4.20, se muestra la dosificación y parámetros de proceso de la muestra final (PM06).

Tabla 4.20

Dosificación y parámetros de proceso de muestra preliminar final

Materia prima/insumos	Dosificación (%)	Parámetros de proceso	Cantidad	Unidad
Agua	28,41	Tiempo de amasado	7	min
Harina de trigo	51,28	Tiempo de autólisis	30	min
Agua	12,23	Tiempo de fermentación	360	min
Cultivo de masa madre	7,86	Temperatura de fermentación	26	°C±
		Tiempo de horneado	29	min
		Temperatura de horneado	190	°C±

Fuente: Elaboración propia.

4.2.7 Elaboración de pan saborizado con masa madre

A nivel experimental, se procedió a realizar la elaboración de pan de campo saborizado en base a la muestra final del ensayo 2 (tabla 4.18), ya que se pudo evidenciar que la muestra PM06 presentaba un sabor ligeramente ácido y humedad en la miga, por lo cual se decidió mejorar estos atributos incorporando cuatro sabores diferentes: A01 (harina de maíz criollo y palillo), A02 (azúcar, pasas de uva y nueces), A03 (ajo y albahaca) y A04 (ajo y orégano), para finalmente obtener una muestra ideal como se detalla en la figura 4.11.

	Muestras	Dosificación (%)	Valoración	Final
A01	 <p>Pan de maíz criollo y palillo</p>	50,62 Harina de trigo 31,82 Agua 7,03 Cultivo madre 4,75 Maíz 0,49 Palillo 1,52 Sal	<ul style="list-style-type: none"> Buena textura Humedad de miga ideal Sabor residual a maíz Color poco agradable 	
A02	 <p>Pan dulce de pasas de uva y nueces</p>	50,63 Harina de trigo 32,24 Agua 6,82 Cultivo madre 10,31 Azúcar 3,12 Pasas de uva 3,51 Nueces 0,02 agua de azar	<ul style="list-style-type: none"> Miga suave Textura homogénea similar a budín Sabor agradable Corteza suave 	SI
A03	 <p>Pan con pesto</p>	51,05 Harina de trigo 29,36 Agua 8,32 Cultivo madre 6,26 Pesto 0,98 Sal	<ul style="list-style-type: none"> Miga algo alveolada Sabor intenso a ajo Presente acidez Color poco agradable 	
A04	 <p>Pan de ajo y orégano</p>	51,67 Harina de trigo 30,96 Agua 6,75 Cultivo madre 0,84 Ajo Crudo 0,28 Orégano 0,99 Sal	<ul style="list-style-type: none"> Miga homogénea Algo húmeda Sabor agradable Corteza crujiente Color agradable 	SI

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.12: Dosificación y valoración de las saborizaciones de pan de campo

Según la figura 4.12, las cuatro muestras de pan de campo saborizado fueron elaboradas evaluadas de manera subjetiva por el personal del laboratorio de taller de alimentos y docentes de la carrera de ingeniería de alimentos, pudiendo registrar: A02 (pan de campo dulce con pasas de uva y nueces), textura húmeda característica de un budín, no presenta sabor residual, muy agradable y A04 (ajo y orégano), masa algo húmeda, sabor agradable, corteza crujiente, A02 y A04 lograron ser las más sobresalientes. Así mismo, la muestra A01 (maíz y palillo), fue la que tuvo mejor miga, sin embargo, presentó un sabor residual poco agradable y la A03 (ajo y albahaca), una miga muy húmeda poco agradable y sabor muy pronunciado a ajo.

En base a lo detallado, se concluye que se tomaran en cuenta las muestras A02 y A04 para la prueba 1.

4.2.7.3 Elaboración de pan de campo saborizado para la prueba 1

A juzgar por la evaluación subjetiva realizada se toma la decisión de elaborar mediante una evaluación sensorial escala hedónica de siete puntos; cuatro muestras incorporando harina de maíz criollo para reducir la humedad de la miga, por consiguiente se decidió elaborar: dos muestras de pan dulce con pasas de uva y nueces (PM10 y PM11); dos muestras de pan salado variando la dosificación de ajo y orégano (PM12 y PM13), con la finalidad de determinar la preferencia de los jueces, en la figura 4.13, se detalla la dosificación utilizada en las muestras.

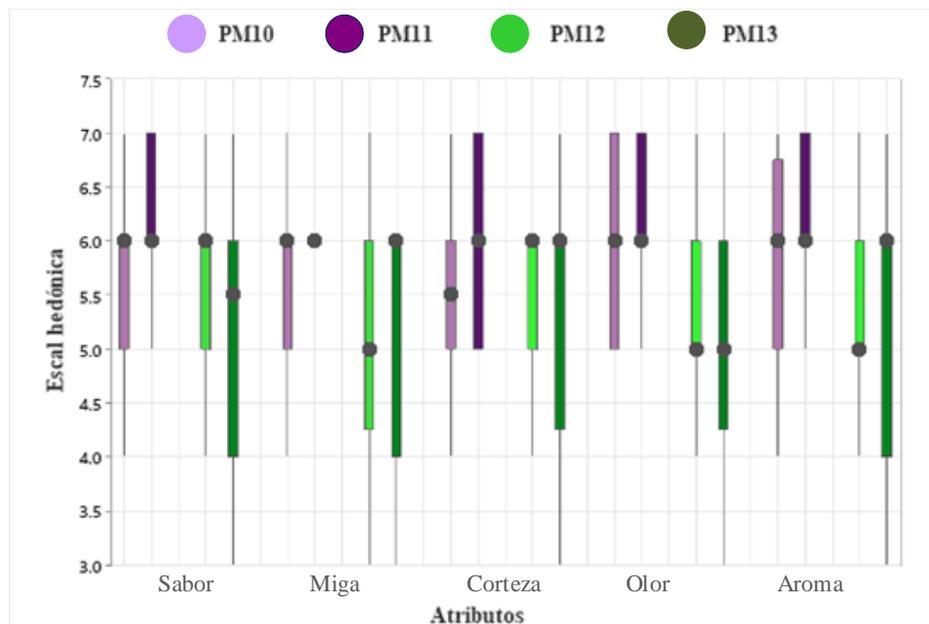


Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.13: Dosificación de muestras dulces y saladas.

4.2.7.4 Estadístico de caja y bigote para la variación pan de campo saborizado de la prueba 1

En la figura 4.14, se muestra el estadístico de caja y bigote de datos extraídos del Anexo C, para los atributos de sabor (Tabla C.15), miga (Tabla C.16), corteza (Tabla C.17), olor (Tabla C.18) y aroma (Tabla C.19).



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.14: Caja y bigote para de pan de campo saborizado de la prueba 1

Según la figura 4.14, se puede observar que los resultados de las medianas en función a los atributos de las muestras: sabor: 6,0 (PM11), miga 6,0 (PM11), corteza 6,0 (PM12) y olor 6,0 (PM11) Así mismo, se realizó el análisis estadístico de varianza, para poder evidenciar si existen diferencia significativa entre los atributos de las muestras mediante la prueba de Tukey.

4.2.7.4 Estadístico de Tukey para el atributo sabor para pan de campo saborizado de la prueba 1

En la tabla 4.21, se muestran los resultados de análisis estadístico de tukey para el atributo sabor extraídos del (Anexo C)

Tabla 4.21

Estadístico de Tukey atributo sabor de pan de campo saborizado de la prueba 1

Factor	N	Mediana	Agrupación
PM11	20	6,40	A
PM10	20	5,70	A B
PM12	20	5,55	B
PM13	20	5,10	B

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.21, se puede observar que existe diferencia significativa entre las muestras PM11 (6,40), PM10 (5,70), PM12(5,55) Y PM13(5,10), datos obtenidos con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

4.2.7.5 Estadístico de Tukey para el atributo olor para pan de campo saborizado de la prueba 1

En la tabla 4.22, se muestran los resultados de análisis estadístico de Tukey para el atributo olor extraídos del (Anexo C).

Tabla 4.22

Estadístico de Tukey atributo olor para pan de campo saborizado de la prueba 1

Factor	N	Media	Agrupación		
PM11	20	6,15	A		
PM10	20	5,90	A	B	
PM12	20	5,25		B	C
PM13	20	5,05			C

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.22, se puede observar que existe diferencia significativa entre las muestras PM11 (6,15), PM10 (5,90), PM12 (5,25) Y PM13 (5,05), datos obtenidos con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$

En base a los resultados obtenidos para el atributo corteza se pudo evidenciar que en el estadístico de caja y bigote el valor de las medianas fue 6,0 para la muestra (PM12), para la prueba de Tukey el atributo sabor fue 6,40 y olor 6,15 para la muestra PM11, y se concluye que las muestra PM11 y PM12 de pan de campo saborizado, volverán a ser evaluadas para la elección final de la saborización.

4.2.7.6 Elección final de pan de campo saborizado de la prueba 2

En base a las cuatro muestras valoradas en la prueba 1, en la tabla 4.21 se detallan las nuevas dosificaciones que se procede a elaborar, de las muestras elegidas: PM11 (pan de campo dulce con pasas de uva y nueces) y PM12 (pan de campo con ajo y orégano) preferidas por los jueces, con el fin de obtener una muestra ideal de pan de campo saborizado.

Tabla 4.23**Formulación del pan de campo dulce y salado**

<i>Ingredientes</i>	Muestra dulce (PM11 (%))	Ingredientes	Muestra salada (PM12 (%))
Cultivo madre	6,14	Cultivo madre	7,28
Harina de trigo	43,51	Harina de trigo	50,83
Agua	26,26	Agua	29,98
Miel	0,50	Miel	1,23
Azúcar	7,69	Sal	1,30
Harina integral	3,79	Harina integral	3,79
Harina de maíz	1,34	Harina de maíz	1,85
Pasas de uva	4,92	Hojas de orégano	0,30
Nueces	5,61	Ajo crudo	0,80

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.24, se muestra el control de proceso de elaboración de pan de campo con masa madre para las muestras (PM11 y PM12).

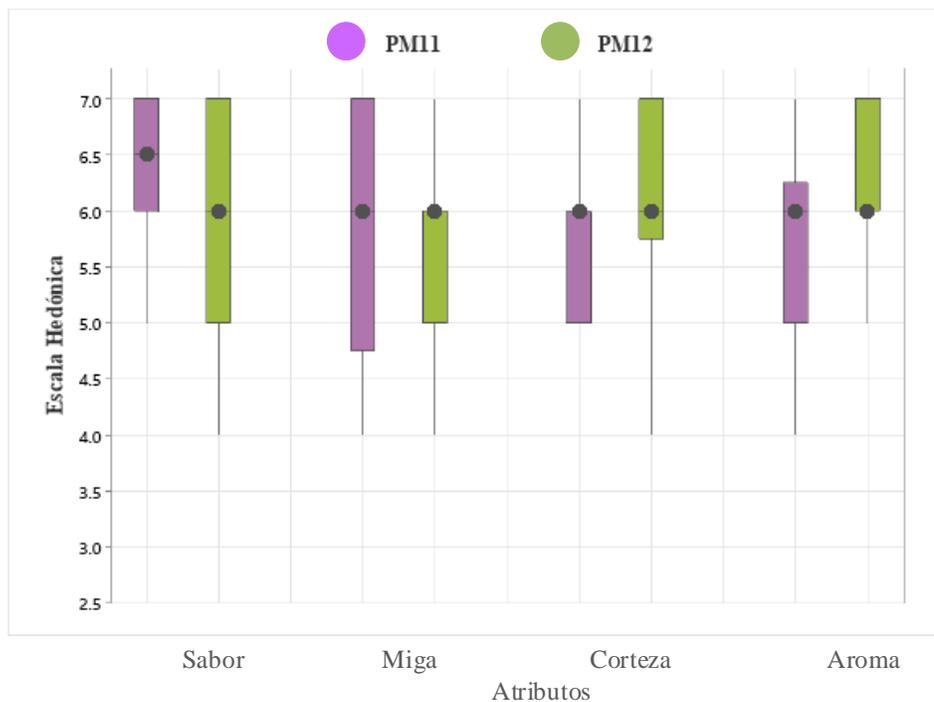
Tabla 4.24**Control de proceso de elaboración de pan de campo con masa madre**

<i>Parámetros</i>	Muestras			
	PM11		PM12	
	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad
Autólisis	30	min	30	Min
Amasado	7	min	7	Min
Fermentación total	360	min	360	Min
Tiempo de horneado	29	min	29	Min
Temperaturas controladas				
	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad
Fermentación	26	°C	26	°C
Horneado	190	°C	190	°C

Fuente: Elaboración propia.

4.2.7.7 Estadístico de caja y bigote final de pan de campo saborizado para la prueba 2

En la figura 4.15, se muestra el estadístico de caja y bigote de datos extraídos del Anexo C, para los atributos de sabor (Tabla C.20), miga (Tabla C.21), corteza (Tabla C.22) y aroma (Tabla C.23).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.15: Caja y bigote para la saborización final de pan de masa madre

Según la figura 4.15, se puede observar que los resultados de las medianas en función a los atributos de las muestras: sabor 6,5 (PM011), miga 6 (PM11); corteza 6 (PM12) y aroma 6 (PM12). Así mismo, se realizó el análisis estadístico de varianza para la prueba de Tukey (Anexo C) y se pudo evidenciar que no existen diferencia significativa entre los atributos de las muestras. Por lo tanto, se concluyó que la muestra PM12, es la que cumple con la mayoría de los atributos sensoriales. Por lo que la saborización final será “ajo con orégano”.

4.2.8 Control de pH, acidez y humedad en el proceso de pan de campo con masa madre saborizado de ajo y orégano

Para el control de pH, acidez y contenido de humedad se consideraron distintas etapas del proceso para la recopilación de datos: preparación de la masa madre (masa madre), segunda fermentación (masa fermentada) y enfriado (pan de campo), las muestras que se tomaron en cuenta fueron completamente al azar del diseño experimental: dos del

nivel superior (PMD2 y PMD4) y dos del nivel inferior (PMD6 y PMD8), con la finalidad de analizar su variación durante el proceso.

4.2.8.1 Variación de contenido de humedad en el proceso de elaboración de pan de campo con masa madre

En la tabla 4.25, se muestran los resultados obtenidos de contenido de humedad de las muestras elaboradas de pan de campo con masa madre utilizando el método de termo balanza detallada en el Anexo E.

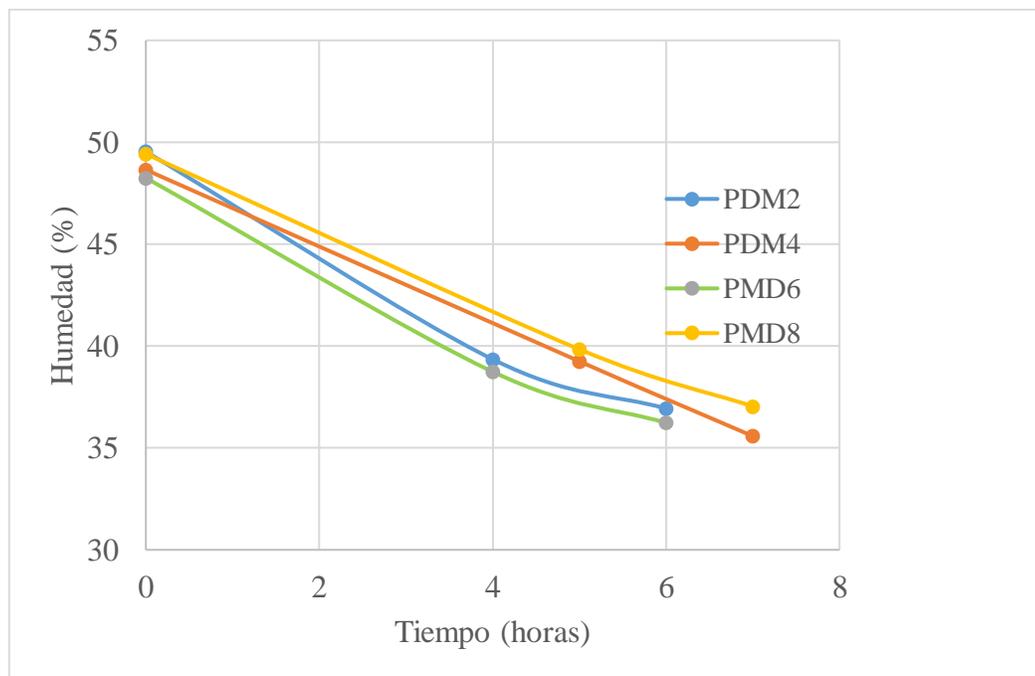
Tabla 4.25

Variación de humedad en muestras de pan de campo con masa madre

Control	Muestras								
	PDM2		PDM4		PMD6		PMD8		Promedio
	Tiempo	Humedad	Tiempo	Humedad	Tiempo	Humedad	Tiempo	Humedad	Humedad
	(hora)	(%)	(hora)	(%)	(hora)	(%)	(hora)	(%)	(%)
Masa madre	0	49,54	0	48,65	0	48,25	0	49,43	48,96
Masa fermentada	4	39,35	5	39,25	4	38,74	5	39,84	39,29
Pan de campo	6	36,93	7	35,58	6	36,23	7	32,04	35,19

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.25, se muestran los resultados del contenido de humedad en función del tiempo y etapas del proceso de las muestras seleccionadas PDM2, PMD4 PMD6 y PMD8, obteniendo un promedio de humedad: 49,96% (masa madre), 39,29% (masa fermentada) y 35,19% (pan de campo).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.16: Variación de humedad en función del tiempo y las etapas del proceso de elaboración de pan de campo.

En la figura 4.16, se puede observar el contenido de humedad en función del tiempo de la masa madre: PDM2 (49,54 %) y PDM8 (49,43%) presentan mayor contenido de humedad; en comparación a las muestras: PDM4 (48,65%) Y PDM6 (48,25%). Transcurridos el tiempo de fermentación de las masas entre (4 - 5 horas), se presenta un valor de 39,35% (PDM2), 39,25% (PDM4), 38,74% (PDM3) y 39,84% (PMD4). Finalizando el proceso de elaboración de pan de campo se puede concluir que entre (6 - 7) horas presenta un valor final de 36,93% (PDM2), 35,58% (PMD4), 36,63% (PMD6) y 37,04% (PMD8), por la que durante todo el proceso de elaboración de pan de campo con masa madre se va perdiendo humedad.

4.2.8.2 Variación de contenido de pH en muestras de pan de campo con masa madre

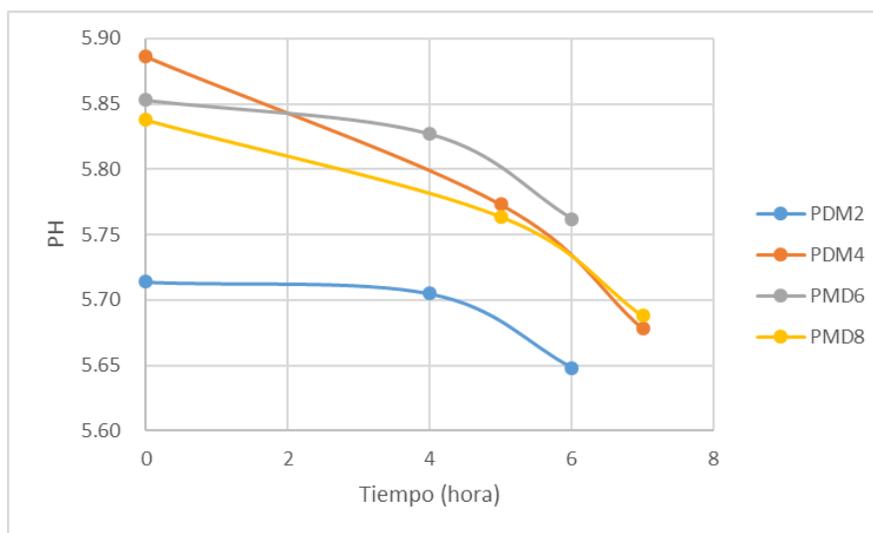
En la tabla 4.26, se muestran los resultados obtenidos de contenido de pH de las muestras elaboradas de pan de campo con masa madre utilizando la técnica detallada en el Anexo E.

Tabla 4.26**Variación de pH en muestras de pan de campo con masa madre**

Control	Muestras								
	PDM2		PDM4		PMD6		PMD8		Promedio
	Tiempo (hora)	pH	pH						
Masa madre	0	5,714	0	5,886	0	5,853	0	5,838	5,823
Masa fermentada	4	5,705	5	5,773	4	5,827	5	5,764	5,767
Pan de campo	6	5,648	7	5,678	6	5,762	7	5,688	5,694

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.26, se muestran los resultados del pH en función del tiempo y etapas del proceso de las muestras seleccionadas PDM2, PDM4, PDM6 y PDM8, obteniendo como resultados promedio: 5,823 (masa madre), 5,767 (masa fermentada) y 5,694 (pan de campo).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.17: Variación de pH en función de las distintas etapas del proceso de elaboración de pan de campo

En la figura 4.17, se puede observar el contenido pH en función del tiempo de la masa madre: 5,714 (PDM2), 5,886 (PDM4), 5,853 (PMD6) y 5,838 (PMD8), en donde se analiza que transcurridos el tiempo de fermentación de las masas entre (4 - 5) horas, se presenta un valor menor de 5,702 (PMD2), 5,773 (PMD4), 5,827 (PMD3) y 5,764

(PMD4). Finalizando el proceso de elaboración de pan de campo se puede concluir que entre (6 y 7) horas, presenta un valor final de 5,648 (PMD2), 5,678 (PMD4), 5,762 (PMD6) y 5,688 (PMD8), lo que indica que el pH del pan de campo con masa madre durante su elaboración ha disminuido.

4.2.8.3 Variación acidez en el proceso de pan de campo saborizado

En la tabla 4.27, se muestran los resultados obtenidos de contenido de acidez expresado en ácido láctico, de las muestras de pan de campo saborizado utilizando la técnica detalla en el Anexo E.

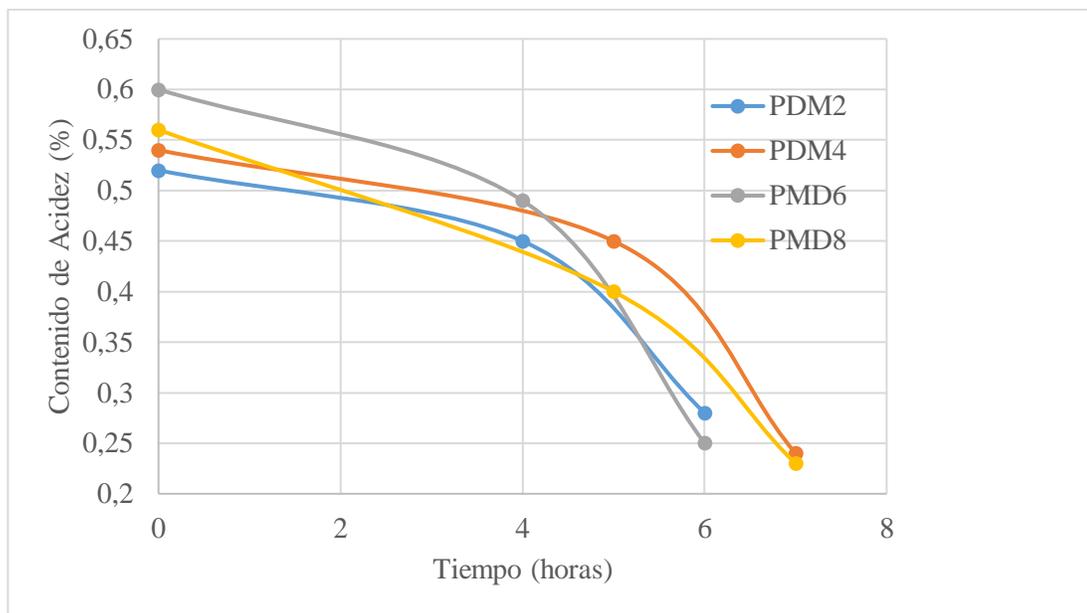
Tabla 4.27

Variación de acidez (ácido láctico) en muestras de pan de campo saborizado

Control	Muestras								
	PDM2		PDM4		PMD6		PMD8		Promedio
	Tiempo	Acidez	Tiempo	Acidez	Tiempo	Acidez	Tiempo	Acidez	Acidez (%)
	(horas)	(%)	(horas)	(%)	(horas)	(%)	(horas)	(%)	
Masa madre	0	0,52	0	0,54	0	0,6	0	0,56	0,54
Masa fermentada	4	0,45	5	0,45	4	0,49	5	0,4	0,44
Pan de campo	6	0,28	7	0,24	6	0,25	7	0,23	0,23

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.27, se muestran los resultados de acidez expresado en ácido láctico en función del tiempo y etapas del proceso de las muestras seleccionadas PDM2, PMD4 PMD6 y PMD8, obteniendo como resultados promedio: 0,54% (masa madre), 0,44% (masa fermentada) y 0,23% (pan de campo).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.18: Variación del contenido de acidez en función al tiempo y etapas del proceso de pan de campo saborizado.

En la figura 4.18, se puede observar el contenido de acidez en función del tiempo en las etapas del proceso: (0,52%) PDM2, (0,54%) PDM4, (0,60%) PDM6 y (0,56%) PDM8 expresado en ácido láctico, en donde se puede observar que transcurridos el tiempo de fermentación entre (4 - 5) horas, se presentaron valores de: 0,45% (PMD2 y PDM4), 0,49 % (PMD3) y 0,40% (PMD4). Finalizando el proceso de elaboración de pan de campo se puede concluir que entre (6 y 7) horas, presenta un valor final de 0,28% (PMD2), 0,24% (PMD4), 0,25% (PMD6) y 0,23% (PMD8) expresados en ácido láctico, lo que quiere decir que disminuye la acidez durante el proceso de elaboración de pan de campo con masa madre.

En base a los resultados obtenidos en el control de los parámetros de humedad, pH y acidez, se puede comprobar que, si existen variaciones significativas en el tiempo de fermentación y no así el amasado, formado, y se concluye que es un factor influyente en el proceso de elaboración de pan de campo.

4.3 Diseño experimental en la etapa de dosificación y tiempo de fermentación de pan de campo saborizado con ajo y orégano

A partir de la formulación y control de proceso de elaboración de la muestra elegida PM12 (Cuadro 4.1), se procedió a realizar el diseño factorial 2^3 (Tabla 3.2), con la finalidad de establecer el factor más influyente en el proceso de elaboración de pan de campo saborizado con ajo y orégano, tomando en cuenta como variables respuestas: contenido de humedad, pH y acidez (Ácido láctico).

Cuadro 4.1

Formulación y proceso final para la elaboración de pan de campo saborizado

Materia prima/insumos	Dosificación (%)	Parámetros de proceso	Cantidad	Unidad
Agua	28,41	Tiempo de amasado	7	min
Harina de trigo	51,28	Tiempo de autólisis	30	min
Agua	12,23	Tiempo de primera fermentación	60	min
Cultivo madre	7,68	Temperatura de fermentación	26	°C±
Harina de maíz	1,85	Tiempo de segunda fermentación	240	min
Harina integral	3,79			
Ajo	0,80	Tiempo de horneado	29	min
Orégano	0,30	Temperatura de horneado	190	°C±
Sal fina	1,26			

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1 Variable respuesta de contenido de humedad en la etapa de dosificación y tiempo de fermentación

Para aplicar el diseño experimental se tomaron cuenta las variables: A (Porcentaje de agua) B (Porcentaje de cultivo madre) y C (Tiempo total de fermentación) y como variable respuesta el contenido de humedad, para lo cual, se utilizó el método de la termo balanza y la metodología se expresa en el Anexo E.

Para aplicar el diseño experimental en la etapa de dosificación y tiempo de fermentación se realizó el análisis estadístico de la variable respuesta contenido de humedad (Tabla 4.28) en el programa Statgraphics y los resultados obtenidos se detallan en el Anexo D.

Tabla 4.28*Análisis de varianza en función de la variable respuesta contenido de humedad*

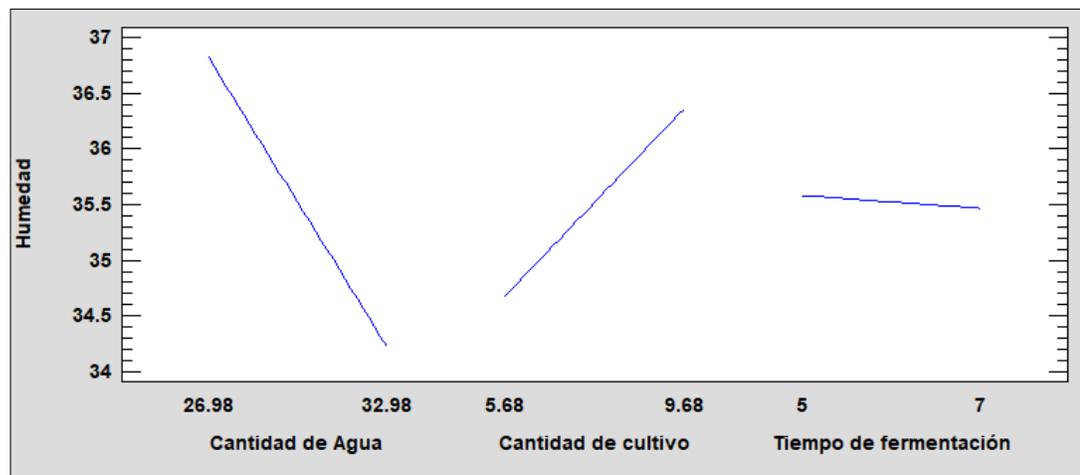
Fuente de varianza (FV)	Suma Cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrados Medios (CM)	Fcal	F tab	Valor -p
Factor A	26,94	1	26,94	37,99	5,32*	0,01
Factor B	11,24	1	11,24	15,85	5,32*	0,01
Factor C	0,05	1	0,05	0,08	5,32	0,78
AB	2,28	1	2,28	3,22	5,32	0,12
AC	4,33	1	4,33	6,11	5,32*	0,04
BC	2,57	1	2,57	3,63	5,32	0,09
ABC	0,28	1	0,28	0,40	5,32	0,55
Error total	5,67	8	0,71			
Total	53,37	15				

Fuente: Elaboración propia.

Significativo (*)

Según el análisis de varianza de la tabla 4.28, se puede observar que el factor C (tiempo de fermentación), las interacciones AB (Porcentaje de agua – Porcentaje de cultivo), BC (Porcentaje de cultivo – Tiempo de fermentación) y ABC (Porcentaje de agua – Porcentaje de cultivo – tiempo de fermentación), no existe diferencia significativa porque el $F_{cal} < F_{tab}$, por lo tanto, se acepta la hipótesis planteada. Sin embargo, para el factor A (porcentaje de agua), factor B (porcentaje de cultivo) e interacción AC (porcentaje de agua y tiempo de fermentación), presenta diferencias significativas ya que el $F_{cal} > F_{tab}$, por lo tanto; se rechaza la hipótesis planteada y se puede afirmar tales factores son significativos para el porcentaje de humedad de las muestras para un nivel de confianza $\alpha = 0,05\%$.

En la figura 4.19, se muestran los efectos principales para los factores; A (porcentaje de agua), B (porcentaje de cultivo) y C (tiempo de fermentación) con relación a la variable respuesta contenido de humedad.

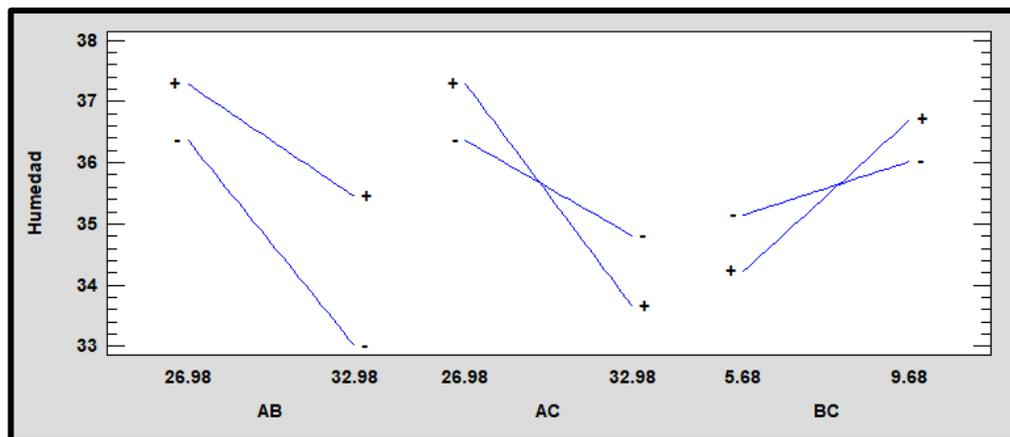


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.19: Efectos principales para el contenido de humedad.

Según la figura 4.19; se puede observar que los factores de porcentaje de agua (26,98 – 32,98) % y porcentaje de cultivo (5,68 – 9,68) % influyen significativamente sobre el contenido de humedad cuando se encuentran en su nivel alto y bajo, sin embargo, para el factor tiempo de fermentación entre (5 y 7) horas, no influye significativamente sobre la variable respuesta (contenido de humedad).

En la figura 4.20, se muestra las interacciones para los factores AB (porcentaje de agua y porcentaje de cultivo), AC (porcentaje de agua y tiempo de fermentación) y BC (porcentaje de cultivo y tiempo de fermentación) en función a la variable respuesta de humedad.

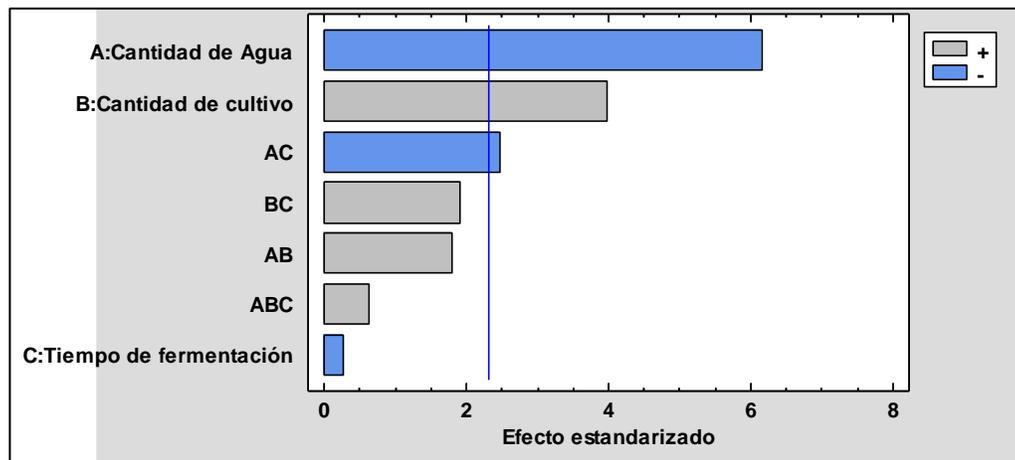


Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.20: Interacción de factores para contenido de humedad.

En la figura 4.20, se puede observar que el contenido de humedad para la interacción AB, cuando el porcentaje de agua (factor A) se encuentre en un nivel bajo y con un nivel alto de cultivo madre (factor B), la variable respuesta (contenido de humedad) aumentará, sin embargo, cuando el nivel alto de cantidad de agua tenga interacción con el nivel bajo de porcentaje de cultivo, el contenido de humedad será menor. En la interacción AC, se ve afectado cuando los rangos del porcentaje de agua (26,98 – 32,98) % y tiempo de fermentación entre (5 y 7) horas, presentan una interacción que influirá en el porcentaje de humedad del pan de campo. Así mismo en la interacción BC, porcentaje de cultivo (B) se ve afectado cuando el tiempo de fermentación (C) se encuentra en un nivel alto y bajo, presentando así una variación significativa en la variable respuesta.

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



Fuente: Elaboración propia.

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

En base a la figura 4.21, se observa que el factor A (porcentaje de agua), factor B (porcentaje de cultivo) e interacción AC (porcentaje de agua y tiempo de fermentación) sobre pasan la línea vertical de referencia lo que indica que existe diferencia significativa con la variable respuesta (contenido de humedad), mientras que para el factor C (tiempo de fermentación), interacción BC (porcentaje de cultivo – tiempo de fermentación), AB (porcentaje de agua – cultivo) e interacción ABC (porcentaje de agua- cultivo y tiempo de fermentación), no influyen significativamente en la humedad.

4.3.2 Variable respuesta de pH del pan de campo saborizado

Para aplicar el diseño experimental se tomó en cuenta la norma INEN 0095, para la recopilación de datos de pH, la metodología se expresa en el (Anexo E). Así mismo, se realizó el análisis estadístico de la variable respuesta pH (tabla 4.29) en el programa Statgraphics y los resultados obtenidos se detallan en el Anexo D.

Tabla 4.29

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

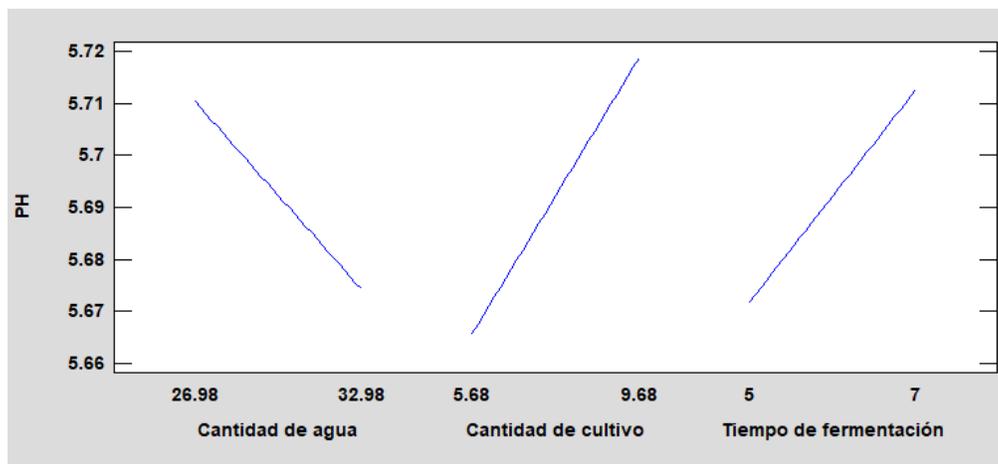
Fuente de varianza (FV)	Suma Cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrado Medio (CM)	Fcal	Ftab	Valor-P
Factor A	5,22E-3	1	0,0052	19,34	5,32*	0,0023
Factor B	1,12E-2	1	0,0112	41,43	5,32*	0,0002
Factor C	6,63E-3	1	0,0067	24,76	5,32*	0,0011
AB	1,07E-3	1	0,0011	3,97	5,32	0,0814
AC	10,9E-3	1	0,0020	7,25	5,32*	0,0274
BC	5,55E-3	1	0,0056	20,70	5,32*	0,0019
ABC	1,13E-2	1	0,0114	42,22	5,32*	0,0002
Error total	2,15E-4	8	0,0003			
Total	04,53E-2	15				

Fuente: Elaboración propia.

Significativo (*)

Según el análisis de varianza de la tabla 4.29, se puede observar que el factor A (Porcentaje de agua), factor B (Porcentaje de cultivo), factor C (tiempo de fermentación), las interacciones AC (Porcentaje de agua – tiempo de fermentación), BC (Porcentaje de cultivo – Tiempo de fermentación y ABC (Porcentaje de agua- Porcentaje de cultivo - tiempo de fermentación), presenta diferencias significativas ya que el $F_{cal} > F_{tab}$, por lo tanto; se rechaza la hipótesis planteada y se puede afirmar que el factor A, factor B, factor C e interacción AC, BC y ABC, son significativos para el pH de las muestras. Mientras que para el factor AB (Porcentaje de agua - porcentaje de cultivo) no presenta diferencia significativa porque el $F_{cal} < F_{tab}$, por lo tanto, se acepta la hipótesis planteada para un nivel de confianza de $\alpha = 0,05\%$.

En la figura 4.22, se muestran los efectos principales para los factores; A (Porcentaje de agua), B (Porcentaje de cultivo) y C (tiempo de fermentación) con relación a la variable respuesta pH.

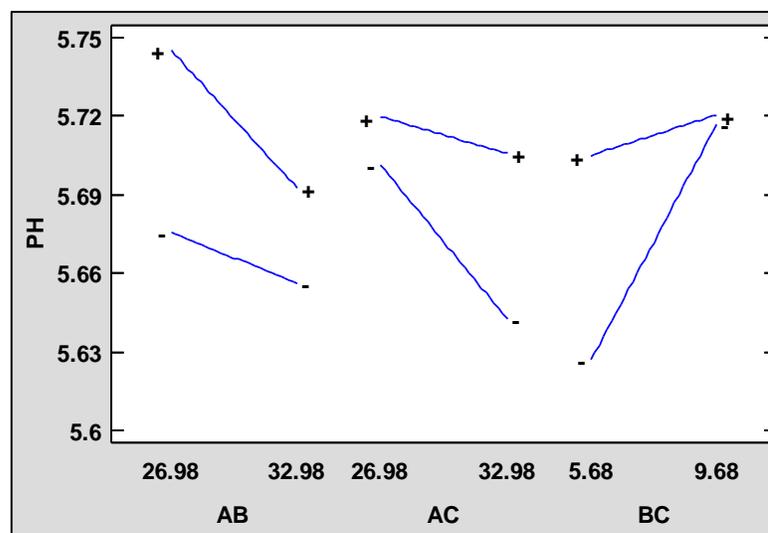


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.22: Efectos principales para el contenido de pH.

Según la figura 4.22; se puede observar el porcentaje de agua (A), porcentaje de cultivo (B) y tiempo de fermentación, tiene un efecto sobre la variable después (pH), tanto en sus niveles altos y bajos, con un nivel de $\alpha = 0,05\%$.

En la figura 4.23, se muestra las interacciones para los factores AB (porcentaje de agua – porcentaje de cultivo), AC (porcentaje de agua- tiempo de fermentación) y BC (porcentaje de cultivo-tiempo de fermentación) en función a la variable respuesta de pH.

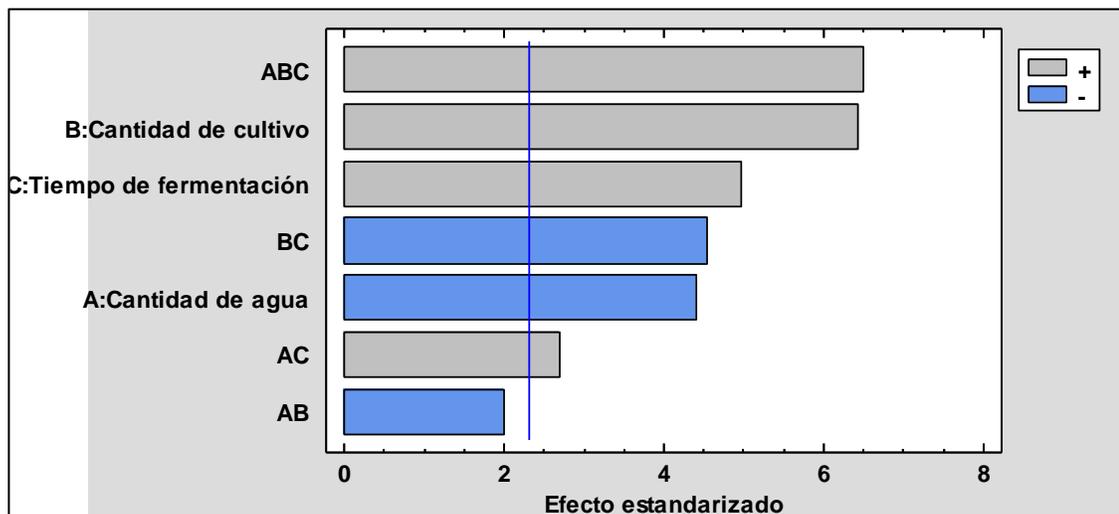


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.23: Interacción de factores para pH.

En la figura 4.23 se puede ver la interacción de AB, que presenta un efecto negativo (su valor será menor) para la variable respuesta pH, cuando factor A (porcentaje de agua) y factor B (porcentaje de cultivo) se encuentren en sus niveles más bajos. En la interacción AC (porcentaje de agua y tiempo de fermentación), se puede observar de igual manera un efecto negativo, cuando el valor del factor A (porcentaje de agua) interacción C (tiempo de fermentación), en sus niveles altos el valor de pH será mínimo. Mientras que para la interacción BC (Porcentaje de cultivo – tiempo de fermentación), se encuentran cerca de un nivel de significación cuando ambos se encuentran en su nivel más alto factor B (9,68%) y Factor C (7h), afectando directamente en un aumento de pH.

En la figura 4.24, se puede observar el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en el diseño factorial, Para tal efecto, el nivel de significancia de los factores e interacciones se determinan con una línea vertical de referencia con el valor (2,30), de tal manera, que si las barras exceden la línea referencial indican que son significativos para el nivel de confianza de $\alpha = 0,05\%$



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.24: Diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de pH.

En base a la figura 4.24, se observa que la interacción AB (Porcentaje de agua – Porcentaje de cultivo) no influyen significativamente en el pH porque no sobre pasa

la línea vertical de referencia. Mientras que el resto de los factores si sobre pasan la línea vertical de referencia lo que indica que existe diferencia significativa con la variable respuesta (contenido de pH) con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05\%$.

4.3.3 Variable respuesta de contenido de acidez del pan de campo saborizado

Para aplicar el diseño experimental se tomó cuenta la norma INEN 0095, la metodología se expresa en el Anexo E. Así mismo, se realizó el análisis estadístico de la variable respuesta acidez (tabla 4.30) en el programa Statgraphics y los resultados obtenidos se detallan en el Anexo D.

Tabla 4.30

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

Fuente de varianza (FV)	Suma de Cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrado Medio (CM)	Fcal.	Ftab	Valor-P
Factor A	0,0036	1	3,6E-3	5,33	5,32*	0,0497
Factor B	0,0036	1	3,6E-3	5,33	5,32*	0,0497
Factor C	0,0009	1	9,0E-4	1,33	5,32	0,2815
AB	0,0004	1	4,0E-4	0,59	5,32	0,4635
AC	0,0025	1	2,5E-3	3,70	5,32	0,0905
BC	0,0016	1	1,6 E-3	2,37	5,32	0,1622
ABC	0,0036	1	3,5E-3	5,33	5,32*	0,0497
Error total	0,0054	8	6,75E-4			
Total	0,0216	15				

Fuente: Elaboración propia.

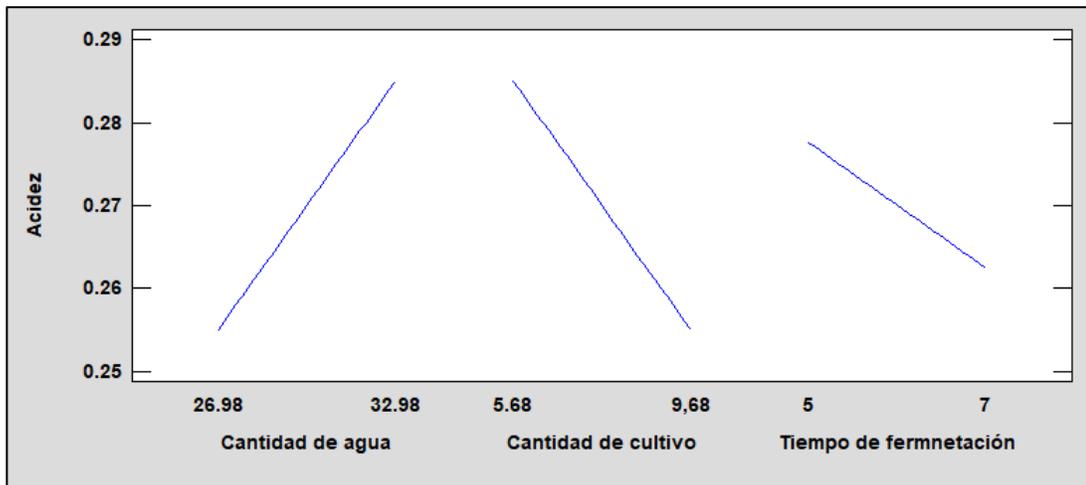
Significativo (*)

Según el análisis de varianza de la tabla 4.30, se puede observar que el factor A (Porcentaje de agua), factor B (Porcentaje de cultivo) e interacción ABC (Porcentaje de agua- porcentaje de cultivo- tiempo de fermentación), presentan diferencias significativas ya que el $F_{cal} > F_{tab}$, por lo tanto; se rechaza la hipótesis planteada y se puede afirmar que el factor A, factor B, C e interacción ABC, son significativos para el contenido de acidez (ácido láctico) de las muestras.

Mientras que para el factor C (Tiempo de fermentación), interacciones AB (Porcentaje de agua - porcentaje de cultivo), AC (porcentaje de agua – tiempo de fermentación) y BC (porcentaje de cultivo- tiempo de fermentación no presentan una diferencia

significativa porque el $F_{cal} < F_{tab}$, por lo tanto, se acepta la hipótesis planteada para un nivel $\alpha = 0,05\%$.

En la figura 4.25, se muestran los efectos principales para los factores; A (porcentaje de agua), B (porcentaje de cultivo) y C (tiempo de fermentación) con relación a la variable respuesta contenido de acidez (%).

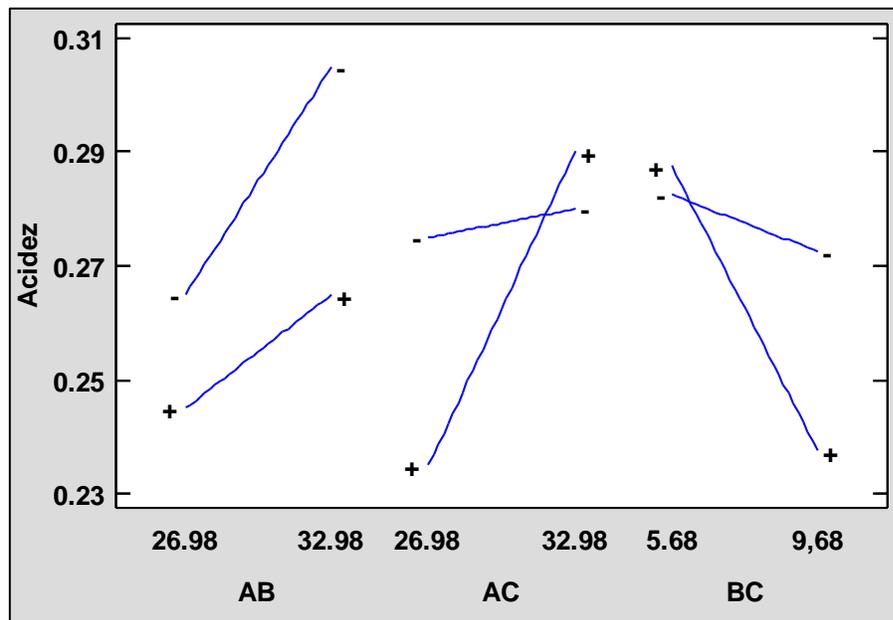


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.25: Efectos principales para el contenido de acidez.

Según la figura 4.25; se puede observar el porcentaje de agua (A), presenta un efecto positivo en el nivel alto para el contenido de acidez, porcentaje de cultivo (B) presenta un efecto negativo cuando su nivel es bajo y tiempo de fermentación, tiene un efecto significativamente negativo cuando se encuentra en el nivel alto sobre la variable (acidez) con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05\%$.

En la figura 4.26, se muestra las interacciones para los factores AB (porcentaje de agua – porcentaje de cultivo), AC (porcentaje de agua- tiempo de fermentación) y BC (porcentaje de cultivo-tiempo de fermentación) en función a la variable respuesta de acidez.

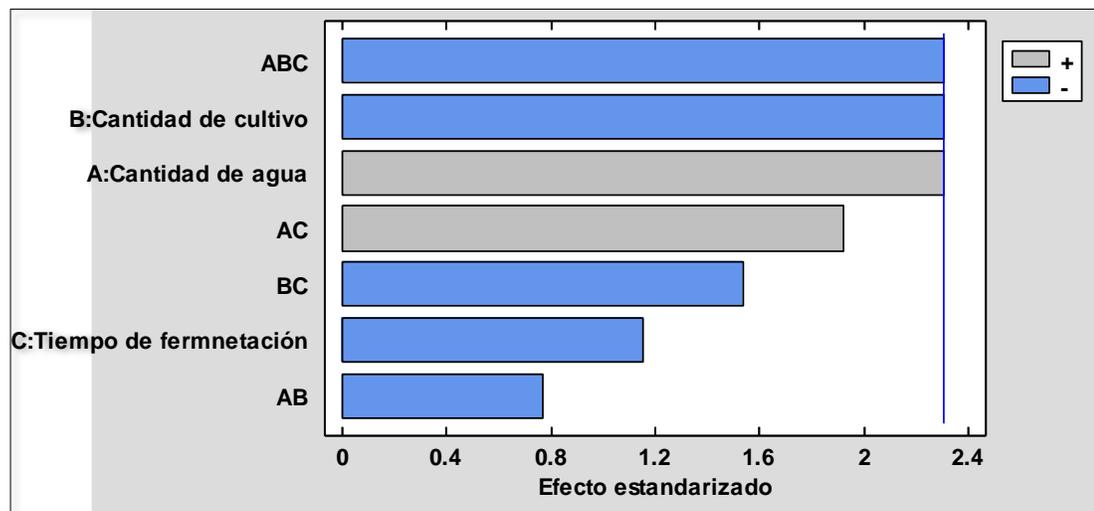


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.26: Interacción de factores para el contenido de acidez.

En la figura 4.26 se puede ver la interacción de AB, los efectos aparentes de la interacción el factor A (porcentaje de agua) y factor B (porcentaje de cultivo tienen efectos entre sí mismos cuando se encuentran en sus niveles altos y bajos. Mientras que en la interacción AC (porcentaje de agua – tiempo de fermentación) e interacción BC (porcentaje de cultivo- tiempo de fermentación), presentan una interacción entre factores, el efecto de cada uno queda determinado por el nivel en que se encuentre el otro.

En la figura 4.27, se puede observar el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en el diseño factorial, Para tal efecto, el nivel de significancia de los factores e interacciones se determinan con una línea vertical de referencia con el valor (2,30), de tal manera, que si las barras exceden la línea referencial indican que son significativos para el nivel de confianza de $\alpha = 0,05\%$



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.27: Diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de acidez.

En base a la figura 4.27, se observa que el factor A (Porcentaje de agua), Factor B (Porcentaje de cultivo) e la interacción ABC (Porcentaje de agua – Porcentaje de cultivo – Tiempo de fermentación), no sobre pasan la línea vertical de referencia, aunque se encuentre significativamente cerca, mientras que los demás factores ni se acercan, por lo tanto, ninguno de ellos es significativo para la variable respuesta (contenido de acidez) con un nivel de confianza $\alpha = 0,05\%$.

En concreto, tras realizar el análisis en programa Statigratif. de cada variable respuesta (humedad, pH y acidez), y se puede concluir que el factor más influyente en la elaboración de pan de campo saborizado, es el factor A (porcentaje de agua), por ser el más significativo en el proceso.

4.3.4. Evaluación sensorial para el factor porcentaje de agua en la dosificación

Para realizar la evaluación sensorial del factor más influyente (porcentaje de agua) en pan de campo saborizado con ajo y orégano, se tomaron en cuenta cuatro muestras de nivel superior (PMD1, PMD2, PMD3 y PMD4) y cuatro muestras del nivel inferior (PDM5, PMD6, PMD7 y PMD8) (cuadro 4.2) para determinar si existen diferencias

significativas con muestra ideal (PMD10), para tal efecto se procedió a evaluar mediante un test sensorial escala hedónica de siete puntos.

Cuadro 4.2

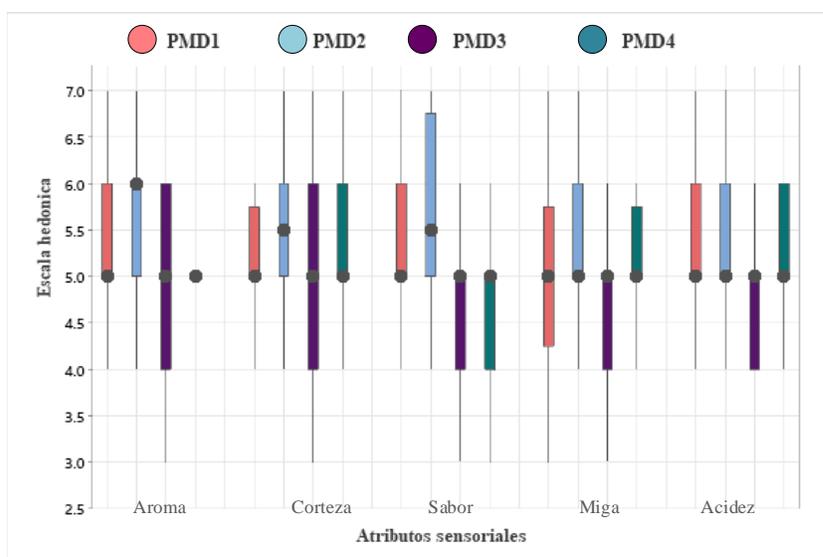
Codificación de las muestras para el factor cantidad de agua

Nivel Superior	Combinaciones	Cantidad de agua (%)	Codificación
	a	32,98	PMD1
	ab	32,98	PMD2
	ac	32,98	PMD3
	abc	32,98	PMD4
Nivel Inferior	Combinaciones	Cantidad de agua (%)	Codificación
	(1)	26,98	PMD5
	b	26,98	PMD6
	c	26,98	PMD7
	bc	26,98	PMD8

Fuente: Elaboración propia.

4.3.4.1 Estadístico caja y bigote para el factor porcentaje de agua del nivel superior en pan de campo

En la figura 4.28, se muestra el estadístico de caja y bigote de datos extraídos del Anexo C, para los atributos de aroma (Tabla C.24), corteza (Tabla C.25), sabor (Tabla C.26), miga (Tabla C.27) y acidez (Tabla C.28).



Fuente: Elaboración propia.

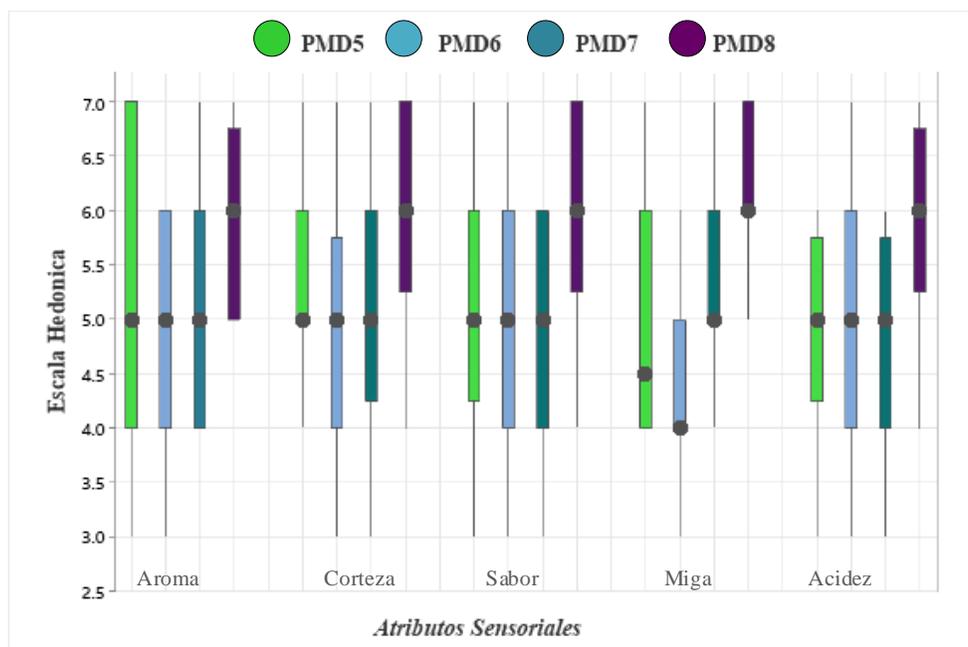
Figura 4.28: Caja y bigote de pan de campo saborizado para el nivel superior.

Según la figura 4.28, se puede observar que los resultados de las medianas en función a los atributos de las muestras: aroma 6,0 (PMD2), corteza 5,5 (PMD2), sabor 5,5 (PMD2), miga 5,0 (PMD1 y PMD4)) y acidez 5,0 (PMD1, PMD2 y PMD4). Así mismo, se realizó el análisis de varianza para la prueba de Tukey adjunto en el (Anexo C).

En base a los resultados obtenidos para los atributos aroma, corteza y sabor se puede evidenciar que en el estadístico de caja y bigote el valor de las medianas comprende un rango entre (5,5 a 6,0) y para la prueba de Tukey el atributo miga fue (5,45), y se concluye que la muestra PMD2 fue la preferida por los jueces del nivel superior.

4.3.4.2 Estadístico caja y bigote para el factor porcentaje de agua del nivel inferior en pan de campo

En la figura 4.29, se muestra el estadístico de caja y bigote de datos extraídos del Anexo C, para los atributos de aroma (Tabla C.29), corteza (Tabla C.30), sabor (Tabla C.31), miga (Tabla C.32) y acidez (Tabla C.33).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.29: Caja y bigote de pan de campo saborizado para el nivel inferior.

Según la figura 4.29, se puede observar el resultado de las medianas conforme a los atributos: aroma 6,0 (PMD8), corteza 6,0 (PMD8), sabor 6,0 (PMD8), miga 6,0 (PMD8) y acidez 6,0 (PMD8).

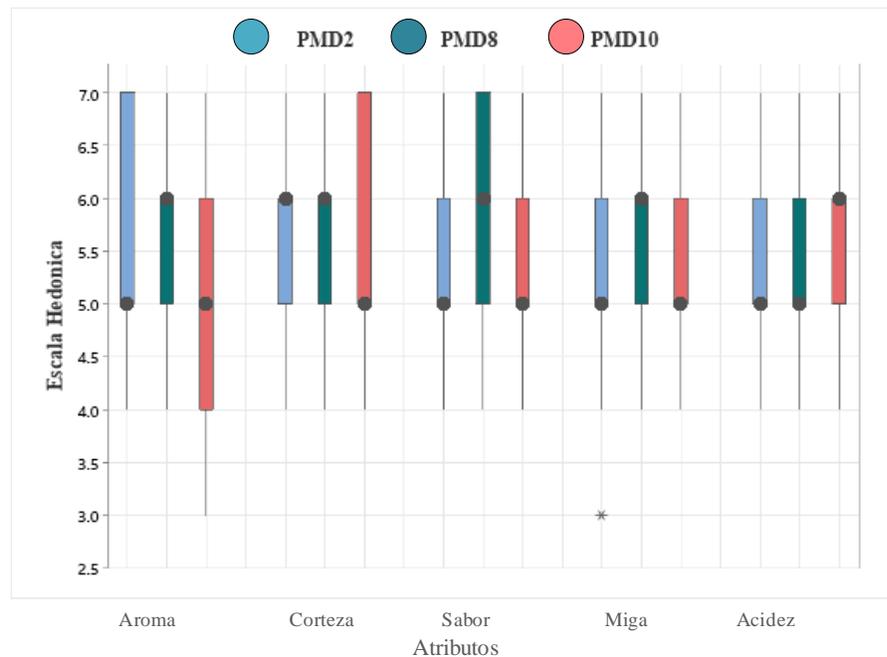
Conforme a la parcialidad de los jueces, la muestra más aceptada y seleccionada del nivel inferior es la PMD8, es así que realizando el análisis estadístico de varianza para la prueba de Tukey adjunta en el (Anexo C), se pudo evidenciar que existen diferencias significativas entre los atributos de las muestras evaluadas para el nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

4.4. Elección de muestra final de pan de campo saborizado

Se realizó la evaluación sensorial entre las muestras PMD2 (nivel superior); PMD8 (nivel inferior) del factor porcentaje de agua y PMD10 (muestra ideal), con la finalidad de establecer la muestra final de pan de campo saborizado con ajo y orégano.

4.4.1 Estadístico de caja y bigote para la muestra final de pan de campo saborizado

En la figura 4.30, muestra el estadístico de caja y bigote de datos extraídos del Anexo C, para los atributos de aroma (Tabla C.34), corteza (Tabla C.35), sabor (Tabla C.36), miga (Tabla C.37) y acidez (Tabla C.38)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.30: Caja y bigote para la muestra final de pan de campo saborizado

Según la figura 4.30, se puede observar el resultado de las medianas conforme a los atributos son: aroma 6,0 (PMD8), corteza 6,0 (PMD2 y PMD8), sabor 6,0 (PMD8), miga 6,0 (PMD8) y acidez 6 (PMD10).

Por lo tanto, los niveles de los factores e interacciones en el diseño factorial influyen de manera significativa sobre los atributos sabor, miga y acidez, no así en el atributo corteza y aroma de las muestras evaluadas, conforme a la parcialidad de los jueces, la muestra más aceptada y seleccionada como muestra final es la PMD8 (Cuadro 4.3.), es así que realizando el análisis estadístico de varianza para la prueba de tukey adjunta en el (Anexo C), se pudo evidenciar que existen diferencias significativas entre los atributos de las muestras evaluadas para el nivel de significancia de $\alpha=0.05$.

Cuadro 4.3

Formulación y parámetros de proceso de la muestra final (PMD8)

Materia prima/insumos	Dosificación (%)	Parámetros de proceso	Cantidad	Unidad
Harina de trigo	50,69	Tiempo de amasado	7	min
Agua	28,98	Tiempo de autólisis	30	min
Aceite	2,60	Tiempo de primera fermentación	120	min
Cultivo madre	9,68	Temperatura de fermentación	26	°C±
Harina de maíz	1,61	Tiempo de segunda fermentación	240	min
Harina integral	3,79			
Ajo	0,80	Tiempo de horneado	29	min
Orégano	0,30	Temperatura de horneado	190	°C±
Sal fina	1,26			
Miel de Abeja	2,69			

Fuente: Elaboración propia.

4.5 Caracterización del pan de campo de masa madre

En la caracterización de pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano, se tomaron en cuenta los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del pan de campo con masa madre, los cuales se detallan a continuación.

4.5.1 Análisis fisicoquímico del pan de campo de masa madre

En la tabla 4.31; se detallan los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del pan de campo de masa madre, de los datos extraídos del (Anexo A).

Tabla 4.31

Análisis fisicoquímicos de pan de campo de masa madre

Parámetros	Unidad	Resultado
Ceniza	%	2,14
Fibra	%	1,54
Grasa	%	0,46
Hidratos de Carbono	%	51,65
Humedad	%	37,56
Potasio	mg/100g	153,00
Proteína total (Nx5,70)	%	8,19
Valor energético	Kcal/100g	243,50

Fuente: CEANID,2023.

En la tabla 4.29; se puede observar los datos obtenidos del análisis fisicoquímico realizados del pan de campo de masa madre, que presenta: Fibra 1,54%, ceniza 2,14%, materia grasa 0,57%, hidratos de carbono 51,65%, humedad 37,57%, proteína total 8,19% y un valor energético de 243,50Kcal/100g, Potasio 153,00 mg/100g.

4.5.2 Análisis microbiológico de pan de campo de masa madre

En la tabla 4.32, se detallan los resultados obtenidos del análisis microbiológico de pan de campo de masa madre saborizado con ajo y orégano de datos extraídos del (Anexo A).

Tabla 4.32

Análisis microbiológico pan de campo de masa madre

Microorganismos	Unidad	Resultado
Bacterias aerobias mesófilas	UFC/g	$8,0 \times 10^1$
Coliformes fecales	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$ (*)
Coliformes totales	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$ (*)
Escherichia Coli	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$ (*)
Mohos y levaduras	UFC/g	$2,0 \times 10^1$

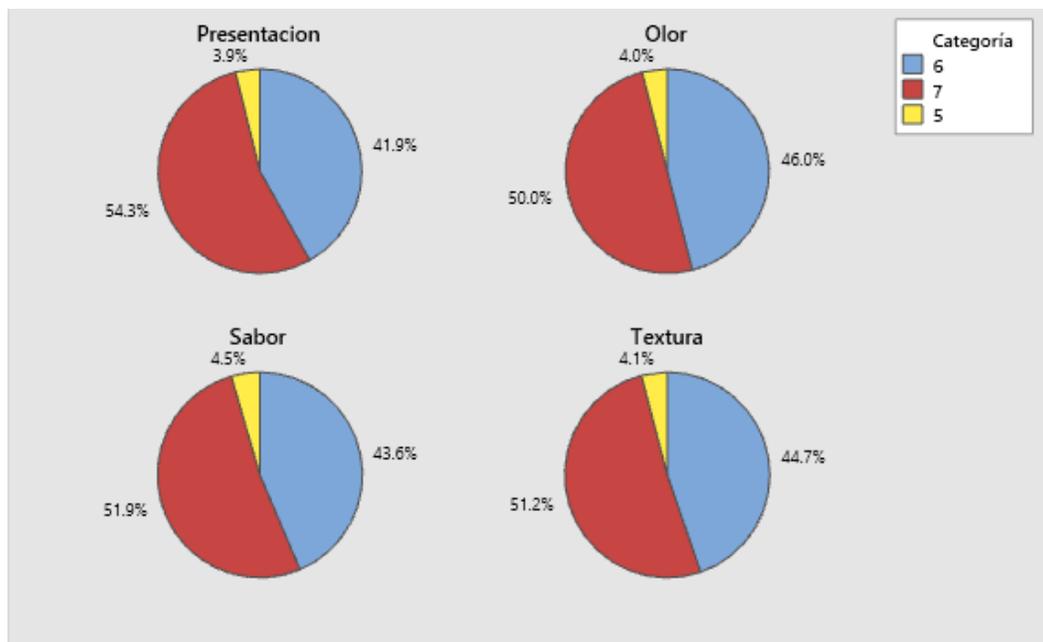
Fuente: CEANID,2023.

En la tabla 4.32, se observa los resultados obtenidos del análisis microbiológico del pan de campo con masa madre que presenta: Bacterias aerobias mesófitas $8,0 \times 10^1$ UFC/g, Coliformes fecales $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g, Coliformes totales $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g, Escherichia coli $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g, Mohos y levaduras con $2,0 \times 10^1$ (*) UFC/g. En donde (*) = No se observa desarrollo de colonias.

4.5.3 Valoración del producto final

Para realizar la valoración final de producto, se realizó una evaluación sensorial a la muestra PMD8 de pan de campo con masa madre sonORIZADO con ajo y orégano la cual se llevó a cabo según la escala hedónica de siete puntos con el fin de ver el grado de aceptación que presenta el pan de campo ante 20 jueces no experimentados.

En la figura 4.31, se muestra las tortas estadísticas de los datos extraídos de anexo D, para el atributo presentación (Tabla D.80), olor (Tabla D.81), sabor (Tabla D.82) y textura (Tabla D.83).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.31: Tortas estadísticas de valoración final de pan de campo con masa madre.

Según la figura 4.31, se muestran los resultados en porcentajes de 20 jueces no entrenados para los atributos: presentación con un puntaje de 7,0 (54,30%) y 6,0 (41,90), olor con 7,0 (50%) y 6,0 (46,00%) , sabor con puntos 7,0 (51,9%) y 6,0 (43,60%) y textura con 7,0 puntos (51,2%) y 6,0 (44,70%) . En base a los datos obtenidos, se puede concluir que más del 90% de los evaluadores (18 jueces), han calificado al producto con 7 y 6 puntos (me encanta y me gusta demasiado) , por lo tanto, se considera que el producto es satisfactorio.

4.6 Control de pH, acidez y contenido de humedad de pan de campo con masa madre enriquecido con ajo y orégano 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 de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano (PMD8) se elaboraron 2 muestras con la misma formulación con la siguiente codificación (P8N), sin conservante envasado en una bolsa de polipropileno con cierre hermético y (P8C), con conservante (Propionato de calcio), envasado en una bolsa de polipropileno con cierre hermético,

Para la obtención de los valores de pH, acidez y contenido de humedad del pan de campo de masa madre saborizado con ajo y orégano se realizó con el fin de determinar la durabilidad del producto por un determinado tiempo a través de análisis controlados en el laboratorio.

4.6.1 Control de contenido de humedad en el pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano

En la tabla 4.33, se muestran los resultados obtenidos de la variación del contenido de humedad del pan de campo con más madre sin conservante (P8N) y con conservante (P8C); en función al tiempo de almacenamiento.

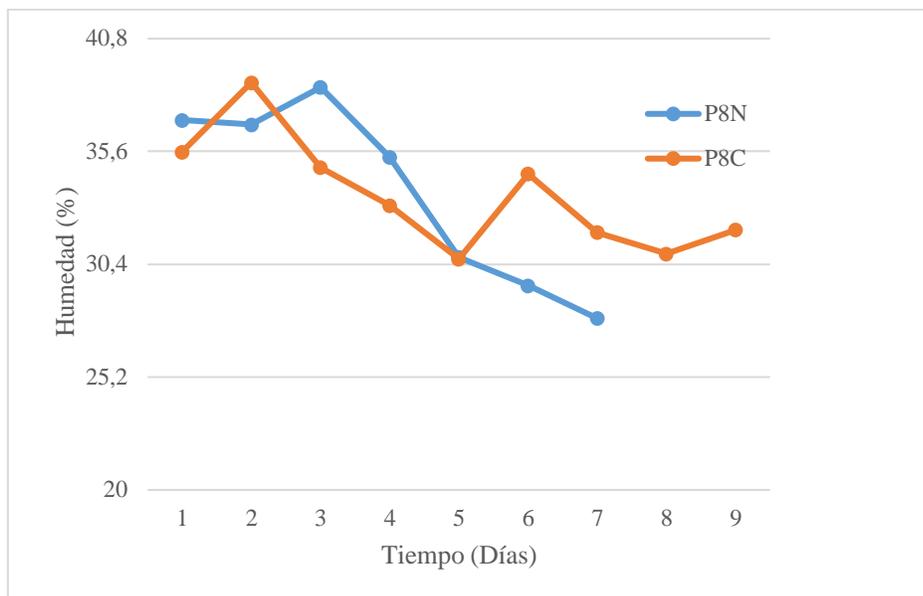
Tabla 4.33

Control de contenido de humedad en el pan de campo con masa madre

Tiempo (días)	Humedad (%)	
	P8N Sin conservante	P8C Con conservante
1	37,04	35,58
2	36,84	38,78
3	38,56	34,86
4	35,35	33,12
5	30,73	30,65
6	29,42	34,57
7	27,91	31,87
8	-	30,89
9	-	31,80

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.32, se representan el control del contenido de humedad en el pan de campo con masa madre durante el almacenamiento en base a la tabla 4.33.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.32: Control de contenido de humedad en el pan de campo en el almacenamiento.

En la figura 4.32, se puede observar el contenido de humedad en función del tiempo de las muestras P8N y P8C, donde la muestra sin conservante (P8N) pierde más rápido su contenido de humedad alcanzando un valor 27,91% en un tiempo de siete días, mientras tanto la muestra con conservante (P8C), en un tiempo de nueve días alcanza una humedad de 31,80%, a una temperatura ambiente de almacenamiento 25°C.

De acuerdo al control de humedad del pan de campo con masa madre en almacenamiento se puede evidenciar que las muestras inician con una humedad de 37,04% (P8N) y 35,58% (P8C) y finalizando con un valor de 27,91% (P8N) y 31,80% (P8C). Por tanto, la adición de conservante (propionato de calcio) si afecta directamente en el contenido de humedad, porque el pan dura dos días más con un contenido de humedad aceptable en el pan de campo con masa madre.

4.7.2 Control del pH en el pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano

En la tabla 4.34, se muestran los resultados obtenidos de la variación del pH pan de campo con más madre sin conservante (P8N) y con conservante (P8C); en función al tiempo de almacenamiento.

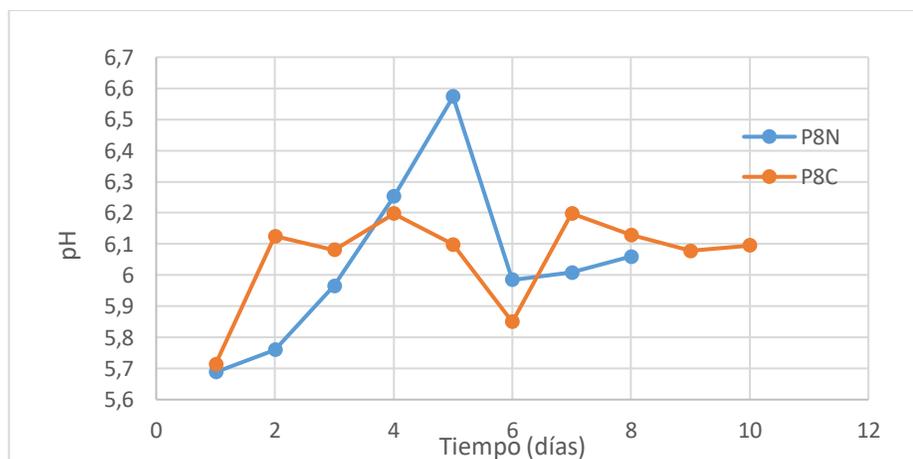
Tabla 4.34

Control de pH en el pan de campo con masa madre

Tiempo (días)	pH	
	P8N (Sin conservante)	P8C (Con conservante)
1	5,688	5,714
2	5,760	6,125
3	5,965	6,081
4	6,253	6,197
5	6,573	6,098
6	5,985	5,850
7	6,008	5,875
8	6,059	5,932
9	-	5,902
10	-	5,912

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.33, se representan el control del pH en el pan de campo con masa madre durante el almacenamiento en base a la tabla 4.34.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.33: Control de contenido de pH en el pan de campo en el almacenamiento.

En la figura 4.33, se puede observar el control del pH en función del tiempo de las muestras P8N y P8C para (0,0) días tienen un pH inicial de 5,688 (P8N) y 5,714 (P8N), para el segundo día ambas muestras presentan un ascenso de 5,760 (P8N) y 6,125 (P8C), sin embargo a partir del cuarto día el pH las muestras difieren hasta alcanzar un tiempo de ocho días de control en la muestra P8N (sin conservante) con un pH final de (6,059), mientras tanto la muestra con conservante (P8C), en un tiempo diez días presenta un pH de (5,912) . Por tanto, la adición de conservante (propionato de calcio) si afecta directamente en el pH, influyendo en un ascenso del valor.

4.6.3 Control de acidez (ácido láctico) en el pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano

En la tabla 4.35, se muestran los resultados obtenidos de la variación de acidez (ácido láctico) pan de campo con más madre sin conservante (P8N) y con conservante (P8C); en función al tiempo de almacenamiento.

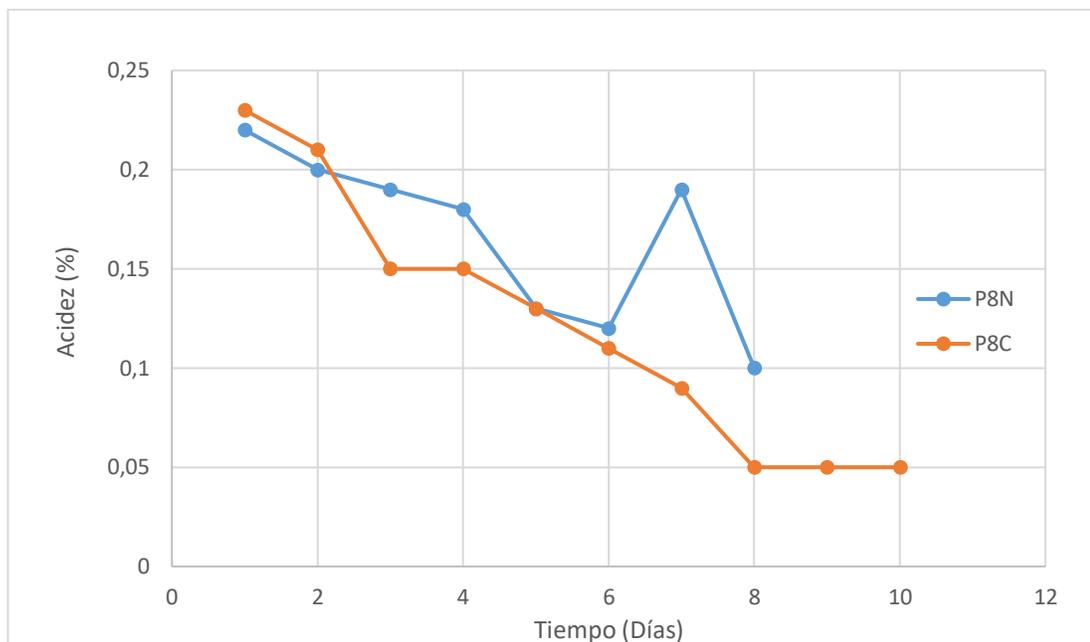
Tabla 4.35

Control de acidez (ácido láctico) en el pan de campo con masa madre

Tiempo (Días)	Acidez (ácido láctico)	
	P8N Sin conservante	P8C Con conservante
1	0,22	0,23
2	0,20	0,21
3	0,19	0,15
4	0,18	0,13
5	0,13	0,11
6	0,12	0,11
7	0,19	0,10
8	0,10	0,10
9	-	0,11
10	-	0,11

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.34, se representan el control de acidez (ácido láctico) en el pan de campo con masa madre durante el almacenamiento en base la tabla 4.35.



Fuente: Elaboración propia.

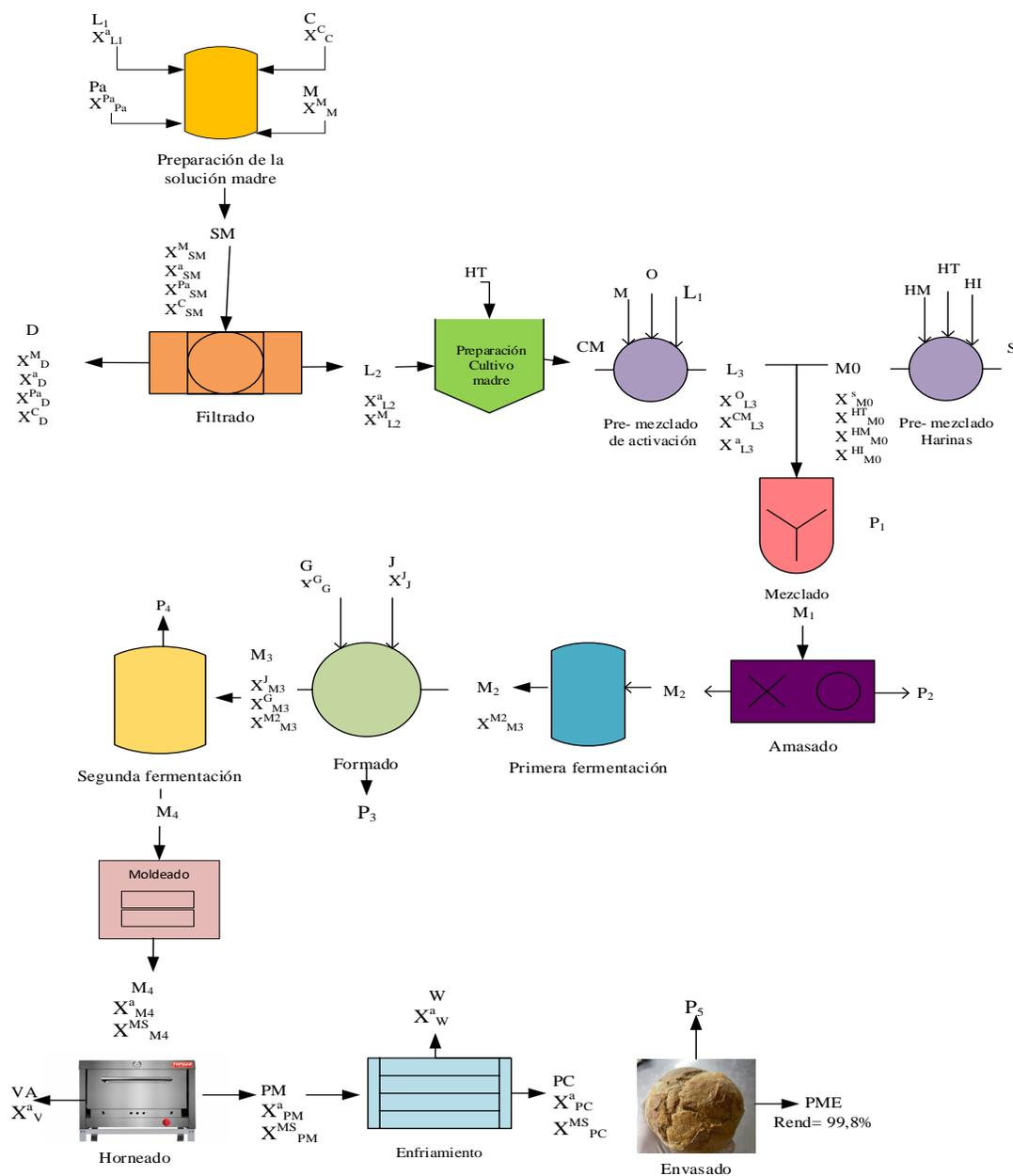
Figura 4.34: Control de acidez (ácido láctico) pan de campo en el almacenamiento

En la figura 4.34, se puede observar el control acidez (ácido láctico) en función del tiempo de las muestras P8N y P8C presenta para (0,0) días una acidez inicial de 0,22% (P8N) y 0,23% (P8N), ambas muestras presentan un descenso de acidez, donde la muestra sin conservante alcanza un valor de 0,10% (P8N) en un tiempo de siete días, mientras tanto la muestra con conservante (P8C), en un tiempo de nueve días alcanza una acidez de 0,11%.

De acuerdo al control de acidez del pan de campo con masa madre en almacenamiento se puede evidenciar que las muestras inician con una acidez (ácido láctico) 0,22% (P8N) y 0,23% (P8C) y finalizando con un valor de 0,10% (P8N) y 0,11% (P8C). Por tanto, la adición de conservante (propionato de calcio) no afectan tan significativamente en el contenido de acidez (ácido láctico) en el pan de campo con masa madre.

4.7 Balance de materia para el proceso de elaboración de pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano

En la figura 4.35, se muestra el diagrama de flujo del balance general de materia para la elaboración para la elaboración de pan de campo de masa madre con ajo y orégano, en base a 50g de agua para la preparación de la solución madre.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.35: Balance de materia para el proceso de elaboración de pan de campo

Donde:

L_1 = Agua (g)

Pa= Pulpa de Manzana (g)

C = Cáscara de manzana (g)

M = Miel de abeja (g)

SM = Solución madre (g)

L_2 = Solución filtrada (g)

D = Descarte (g)

HT = Harina de trigo (g)

CM = Cultivo madre (g)

HI = Harina integral (g)

HM = Harina de maíz (g)

S = Sal (g)

M_0 = Pre mezcla de harinas (g)

L_3 = Solución de activación

O = Orégano (g)

J = Ajo crudo (g)

G = Aceite de oliva (g)

P_1 = Pérdida en la etapa de mezclado (g)

P_2 = Pérdida en la etapa de amasado (g)

P_3 = Pérdidas en la etapa de formado (g)

P_4 = Pérdidas en la etapa de fermentación (g)

P_5 = Pérdidas en el envasado (g)

M_1 = Mezcla de masa (g)

M_2 = Masa amasada (g)

M_3 = Masa formada (g)

M_4 = Masa fermentada (g)

VA = Vapor de agua en la etapa de horneado (g)

W = Vapor de agua en la etapa de enfriado (g)

PM = Pan de masa madre horneado (g)

PC = Pan de campo con masa madre enfriado (g)

PME = Pan envasado (g)

X^c = Fracción de cáscara de manzana

X^a = Fracción de agua

X^M = Fracción de miel de abeja

X^c = Fracción de cáscara

X^{Pa} = Fracción de pulpa de manzana

X^s = Fracción de sal

X^{HM} = Fracción de harina de maíz

X^{HI} = Fracción de harina integral

X^{HT} = Fracción de harina de trigo

X^O = Fracción de orégano en polvo

X^{CM} = Fracción de cultivo madre

X^J = Fracción de ajo.

X^G = Fracción de grasa

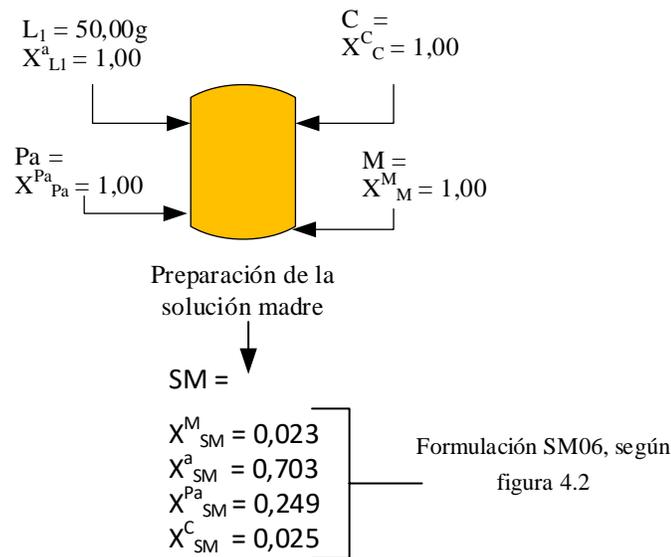
X^{M2} = Fracción de masa amasada

X^{MS} = Fracción de masa

X^g = Fracción de gases

4.7.1 Balance de materia en la etapa de preparación de la solución madre

En la figura 4.36, se muestra la etapa de preparación de la solución madre con manzana roja que se utilizó para la obtención de pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano donde la cantidad utilizada fue:



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.36: Balance de materia en la preparación de solución madre.

- Balance general de materia en la preparación de la solución madre

$$L_1 + Pa + C + M = SM \quad \text{Ecuación 4.1}$$

- Balance parcial de materia para la fracción de agua en la solución madre

$$L_1 (X^a_{L1}) + Pa (X^a_{Pa}) + C (X^a_C) + M (X^a_M) = SM (X^a_{SM}) \quad \text{Ecuación 4.2}$$

- Reemplazando datos en la ecuación 4.2 obtenemos:

$$50,00 \text{ g} \times (1,00) + Pa \times (0,00) + C \times (0,00) + M \times (0,00) = SM \times (0,703)$$

$$50,00 \text{ g} (1,00) = SM (0,703)$$

- Despejamos SM

$$SM = \frac{50,00 (1,00) \text{ g}}{0,703}$$

$$SM = 71,12 \text{ g de Solución madre obtenida.}$$

- Balance parcial de materia para la fracción pulpa de manzana de la solución madre

$$L_1 (X^{Pa}_{L1}) + Pa (X^{Pa}_{Pa}) + C (X^{Pa}_C) + M (X^{Pa}_M) = SM (X^{Pa}_{SM}) \quad \text{Ecuación 4.3}$$

- Reemplazando datos en la ecuación 4.3, obtenemos:

$$50,00 \text{ g} (0,00) + Pa (1,00) + C (0,00) + M (0,00) = 71,12 \text{ g} (0,24)$$

- Despejamos Pa

$$Pa = 71,12g (0,249)$$

Pa = 17,71g de pulpa de manzana para la solución madre.

- Balance parcial de materia para la fracción miel de abeja de la solución madre

$$L_1(X_{L1}^M) + Pa (X_{Pa}^M) + C (X_C^M) + M (X_M^M) = SM (X_{SM}^M) \quad \text{Ecuación 4.4}$$

- Reemplazando datos en la ecuación 4.4, se obtiene:

$$50,00g (0,00) + 17,68g (0,00) + C (0,00) + M (1,00) = 71,12g (0,023)$$

- Despejamos M

$$M = 71,12g (0,023)$$

M = 1,64 g de miel de abeja

- Reemplazando datos en la ecuación 4.1, obtenemos:

$$50,00g + 17,71g + C + 1,64g = 71,12g$$

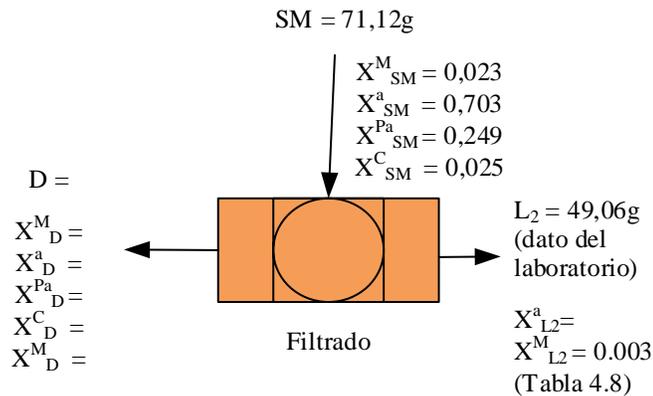
- Despejamos C

$$C = 71,12g - 50,00g - 17,71g - 1,64g$$

C = 1,77 g de Cáscara necesarios para la solución madre

4.7.2 Balance de materia en la etapa de filtración de la preparación de solución madre

En la figura 4.37, se muestra la etapa de filtración donde se realizó a 71,12 g de preparación de solución madre, obteniendo cantidad de solución madre de 49,06 g pesados en el laboratorio.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.37: Balance de materia en la etapa de filtración de la solución madre

- Balance general de material en la etapa de filtración de la solución madre

$$SM = D + L_2 \quad \text{Ecuación 4.5}$$

- Despejo D y reemplazo datos en la ecuación 4.5

$$D = 71,12g - 49,06g$$

$$D = 22,06 \text{ g de descarte}$$

- Balance parcial de materia para la fracción de pulpa de manzana

$$SM (X^{Pa}_{SM}) + D (X^{Pa}_D) = L_2 (X^{Pa}_{L_2}) \quad \text{Ecuación 4.6}$$

- Reemplazamos valores en la ecuación 4.6:

$$71,12g (0,249) = 22,06g (X^{Pa}_D) + L_2 (0,00)$$

- Despejamos X^{Pa}_D , fracción de pulpa de manzana en el descarte

$$X^{Pa}_D = \frac{71,12g (0,249)}{22,06g}$$

$$X^{Pa}_D = 0,80 \text{ fracción de pulpa de manzana en el descarte.}$$

- Balance parcial de materia para la fracción de cáscara de manzana

$$SM (X^C_{SM}) + D (X^C_D) = L_2 (X^C_{L_2}) \quad \text{Ecuación 4.7}$$

- Reemplazamos valores en la ecuación 4.7_

$$71,12g (0,025) = 22,06g (X^C_D) + L_2 (0,00)$$

- Despejamos X^{Ca}_D , fracción cáscara en el descarte

$$X_{D}^{Ca} = \frac{71,12g (0,025)}{22,06g}$$

$X_{D}^{C} = 0,08$ fracción de cáscara de manzana en el descarte.

- Balance parcial de materia de la fracción de miel en la etapa de filtración

$$SM (X_{SM}^{M}) + D (X_{D}^{M}) = L_{2} (X_{L2}^{M}) \quad \text{Ecuación 4.8}$$

Reemplazando datos en la ecuación 4.8, tenemos:

$$71,12 \text{ g} (0,023) + 22,06 (X_{D}^{M}) = 49,06 (0,035)$$

Despejando X_{L2}^{M} , fracción de miel de la solución filtrada:

$$X_{D}^{M} = \frac{71,12 \text{ g} (0,023) + 49,06 (0,003)}{22,06 \text{ g}}$$

$X_{D}^{M} = 0,08$ Fracción de miel en la solución filtrada

- Aplicamos que la suma de la fracción de componentes de (Valiente , 2002):

$$\sum(X_1 + X_2 + \dots \cdot X_i = 1 \quad \text{Ecuación 4.9}$$

- Por lo tanto, la suma de os componentes según la ecuación 4.8 del descarte es:

$$X_{D}^{Ca} + X_{D}^{Pa} + X_{D}^{a} + X_{D}^{M} = 1$$

- Despejo X_{D}^{a} , fracción de agua en el descarte

$$X_{D}^{a} = 1 - 0,80 - 0,08 - 0,08$$

$$X_{D}^{a} = 0,04 \text{ fracción de agua en el descarte}$$

- En base a la ecuación 4.9, hallamos la cantidad de agua en la solución filtrada

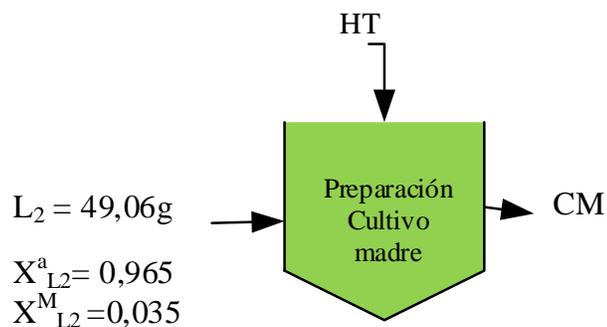
$$X_{L2}^{M} + X_{L2}^{Ma} = 1$$

$$X_{L2}^{a} = 1 - 0,003$$

$$X_{L2}^{a} = 0,997 \text{ Fracción de agua en la solución filtrada}$$

4.7.3 Balance de materia en la preparación del cultivo madre

En la figura 4.38, se muestra el balance de materia de la preparación del cultivo madre en base a la relación 1 kg de Harina / 1,2 kg de solución filtrada.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.38: Balance de materia la etapa de preparación cultivo madre.

- Por lo tanto, en base a la relación utilizada se tiene:

1 kg Harina de trigo \rightarrow 1.2 kg de Solución filtrada
 X kg Harina de trigo \rightarrow 0,049Kg de Solución filtrada

$$X \text{ kg HT} = \frac{0,049 \text{ kg } L_2}{1,2 \text{ kg } L_2} \times 1 \text{ kg HT} = 0,041 \text{ kg de HT} = 41,30 \text{g HT}$$

- Balance de materia global para la preparación del cultivo madre

$$\text{HT} + L_2 = \text{CM}$$

Ecuación 4.10

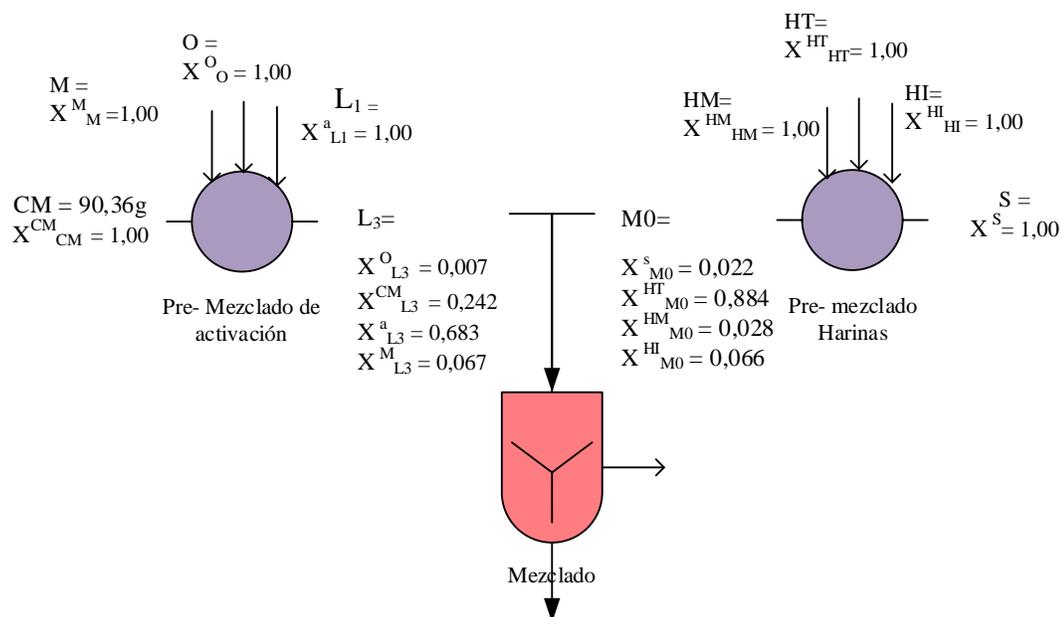
- Despejamos CM y reemplazamos valores

$$\text{CM} = 41,30 \text{ g} + 49,06 \text{g}$$

$$\text{CM} = 90,36 \text{ g de cultivo madre obtenido}$$

4.7.4 Balance de materia en la etapa de mezclado

En la figura 4.39, se muestra el balance en la etapa de mezclado separado la pre-mezcla de harina y la pre-mezcla de activación, datos extraídos del (Anexo F.1)

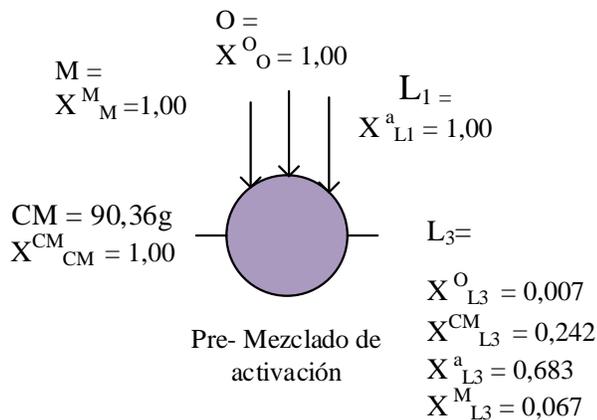


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.39: Balance de materia general en el mezclado

4.7.4.1 Balance de materia en el pre mezclado de activación

En la figura 4.40, se observa el balance de materia para la pre activación datos extraídos del Anexo F.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.40: Balance de materia en la pre activación

- Balance de materia general para la pre- mezcla de activación

$$CM + M + O + L_1 = L_3 \quad \text{Ecuación 4.11}$$

- Balance parcial de materia de la fracción de cultivo madre

$$CM (X^{CM}_{L1}) + M (X^{CM}_M) + O (X^{CM}_O) + L_1(X^{CM}_{L1}) = L_3 (X^{CM}_{L1}) \quad \text{Ecuación 4.12}$$

Reemplazando datos en la ecuación 4.12:

$$90,63g (1,00) + \cancel{M (0,00)} + \cancel{O (0,00)} + \cancel{L_1(0,00)} = L_3 (0,242)$$

$$90,63g (1,00) = L_3 (0,242)$$

$$L_3 = \frac{90,63g}{0,242}$$

$L_3 = 374,50$ g de solución de activación.

- Balance parcial de materia de la fracción de agua

$$CM (X^a_{CM}) + M (X^a_M) + O (X^a_O) + L_1(X^a_{L1}) = L_3 (X^a_{L3}) \quad \text{Ecuación 4.13}$$

Reemplazando valores en la ecuación 4.14:

$$\cancel{90,63g (0,00)} + \cancel{M (0,00)} + \cancel{O (0,00)} + L_1(1,00) = 374,50g (0,683)$$

$$\text{Entonces: } L_1(1,00) = 374,50g (0,683)$$

$L_1 = 255,78$ g agua para la pre-mezcla de activación

- Balance parcial de materia de la fracción de miel

$$CM (X^M_{CM}) + M (X^M_M) + O (X^M_O) + L_1(X^M_{L1}) = L_3 (X^M_{L3}) \quad \text{Ecuación 4.14}$$

Reemplazando valores

$$\cancel{90,63g (0,00)} + M (1,00) + \cancel{O (0,00)} + \cancel{L_1(0,00)} = 374,50g (0,683)$$

$$\text{Entonces: } M (1,00) = 374,50g (0,0667)$$

$M = 24,98$ g de miel de abeja para la pre- mezcla de activación

- Reemplazando los datos encontrados en la ecuación 4.11, balance de materia general para la pre- mezcla de activación:

$$CM + M + O + L_1 = L_3$$

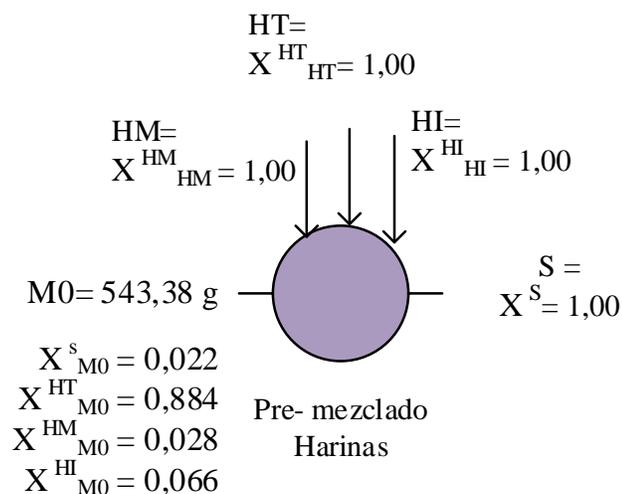
$$90,63g + 24,98g + O + 255,78g = 374,50g$$

$$O = 374,50g - 90,63g - 255,78g - 24,98g$$

$$O = 3,11g \text{ orégano en polvo.}$$

4.7.4.2 Balance de materia para la pre-mezcla de harinas

En la figura 4.41, se observa el balance de materia para la pre-mezcla en base que la pre-mezcla de activación es: 374,50g (39,55%), la cantidad pre-mezcla de harinas es: (el 57,53%) de harinas datos extraídos del Anexo F.1.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.41: Balance de materia en la pre-mezcla de harinas.

Por lo tanto, aplicando una regla de tres obtendremos que:

$$374,50 \rightarrow 39,65\%$$

$$M0 \rightarrow 57,53 \%$$

$$M0 = \frac{57,53\% \times 374,50g}{39,65\%}$$

$$M0 = 543,38 \text{ g de la pre-mezcla de harina}$$

- Balance de materia general para la pre- mezcla de harinas

$$HM + S + HT + HI = M0$$

Ecuación 4.15

- Balance parcial de materia de la fracción de harina de trigo

$$HM (X^{HT}_{HM}) + S(X^{HT}_S) + HT(X^{HT}_{HT}) + HI(X^{HT}_{HI}) = M0(X^{HT}_{M0}) \quad \text{Ecuación 4.16}$$

Reemplazando datos en la ecuación 4.16, obtenemos:

$$\cancel{HM (0,00)} + \cancel{S(0,00)} + HT(1,00) + \cancel{HI(0,00)} = 543,38g (0,884)$$

$$HT = 543,38g (0,884)$$

HT = 480,35 g de harina de trigo en el pre-mezclado de harinas

- Balance parcial de materia de la fracción harina integral

$$HM (X^{HM}_{HM}) + S (X^{HM}_S) + HT (X^{HM}_{HT}) + HI (X^{HM}_{HI}) = M0 (X^{HM}_{M0}) \quad \text{Ecuación 4.17}$$

Reemplazando valores en la ecuación 4.17 obtenemos:

$$HM (1,00) + \cancel{S(0,00)} + \cancel{HT(0,00)} + \cancel{HI(0,00)} = 543,38 g (0,028)$$

$$HM (1,00) = 543,38 g (0,028)$$

HI = 15,28 g de harina de maíz en el pre- mezclado de harinas

- Balance parcial de materia de la fracción de harina de integral

$$HM (X^{HI}_{HM}) + S(X^{HI}_S) + HT(X^{HI}_{HT}) + HI(X^{HI}_{HI}) = M0(X^{HI}_{M0}) \quad \text{Ecuación 4.18}$$

Reemplazando valores en la ecuación 4.18, obtenemos:

$$\cancel{HM (0,00)} + \cancel{S(0,00)} + \cancel{HT(0,00)} + HI (1,00) = M0 (0,066)$$

$$\text{Entonces: } HI (1,00) = 543,38 g (0,066)$$

HI = 35,86 g de harina integral para la pre- mezcla de activación

- Reemplazando los datos encontrados en la ecuación 4.15, balance de materia general para la pre- mezcla de harinas:

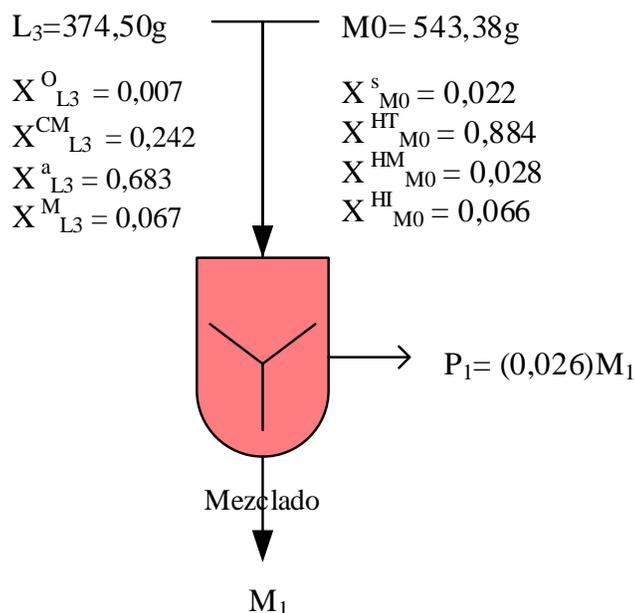
$$HM + S + HT + HI = M0$$

$$S = M0 - HT - HM - HI$$

$$S = 543,38 g - 480,35 g - 15,28 g - 35,86 g$$

$$S = 11,89 g \text{ de sal en la pre-mezcla de harinas.}$$

Entonces: en la figura 4.42, se puede observar el balance final de mezclado, se debe considerar que el porcentaje de perdidas es del 2,6%.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.42: Balance de materia en la etapa de mezclado.

- Balance general de materia en el mezclado

$$L_3 + M_0 = M_1 + P_1$$

Ecuación 4.19

- Reemplazando $P_1 = M_1 (0,026)$ en la ecuación 4.18, despejamos M_1

$$L_3 + M_0 = M_1 + M_1 (0,026)$$

$$L_3 + M_0 = M_1 (1 + 0,026)$$

$$M_1 = \frac{374,50 \text{ g} + 543,38 \text{ g}}{1,026}$$

$$1,026$$

$$M_1 = 894,62 \text{ g de masa mezclada}$$

- Reemplazando los datos obtenido en la ecuación 4.19, despejamos P_1

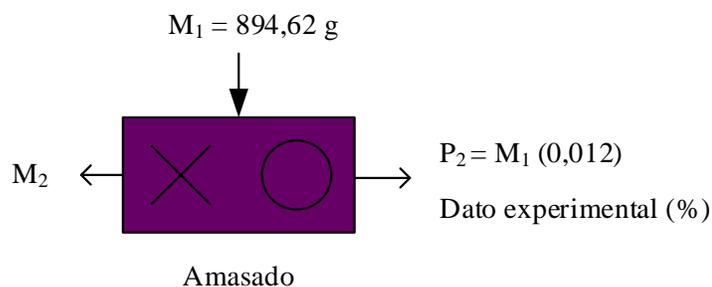
$$P_1 = L_3 + M_0 - M_1$$

$$P_1 = 374,50 \text{ g} + 543,38 \text{ g} - 894,62$$

$$P_1 = 23,26 \text{ g de pérdidas en el mezclado de los ingredientes}$$

4.7.5 Balance de materia en la etapa de amasado

En la figura 4.43, se muestra el diagrama para la etapa de amasado, se conoce a nivel experimental que el porcentaje de pérdidas en esta etapa corresponde a 1,2% para realizar el balance de materia correspondiente:



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.43: Balance de materia en la etapa de amasado.

- Balance general en la etapa de amasado

$$M_1 = P_2 + M_2$$

Ecuación 4.20

- Reemplazamos P_2 , en la ecuación 4.20, obtenemos:

$$M_1 = M_2(0,012) + M_2$$

- Despejamos M_2

$$M_2 = M_1 - M_1(0,012)$$

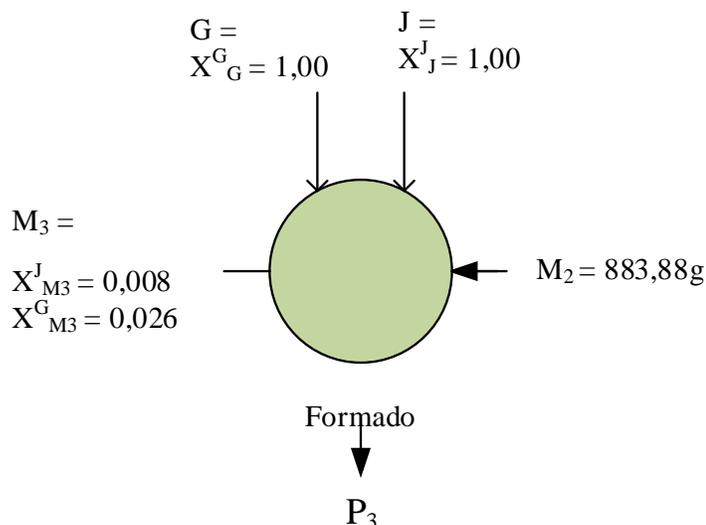
- Reemplazamos valores en la ecuación 4.20 y hallamos M_2

$$M_2 = 894,62 \text{ g} - 894,62 \text{ g} (0,012)$$

$$M_2 = 883,88 \text{ g masa amasada en la etapa de amasado.}$$

4.7.6 Balance de materia en la etapa de formado

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



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.44: Balance de materia en la etapa de formado

- Balance de general de materia en el formado

$$M_2 + J + G = M_3 + P_3 \quad \text{Ecuación 4.21}$$

Realizamos la suma los componentes en M_3

$$X_{M_3}^{M_2} + X_{M_3}^J + X_{M_3}^G = 1 \quad \text{Ecuación 4.22}$$

Despejo $X_{M_3}^{M_2}$, y reemplazo valores en la ecuación 4.22:

$$X_{M_3}^{M_2} = 1 - 0,026 - 0,008$$

$$X_{M_3}^{M_2} = 0,966 \text{ fracción de masa amasada}$$

- Balance parcial de materia de masa amasada

$$M_2(X_{M_2}^{M_2}) + J(X_{M_2}^{M_2}) + G(X_{M_2}^{M_2}) = M_3(X_{M_3}^{M_2}) + P_3(X_{P_3}^{M_2}) \quad \text{Ecuación 4.23}$$

Reemplazando valore en la ecuación 4.23, obtenemos:

$$883,88 \text{ g} (1,00) + \cancel{J(0,00)} + \cancel{G(0,00)} = M_3 (0,966) + \cancel{P_3(0,00)}$$

$$M_3 = \frac{883,88 \text{g} (1,00)}{0,966}$$

$$M_3 = 914,99 \text{ g masa formada.}$$

- Balance parcial de materia de ajo

$$M_2(X_{M_2}^J) + J(X_{M_2}^J) + G(X_{M_2}^J) = M_3(X_{M_3}^J) + P_3(X_{P_3}^J) \quad \text{Ecuación 4.24}$$

- Reemplazamos valores, en la ecuación 4.24:

$$M_2(0,00) + J(1,00) + G(0,00) = 914,99g(0,026) + P_3(0,00)$$

$$J = 914,99 g(0,008)$$

J = 7,32 g de Ajo crudo para la etapa de formado

- Balance parcial de materia de aceite de oliva

$$M_2(X_{M_2}^G) + J(X_J^G) + G(X_G^G) = M_3(X_{M_3}^G) + P_3(X_{P_3}^G) \quad \text{Ecuación 4.25}$$

- Reemplazamos valores, en la ecuación 4.25:

$$M_2(0,00) + J(0,00) + G(1,00) = 914,99g(0,026) + P_3(0,00)$$

$$G = 914,99 g(0,026)$$

G = 23,78 g de aceite de oliva para la etapa de formado

Reemplazando valores en la ecuación 4.21 y despejamos P₃

$$M_2 + J + G = M_3 + P_3$$

$$883,88 g + 7,32 g + 23,78g = 914,99 g + P_3$$

$$P_3 = 914,99 g - 883,88 g - 7,32 g - 23,78 g$$

$$P_3 = 0,01 g$$

- Cantidad en porcentaje de pérdidas del formado de la masa

$$P_3 = \frac{P_3}{M_2 + J + G} \times 100 \quad \text{Ecuación 4.26}$$

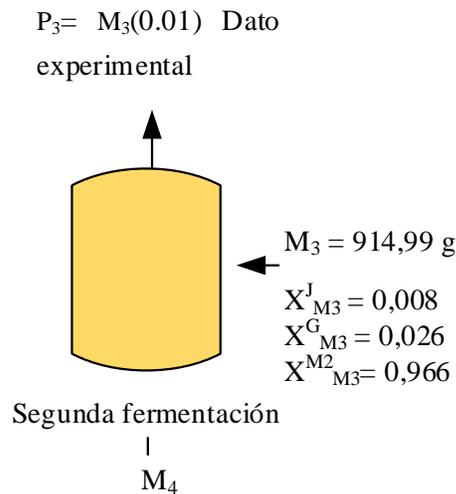
- Reemplazamos valores

$$P_3 = \frac{0,01g}{883,88 + 7,32g + 23,78g} \times 100$$

$$P_3 = 0,001\% \text{ de pérdidas en el formado .}$$

4.7.7 Balance de materia en la segunda fermentación

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



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.45: Balance de materia en la etapa de fermentación.

- Balance general de materia en la etapa de fermentación

$$M_3 = M_4 + P_4 \quad \text{Ecuación 4.27}$$

Dónde: $P_4 = M_3 (0.01)$, reemplazando este dato obtendremos:

$$M_3 = M_4 + M_3 (0.01)$$

$$M_4 = M_3 - M_3 (0.01)$$

$$M_4 = 914,99 \text{ g} (1 - 0.01)$$

$$M_4 = 905.84 \text{ g masa fermentada}$$

Volviendo a la ecuación 4.27, se despeja P_4

$$P_4 = M_3 - M_4$$

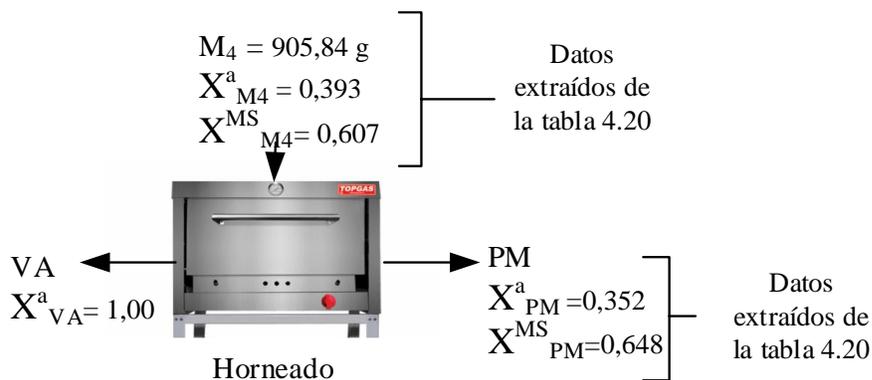
Reemplazamos datos en la ecuación 4.27, se obtiene:

$$P_4 = 914,99 \text{ g} - 905,84 \text{ g}$$

$$P_4 = 9,15 \text{ g de pérdidas en la etapa de fermentación}$$

4.7.8 Balance de materia en la etapa de horneado

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



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.46: Balance de materia en la etapa de horneado

- Balance general de materia en la etapa de horneado

$$M_4 = VA + PM \quad \text{Ecuación 4.28}$$

- Balance por parcial de materia de la fracción masa seca

$$M_4(X^{MS}_{M_4}) = VA(X^{MS}_{VA}) + PM(X^{MS}_{PM}) \quad \text{Ecuación 4.28}$$

- Reemplazamos valores

$$905,84 \text{ g} (0,607) = VA(0,00) + PM(0,648)$$

- Despejamos PM

$$PM = \frac{905,84 \text{ g} (0,607)}{0,648}$$

$$PM = 848,53 \text{ g Pan de masa madre horneado}$$

- Volviendo a la ecuación 4.28, despejamos VA

$$VA = M_4 - PM$$

- Reemplazamos valores

$$VA = 905,84 \text{ g} - 848,53 \text{ g}$$

$$VA = 57,31 \text{ g vapor de agua perdido en el horneado.}$$

Cantidad de porcentaje de vapor de agua en la etapa de horneado

Ecuación 4.29

$$\frac{VA}{\%VA} = \frac{M_4}{\%M_4}$$

$$\%VA = \frac{VA}{M_4} * \%M_4$$

$$\%VA = \frac{57,31g}{905,84g} * 100\%$$

$$\%VA = 6,33 \% \text{ de vapor de agua generado en el horno}$$

- Balance parcial para la concentración de humedad en el vapor de agua

$$M_4(X^a_{M_4}) = VA(X^a_{VA}) + PM(X^a_{PM})$$

Ecuación 4.30

Despejamos X^a_{VA}

$$X^a_{VA} = \frac{M_4(X^a_{M_4}) - PM_1(X^a_{PM})}{VA}$$

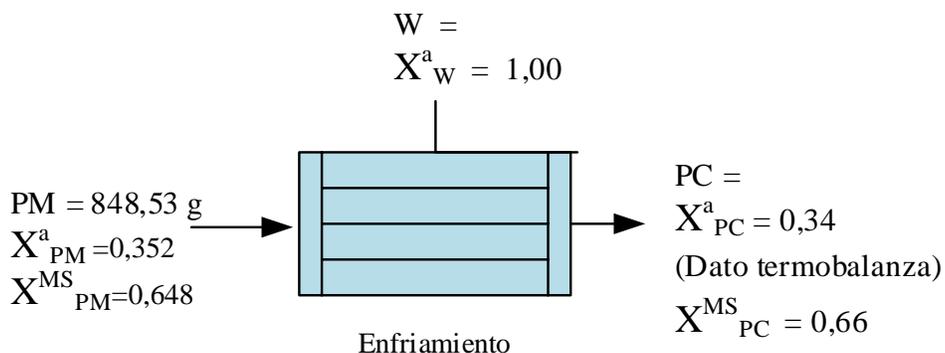
Reemplazando datos, en la ecuación 4.30:

$$X^a_{VA} = \frac{905,84 (0,393) - 848,53 (0,352)}{57,31}$$

$$X^a_{VA} = 1,00$$

4.7.9 Balance de materia en la etapa de enfriamiento

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



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.47: Balance de materia en la etapa de enfriamiento.

- Balance general de materia en la etapa de enfriamiento

$$PM = PC + W \quad \text{Ecuación 4.31}$$

- Balance de parcial de materia de la masa seca en la etapa de enfriamiento

$$PM(X^{MS}_{PM}) = PC(X^{MS}_{PC}) + W(0,00) \quad \text{Ecuación 4.32}$$

- Reemplazando valores en la ecuación 4.32, tenemos:

$$848,53 \text{ g} (0,648) = PC (0,66)$$

$$PC = \frac{848,53 \text{ g} (0,648)}{0,66}$$

$$PC = 833,10 \text{ g pan de campo con masa madre enfriado.}$$

- Reemplazando en la ecuación 4.31, el valor obtenido despejamos W.

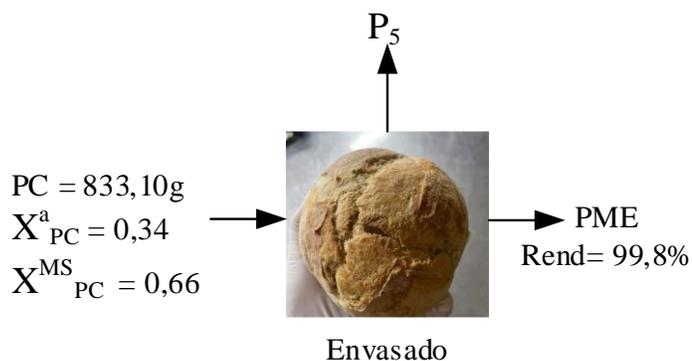
$$W = PM - PC$$

$$W = 848,53 \text{ g} - 833,10 \text{ g}$$

$$W = 15,43 \text{ g de vapor de agua evaporada en el enfriamiento.}$$

4.7.10 Balance de materia en la etapa de envasado

En la figura 4.48, se muestra el diagrama para la etapa de envasado para realizar el balance de materia a través de sus datos de rendimiento.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.48: Balance de materia en la etapa de envasado

- Balance general de materia en la etapa de envasado

$$PC = PME + P_5 \quad \text{Ecuación 4.33}$$

- Para el cálculo de P_5 (perdidas en el envasado), se tomó en cuenta el rendimiento

$$P_5 = 833,10 \text{ g} (0,002) \quad \text{Ecuación 4.34}$$

$$P_5 = 1,66 \text{ g Pérdidas en el envasado}$$

- Reemplazando el valor obtenido en la ecuación 4.32

$$PME = PC - P_5$$

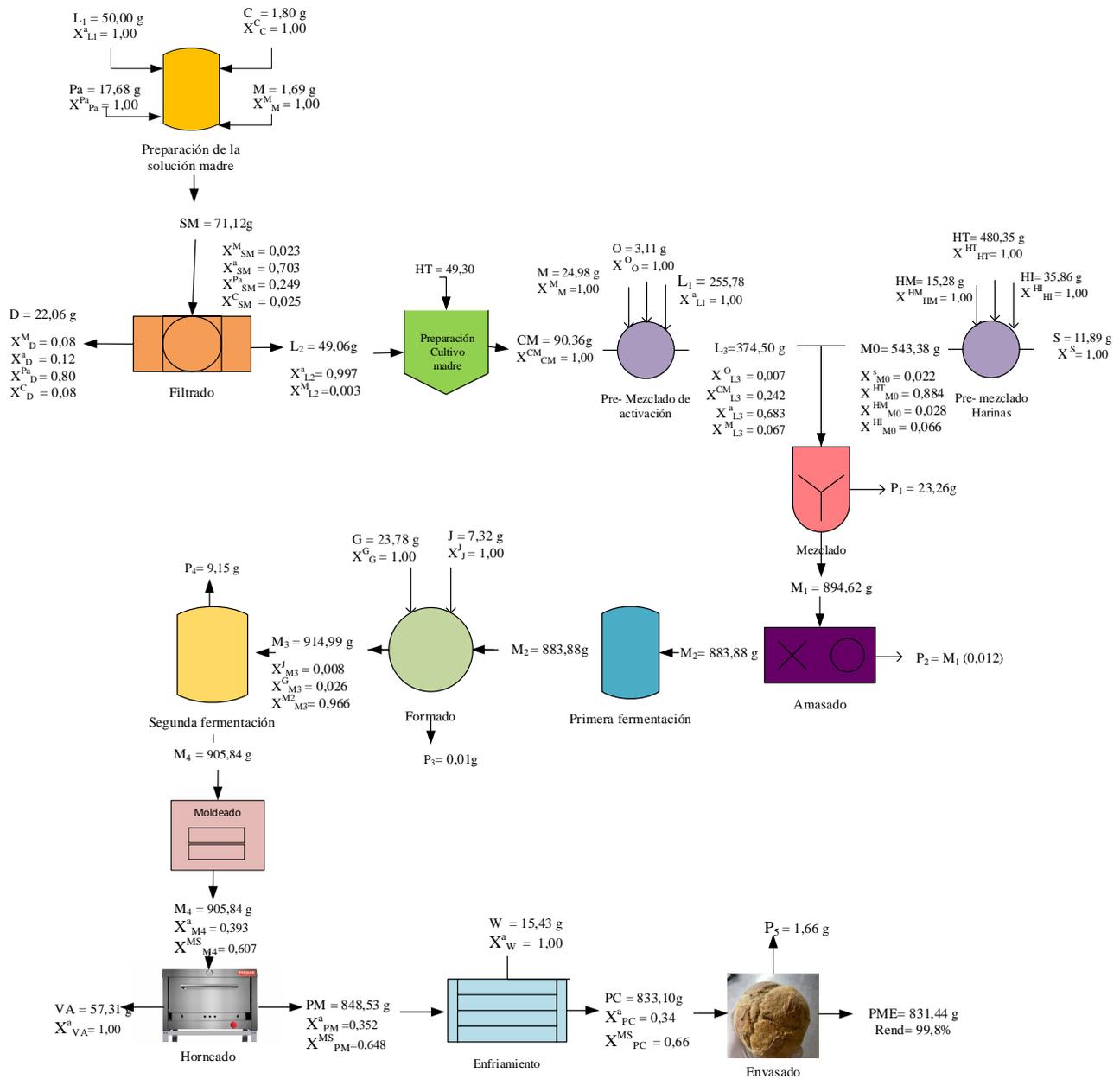
$$PME = 833,10 \text{ g} - 1,66 \text{ g}$$

$$PME = 831,44 \text{ g de pan de campo con masa madre envasado}$$

Realizando el balance de materia para la elaboración de pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano, se pudo obtener 831,44 g de pan de campo ya envasado, que rinde para 26 porciones de rodajas de 35g cada una aproximadamente.

4.8 Resumen del balance de materia para el proceso de elaboración de pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano

En la figura 4.49, se muestra el resumen de los resultados obtenidos del balance general de materia para la elaboración de pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.49: Resumen del balance de materia en la elaboración de pan de masa madre saborizado

4.9 Balance de energía para el proceso de fermentación y horneado de pan de campo con masa madre

Para la etapa de fermentación de pan de campo con masa madre se utilizó una incubadora a una temperatura de 26°C, sabiendo que la temperatura ambiente promedio era de 16°C, el tiempo necesario para alcanzar esa temperatura fue (23 minutos). En la figura 4.50, se muestra el proceso de fermentación para determinar la energía eléctrica de arranque requerida para el proceso de fermentación.



$$\begin{aligned} P &= 1180 \text{ W} \\ t &= 0,38 \text{ h} \\ E &= ? \end{aligned}$$

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.50: Incubadora de laboratorio para fermentación total.

La energía necesaria para el arranque, es igual al producto de la potencia del equipo por el tiempo para alcanzar la temperatura de trabajo: (Crawford, 2012. Pág.115)

$$E = P * \varnothing \quad \text{Ecuación 4.35}$$

Donde:

E = Energía eléctrica (W/h)

P = Potencia

\varnothing = Tiempo (horas)

Así mismo 1 Kcal/ h = 1,63 W → Por tanto: 1180 W = 723,93 Kcal/h

Reemplazamos los resultados obtenidos en la ecuación 4.35, para hallar la eléctrica de arranque:

$$E = 723,93 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} * 0,38 \text{ h}$$

$$E = 275,09 \text{ Kcal}$$

La energía eléctrica requerida para la incubadora para alcanzar la temperatura de arranque (26°C) para el proceso de fermentación es de $Q_{\text{arranque}} = 275,09 \text{ Kcal}$.

Al determinar la energía necesaria de arranque, calculamos mediante la ley del calor en funcionamiento, el calor necesario para mantener la temperatura de la masa amasada en la fermentación a (26°C), durante el ciclo de trabajo (6 horas de fermentación), mediante la ecuación 4.36. (Boles & Cengel, 2013) .

$$Q_{\text{Funcionamiento}} = C_{\text{del Equipo}} \times (T_f - T_i) \times t \quad \text{Ecuación 4.36}$$

Donde:

$Q_{\text{Funcionamiento}}$ = Calor necesario para mantener la temperatura (kcal/h)

$C_{\text{p del equipo}}$ = Capacidad calorífica del equipo (Kcal/°C)

$\Delta T = (T_f - T_i)$ Variación de la temperatura (°C)

T_f = Temperatura final (26°C)

T_i = Temperatura inicial (16°C)

Tiempo = t = tiempo del ciclo 6 horas

Debemos calcular la capacidad calorífica del equipo mediante el calor de arranque ($Q_{\text{arranque}} = 275,09 \text{ Kcal}$), porque es el calor que se transfiere.

Por lo tanto

$$C = \frac{Q_{\text{arranque}}}{T_f - T_i}$$

$$C = \frac{275,09 \text{ Kcal}}{26^\circ\text{C} - 16^\circ\text{C}}$$

$$C = 27,5 \text{ Kcal/C}^\circ$$

Entonces reemplazamos en la ecuación 4.36:

$$Q_{\text{Funcionamiento}} = 27,50 \text{ kcal/C}^\circ \times (26^\circ\text{C} - 16^\circ\text{C}) \times 6$$

$$Q_{\text{Funcionamiento}} = 1375 \text{ Kcal}$$

4.10 Balance de energía para el proceso de horneado en pan de campo con masa madre

El balance de energía para el horneado de la masa pan de campo se realiza para 831,44 kg de masa de pan de campo y para el cual los cálculos se detallan en base a las condiciones de la ciudad de Tarija de 1866 msnm) y presión de 609mmHg (López, 2023). Para realizar el balance de energía en el horneado de pan de campo con masa madre se tomó en cuenta la cantidad de calor necesario para calentar el aire dentro del horno, el calor necesario para hornear el pan de campo y el calor necesario para evaporar el agua del pan de campo con masa madre.

En la figura 4.51, se muestra las dimensiones del horno para realizar le balance de energía.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.51: Dimensiones de horno

Donde:

A = Ancho del horno (m)

B = Base de horno (m)

C = Altura del horno (m)

4.10.1 Balance de energía para calentar el horno

Para determinar el calor necesario para calentar el aire dentro del horno, inicialmente se determinó la masa de aire dentro del horno para el cual se utilizó la fórmula

matemática para hallar el volumen del horno, se utiliza la ecuación 4.37, representada por el volumen de un cubo (Cromer, 2006)

$$V = a * b * c \quad \text{Ecuación 4.37}$$

Reemplazando los datos de la figura 4.45, se tiene

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

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

Para determinar la masa de aire, se aplica la ecuación 4.38 dentro el horno se utilizó la fórmula de densidad; (OIML,2011):

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Ecuación 4.38}$$

Donde:

$$\rho = \text{Densidad del aire (1,18Kg/m}^3\text{)} \text{ (Treybal, 1997)}$$

$$m = \text{Masa del aire (Kg)}$$

$$V = \text{Volumen del aire (m}^3\text{)}$$

Despejando M_{aire} y reemplazando datos en la ecuación despejada "

Por tanto:

$$m_{\text{aire}} = \rho * V$$

$$\text{Entonces: } m_{\text{aire}} = 1,18\text{Kg/m}^3 * 0,20\text{m}^3 = 0,24 \text{ Kg}$$

Determinando la masa del aire dentro del horno en base a la ecuación 4.39, se determinó el calor necesario para calentar el aire dentro del horno que inicia con la temperatura de 20°C y alcanza una temperatura final de 190°C. (Treybal,1997)

$$Q_{\text{aire}} = m_{\text{aire}} * C_{p\text{aire}} * \Delta T \quad \text{Ecuación 4.39}$$

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

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

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

$$\Delta T = (T_f - T_i) \text{ Variación de la temperatura en el horno (190 - 20) }^\circ\text{C.}$$

Reemplazando en la ecuación 4.39, obtenemos:

$$Q_{\text{aire}} = 0,24\text{kg} * 0,24 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} * (190 - 20) ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{aire}} = 9,792 \text{ Kcal}$$

4.10.2 Balance de energía para calentar la bandeja del pan

Para determinar el calor necesario para calentar el molde de magdalenas se utiliza la ecuación 4.40. (Holman,2013) :

$$Q_{\text{bandeja}} = M_{\text{bandeja}} * C_{p\text{bandeja}} \cdot \Delta T \quad \text{Ecuación 4.40}$$

Donde:

Q_{bandeja} = calor necesario para calentar la bandeja para hornear el pan (kcal)

M_{bandeja} = masa de la bandeja para hornear el pan (0,623kg)

$C_{p\text{bandeja}}$ = Capacidad calorífica la bandeja (0,217 kcal/kg C°) (Moebs et al, 2021)

$\Delta T = (T_f - T_i)$ variación de la temperatura en el horno (190-20)°C

Reemplazando los datos en la ecuación 4.40:

$$Q_{\text{bandeja}} = 0,623 \text{ kg} * 0.217 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg C}^\circ} * (190 - 20) \text{ C}^\circ$$

$$Q_{\text{bandeja}} = 22,98 \text{ kcal}$$

4.10.3 Balance de energía para hornear la masa de pan de masa madre

En base la ecuación 4.41 se halló el calor necesario para el horneado la masa de pan de campo.

$$Q_{\text{pan}} = m_{\text{pan}} * C_{p\text{pan}} * \Delta T + m_{\text{agua evap.}} * \lambda \quad \text{Ecuación 4.41}$$

Donde:

Q_{pan} = Calor necesario para hornear el pan de campo (kcal)

m_{pan} = masa de pan (0,833 Kg)

$C_{p\text{pan}}$ = Capacidad calorífica del pan (Kcal/Kg °C)

$\Delta T = (T_f - T_i)$ variación de la temperatura del horno (190 – 20) °C

$m_{\text{agua evap.}}$ = masa del agua evaporada (0,057 Kg)

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

Para resolver la ecuación 4.41, primero se debe obtener el $C_{p\text{pan}}$, el pan es un alimento, para tal efecto se aplica el modelo matemático de Choi & Oko (1987), que definen el calor específico de un alimento en función a sus componentes: humedad, carbohidratos, proteína, grasa y cenizas.

Entonces:

$$C_{p\text{Pan}} = \underbrace{M_{\text{H}_2\text{O}} * C_{\text{H}_2\text{O}}}_{\text{Agua}} + \underbrace{M_{\text{H}} * C_{\text{H}}}_{\text{Hidratos}} + \underbrace{M_{\text{p}} * C_{\text{p}}}_{\text{Proteína}} + \underbrace{M_{\text{g}} * C_{\text{g}}}_{\text{Grasa}} + \underbrace{M_{\text{z}} * C_{\text{z}}}_{\text{Ceniza}} \quad \text{Ecuación 4.42}$$

Donde:

$M_{\text{H}_2\text{O}}$, M_{H} , M_{p} , M_{g} , M_{z} = Fracciones de masa de los componentes del alimento.

$C_{\text{H}_2\text{O}}$, C_{H} , C_{p} , C_{g} , C_{z} = Calores específicos de los componentes del alimento.

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

Tabla 4.36

Calores específicos de componentes alimentarios

Componente	Calor específico	Unidad	Calor específico	Unidad
Agua ($C_{\text{H}_2\text{O}}$)	4270	J/ kg°C	1,020	Kcal/ kg°C
Carbohidratos (C_{H})	1707	J/ kg°C	0,4079	Kcal/ kg°C
Proteína (C_{p})	2151	J/ kg°C	0,5041	Kcal/ kg°C
Grasa (C_{g})	2096	J/ kg°C	0,4849	Kcal/ kg°C
Ceniza (C_{z})	1284	J/ kg°C	0,3089	Kcal/ kg°C

Fuente: Alvis et al. (2012).

Para el valor de las fracciones de masa de cada componente, se tomó en cuenta los resultados de pan de campo de masa madre realizado por el (CEANID,2023)

(Anexo A), y en base a estos datos se convierte en fracción obteniendo:

$M_{\text{H}_2\text{O}} = 0,3756$ (fracción de masa del componente agua)

$M_{\text{H}} = 0,5165$ (fracción de masa del componente hidratos)

$M_{\text{p}} = 0,0819$ (fracción de masa del componente proteína)

$M_{\text{g}} = 0,0046$ (fracción de masa de la componente grasa)

$M_{\text{z}} = 0,0214$ (fracción de masa de la componente ceniza)

Obtenido los datos de fracción de masa y datos de C_{p} de los componentes se reemplazando en la ecuación 4.42, para hallar el C_{p} de pan de campo de masa madre.

- $C_{p\text{Pan}} = M_{\text{H}_2\text{O}} * C_{\text{H}_2\text{O}} + M_{\text{H}} * C_{\text{H}} + M_{\text{p}} * C_{\text{p}} + M_{\text{g}} * C_{\text{g}} + M_{\text{z}} * C_{\text{z}}$
- $C_{p\text{Pan}} = (0,3756 * 1,020) + (0,5165 * 0,4079) + (0,0819 * 0,5041) + (0,0214 * 0,4849) + (0,0214 * 0,3089)$
- $C_{p\text{Pan}} = 0,652 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C}$

Reemplazando los datos de la ecuación 4.41, obtenemos:

$$Q_{\text{pan}} = 0,883 \text{ kg} * 0,652 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}} * (190 - 20)^\circ\text{C} + 0,547 \text{ kg} * 547 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$Q_{\text{pan}} = 397,08 \text{ Kcal}$$

4.10.4 Balance de energía para evaporar el agua de la masa de pan de campo

En el horneado, la humedad que contiene la masa se mantiene de los 20°C a 93°C, después de esa temperatura el agua empieza a vaporizarse (punto de ebullición del agua), de ahí en adelante se convierte en vapor y se forma una mezcla con el aire contenido en el horno por eso mismo se determinó la variación de energía a partir de los 20°C hasta los 93°C como agua, en los 93°C con un cambio de fase de vaporización y para finalizar se toma en cuenta otra variación de energía de los 93°C hasta los 190°C.

Por lo que para determinar el calor necesario para evaporar el agua de la masa se aplica la ecuación 4.43. (Valiente, 2002)

$$Q_{\text{vapor de agua}} = Q_p + Q_\lambda + Q_h \quad \text{Ecuación 4.43}$$

Donde:

$Q_{\text{vapor de agua}}$ = Calor necesario para evaporar el agua (Kcal)

Q_p = Calor necesario para calentar el agua contenido del pan (20 a 93) °C (Kcal)

Q_λ = Calor necesario para evaporar el agua (Kcal)

Q_h = Calor necesario para calentar el agua contenido del pan de (93 a 190) °C (Kcal)

Para determinar Q_p , se utilizó la ecuación 4.43: (Valiente 2002)

$$Q_p = (m_{\text{pan}} * X_{\text{pan}}^a) * C_{p\text{agua}} * (T_e - T_i) \quad \text{Ecuación 4.44}$$

Donde:

m_{pan} = masa de pan (0,905 kg)

X_{pan}^a = contenido de agua presente en el pan (0,393)

$C_{p_{\text{agua}}} =$ capacidad calorífica del agua (1 Kcal/kg °C) (Moebs et al,2021)

$T_e =$ temperatura de ebullición del agua (93°C)

$T_i =$ temperatura inicial (20°C)

Reemplazando los datos de la ecuación 4.44:

$$Q_p = (0,905 \text{ kg} * 0,393) * 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \text{ } ^\circ\text{C}} * (93 - 20) \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_p = 25,96 \text{ kcal}$$

Para determinar Q_λ , se utilizó la ecuación 4.45 ,(Valiente, 2002)

$$Q_\lambda = (m_{\text{vapor de agua}} * X^a_{\text{vapor}}) * \lambda_{\text{vaporización}} \quad \text{Ecuación 4.45}$$

Donde:

$m_{\text{vapor de agua}} =$ masa de agua evaporada (0,057 kg)

$X^a_{\text{vapor}} =$ concentración de humedad en el agua evaporada (0.999)

$\lambda_{\text{vaporización}} =$ landa de vaporización (547 Kcal/kg) (Ocon & Tojo, 1970)

Reemplazando los datos en la ecuación 4.45

$$Q_\lambda = (0.057\text{kg} * 0,999) * 547 \text{ Kcal/kg}$$

$$Q_\lambda = 31,15 \text{ Kcal}$$

Para determina Q_h se utilizó la ecuación 4.46

$$Q_h = (m_{\text{vapor}} * X^g_{\text{VA}}) * C_{p_{\text{aire}}} * (T_m - T_i) \quad \text{Ecuación 4.46}$$

Donde:

$m_{\text{vapor}} =$ masa de agua evaporada (0,057 kg)

$X^g_{\text{VA}} =$ concentración de gases (0.01)

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

$\Delta T = (T_f - T_i)$ variación de temperatura en el horno (190 – 93) °C

Reemplazando en la ecuación 4.46

$$Q_h = (0,057 * 0.01) * 0,24 \text{ Kcal/kg } ^\circ\text{C} * (190 - 93)^\circ\text{C}$$

$$Q_h = 0,01 \text{ Kcal}$$

Sumando todos los calores obtenidos obtenemos:

$$Q_{\text{vapor de agua}} = Q_p + Q_\lambda + Q_h$$

$$Q_{\text{vapor de agua}} = 25,96 \text{ Kcal} + 31,15 \text{ Kcal} + 0,01\text{Kcal}$$

$$Q_{\text{vapor de agua}} = 57,12 \text{ Kcal}$$

4.11 Balance de energía para calcular la cantidad de calor total requerido para la elaboración de pan de campo con masa madre

Para determinar la cantidad total de calor necesario para llevar acabo la elaboración de fermentación de la masa y el horneado para obtener pan de campo con masa madre, se utiliza la ecuación 4.47. (Valiente, 2002)

$$Q_T = \sum Q_i \quad \text{Ecuación 4.47}$$

Donde

Q_T = Calor total necesario para llevar acabo los procesos.

$\sum Q_i$ = suma de calores involucrados en los procesos

Reemplazando los datos obtenidos en la ecuación 4.47

$$Q_T = Q_{\text{funcinamiento}} + Q_{\text{arranque}} + Q_{\text{aire}} + Q_{\text{bandeja}} + Q_{\text{pan}} + Q_{\text{vapor}}$$

$$Q_T = (1375 + 275,09 + 9,79 + 22,98 + 397,08 + 25,96 + 31,15 + 57,12) \text{ Kcal}$$

$Q_T = 2194,17 \text{ Kcal}$ calor total para todos los procesos .

CÁPITULO V

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- En base a los resultados del análisis físico de la manzana variedad roja, se concluye que contiene: (10,21%) de porción no comestible (corazón), (13,12%) cáscara de manzana y (77,42%) porción comestible (pulpa de manzana)
- En base a los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados la manzana presenta: Fibra 0,69%, ceniza 0,37%, materia grasa 0,09%, hidratos de carbono 15,06%, humedad 82,97%, proteína total (N x 5,70) 0,85% y valor energético de 64,33 Kcal/100g, Potasio 102,00 mg/100g, Bacterias aerobias mesófitas $5,2 \times 10^2$ UFC/g, Coliformes fecales $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g, Coliformes totales $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g, Escherichia coli $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g, Mohos y levaduras $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g. En donde (*) = No se observa desarrollo de colonias.
- En base a los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados la harina de trigo presenta: fibra 1,70%, ceniza 0,75%, materia grasa 0,78%, hidratos de carbono 74,54%, humedad 11,13%, proteína total (Nx5,70) 11,10% y valor energético de 349,58 Kcal/100g. Potasio 162,00 mg/100g y fósforo 38,00 mg/100g, Bacterias aerobias mesófitas $7,0 \times 10^3$ UFC/g, Coliformes fecales $1,2 \times 10^2$ UFC/g, Coliformes totales $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g y Escherichia coli $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g, Mohos y levaduras de $7,0 \times 10^2$ UFC/g. En donde (*) = No se observa desarrollo de colonias.
- En base a los resultados obtenidos del análisis estadístico de varianza en la evaluación sensorial de las pruebas preliminares de pan con masa madre entre las muestras (PM03, PM05, PM06, PM08, PM09), se observó para los atributos (sabor, acidez, textura, olor, corteza y miga) de las muestras evaluadas, se concluye que la muestra PM06 (elaborado a partir de una solución madre de manzana y miel de abeja) fue elegida por los

jueces. Así mismo se realizó una saborización que mejora ciertos atributos sabor, acidez y miga, concluyendo que la muestra PM12 (pan de campo saborizado con ajo y orégano) fue la muestra ideal por ser la que cumplía con la mayoría de los atributos sensoriales para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

- Realizado el control de humedad, pH y acidez en las distintas etapas del proceso en: masa la masa madre, masa fermentada y pan horneado en muestras elegidas completamente al azar, de pan de campo saborizado con ajo y orégano, al observar el comportamiento de las variables y se puede evidenciar que el tiempo de fermentación si influye significativamente en el proceso, y no así, el amasado, sobado o formado del pan de campo con masa madre.
- En base al diseño factorial 2^3 en el proceso de dosificación y tiempo de fermentación para el pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano, se estableció que entre las variables; porcentaje de agua (A), porcentaje de cultivo madre (B) y tiempo de fermentación (C), tras realizar el análisis en programa Statigratif. de cada variable respuesta (humedad, pH y acidez), y se puede concluir que el factor más influyente en la elaboración de pan de campo saborizado, es el factor A (porcentaje de agua), por ser el más significativo en el proceso
- Realizado la elección final de la muestra de pan de campo saborizado, se evidenció que existe diferencia estadística entra la muestra (PDM2, PMD8 y PMD10) para el atributo sabor, miga y acidez, sin embargo, no existe diferencia significativa entre los demás atributos, para un nivel de significancia $\alpha=0,05$, y se concluye conforme a la parcialidad de los jueces, la muestra más aceptada y seleccionada como muestra final es PMD8.
- En base al control de parámetros fisicoquímicos durante el almacenamiento, se concluye que el pan de campo saborizado sin adición

de conservante tiene un tiempo de almacenamiento de siete días sin adición de conservantes presentando un valor de pH (6,059), acidez (0,10%) y humedad (27,91%), mientras que, con la adición de conservante (propionato de calcio), el pan alcanza un almacenamiento de hasta once días y presenta un valor de pH (5,912), acidez (0,11%) y humedad (31,80%)

- En base a los resultados del análisis fisicoquímico y microbiológico del pan de campo con masa madre saborizado con ajo y orégano, presenta: Fibra 1,54%, ceniza 2,14%, materia grasa 0,57%, hidratos de carbono 51,65%, humedad 37,57%, proteína total 8,19% y un valor energético de 243,50Kcal/100g, Potasio 153,00 mg/100g, bacterias aerobias mesófilas $8,0 \times 10^1$ UFC/g, Coliformes fecales $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g, Coliformes totales $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g, Escherichia coli $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g, Mohos y levaduras con $2,0 \times 10^1$ (*) UFC/g. En donde:(*) = No se observa desarrollo de colonias.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda un estudio de la vida útil del cultivo madre con la finalidad de determinar el número de generaciones que se puedan elaborar asegurándose que el producto conserve sus características de inocuidad, nutrición y calidad sensorial.
- Se recomienda la aplicación de un texturómetro con la finalidad de determinar una dureza ideal basándose en datos analíticos, esto con el fin de obtener una corteza constante en las muestras de pan.
- Se recomienda aumentar una etapa de fermentación en frío de 12 horas, con la finalidad de mejorar el desarrollo de la miga, volumen, tamaño y esponjosidad del pan con masa madre.
- Se recomienda para envasar cualquier tipo de pan un envase con cierre hermético tipo ziploc, que evite el ingreso de aromas y sabores extraños, a vez, un envase de papel madera que absorba la posible humedad excedente si él, finalizar el proceso.