

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La prevalencia de la enfermedad celiaca a nivel mundial es del 1%, con una razón de 2,8% en mujeres y 1% en hombres. Se presume que en Latinoamérica las prevalencias son similares a las de Europa, las cuales varían entre 0,64% y 0,46%. (Baldera et al., 2020)

En Bolivia no existen estudios de incidencia y prevalencia de la enfermedad celiaca y tampoco se cuenta con datos estadísticos o estudios anteriores, por lo que en la gestión 2016-2017, se realiza un estudio de los pacientes que acuden al Hospital UNIVALLE, siendo esta mayor en mujeres (1,10 %), que en varones (0,40 %). (Borda et al., 2018)

Una de las grandes privaciones que han tenido históricamente los celíacos es la repostería, ya que los postres en su mayoría son elaborados a base de los cereales que contienen gluten. Por ello, satisfacer a las personas y sobre todo niños que padecen esta enfermedad se ha convertido en una gran necesidad para el mercado. (Culcay & Colcha, 2013)

En el país una dieta libre de gluten resulta más cara, ya que no es fácil encontrar los productos, o hay menos variedad para escoger. Realizar un plan de alimentación para una persona con celiaquía es complicado ya que casi todos los alimentos contienen harinas. (Boccamazzo, 2017)

La empresa Illamank'a, es una procesadora de cereales sin gluten de La Paz hace harinas y cereales para el desayuno e Indal que elabora pre mezclas para repostería, como ser pan, galletas, muffins, entre otros. En Cochabamba, la industria Coronilla con la marca BIO XXI ofrece muffins, panqueques y budín, todo libre de gluten y para preparación instantánea. (Cassab, 2016)

En Bolivia, la quinua tiene certificación orgánica, ecológica y de comercio justo, y se produce en los municipios de: Calamara, Patacamaya, Sica Sica y Batallas (La Paz); Caracollo, Salinas de Garci Mendoza, Challapata, Poopó, Machacamarca, Huari, Andamarca, Toledo, Pasña y Soracachi (Oruro en proceso) y Padcaya (Tarija). (AOPEB, 2019)

La castaña o almendra, al igual que la quinua, es una de las joyas orgánicas bolivianas más conocidas, se produce de manera silvestre y solo se encuentra en los bosques amazónicos de Bolivia, Brasil y Perú. En el territorio boliviano la población de estos milenarios árboles es alrededor del 10%, lo cual son más de 100 mil kilómetros cuadrados a lo largo de Pando, Beni y el norte paceño donde se puede avistar este árbol. (Camacho, 2016)

En Tarija la producción de magdalenas, es realizada por panaderías a nivel semi industrial como son; el Palacio de las masas, Gloria, la panificadora Viena, Estrella del sur, este producto es también realizado de forma artesanal y vendidos en todos los mercados de la ciudad.

1.2 Justificación

- La harina de almendras es un sub producto que puede incorporarse dentro de la panadería, es ideal para el organismo de personas celiacas; ya que coadyuva a la salud cardiovascular y por el gusto ligeramente dulce, que puede brindar sabor y olor característico.
- La harina de quinua es un alimento poco implementado dentro de la panadería, debido a que no es comercializable en los mercados y es poco conocida por los beneficios que aporta en la dieta y de esta forma se pretende incorporar e incentivar al consumo de la harina de quinua.
- El magnesio puede jugar un papel importante en la salud, que se hace evidente durante el crecimiento y el comportamiento de una persona, por lo cual el presente trabajo de investigación pretende promover la ingesta de magnesio a través de la implementación de harina de quinua y almendra en magdalenas.
- El presente trabajo de investigación, pretende elaborar magdalenas con alto contenido de magnesio en función a la composición que contiene las harinas de almendra y quinua, con la finalidad de tener una alternativa de consumo de este tipo de producto para personas celiacas de la provincia de Tarija.

1.3 Objetivo

Los objetivos planteados en el presente trabajo de investigación, son:

1.3.1 Objetivo general

Aplicar la metodología experimental del proceso de panificación que permita elaborar magdalena a partir de harina de almendra y quinua, con la finalidad de obtener un producto nutricional para personas celiacas de la provincia Cercado de Tarija.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar las propiedades fisicoquímicas, minerales y microbiológicas de la harina de almendra y quinua, con la finalidad de conocer su composición.
- Realizar la evaluación sensorial a las pruebas preliminares de magdalena durante el proceso con el fin de obtener la muestra ideal.
- Aplicar el diseño experimental 2^3 en la etapa de dosificación, con la finalidad de obtener parámetros óptimos.
- Realizar la evaluación sensorial para valorar las muestras experimentales e ideal con el fin de obtener el producto final.
- Aplicar el diseño experimental 2^2 en la etapa de horneado, a fin de tener parámetros óptimos.
- Determinar las propiedades fisicoquímicas, minerales y microbiológicas en el producto final, con el objetivo de conocer su composición nutricional.
- Realizar un control del contenido de humedad, acidez y pH en el producto final para de establecer el tiempo de almacenamiento.
- Realizar el balance de materia y energía en las diferentes operaciones de la elaboración de magdalenas con la finalidad de establecer las corrientes de entrada y salida del proceso.

1.4 Objetivo de estudio

Aplicar la metodología experimental del proceso de panificación para obtener magdalena a partir de harina de almendra y quinua para la provincia Cercado de Tarija.

1.5 Campo de acción

- Espacial: provincia Cercado de Tarija
- Temporal: 2021 entre 2022
- Institución: Laboratorio Taller de Alimentos (LTA) y Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA).

1.6 Planteamiento del problema

En la provincia de Tarija existen harinas ricas en magnesio como ser; harina de avena, almendra, quinua, entre otras; las cuales son importantes durante el crecimiento del ser humano por su valor nutricional, también la harina de almendra tiene un alto contenido en antioxidantes y grasas monoinsaturadas y, la harina de quinua elevado porcentaje de proteínas y potasio, pero estas son poco aprovechadas dentro de las panaderías por su desconocimiento en su aplicación en sus productos (pan, magdalenas, etc.).

En la provincia Cercado las diferentes panaderías de la ciudad (Viena, Gloria, Palacio de las masas, etc.) existe una variedad de magdalenas (integrales, dulces, entre otras) que se elaboran a base harina de trigo, pero no hay un producto que sea de alto contenido de magnesio y elaborado a base de harina de almendra y quinua para la población celiaca. Por lo cual mediante el proceso de panificación se pretende elaborar magdalena a partir de harinas con alto contenido en magnesio que permita aprovechar este mineral.

1.7 Formulación del problema

¿Cuál será la metodología experimental del proceso de panificación a ser aplicado para elaborar magdalena a partir de harina de almendra y quinua con el fin de obtener un producto nutricional para personas celiacas de la provincia Cercado de Tarija?

1.8 Hipótesis

La metodología experimental del proceso de panificación aplicado en la elaboración de magdalenas a partir de harina de almendra y quinua permitirá obtener un producto nutricional para personas celiacas de la provincia Cercado de Tarija.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 Origen de la magdalena

Las magdalenas se originan en Francia en el año de 1775, se le atribuye el origen y el nombre a una joven criada, de nombre Madeleine Palmier, estas inicialmente tenían forma de conchas con gran esponjosidad y finura. Las cuales posteriormente se fue dando su propagación hasta España. (Baticon, 2020)

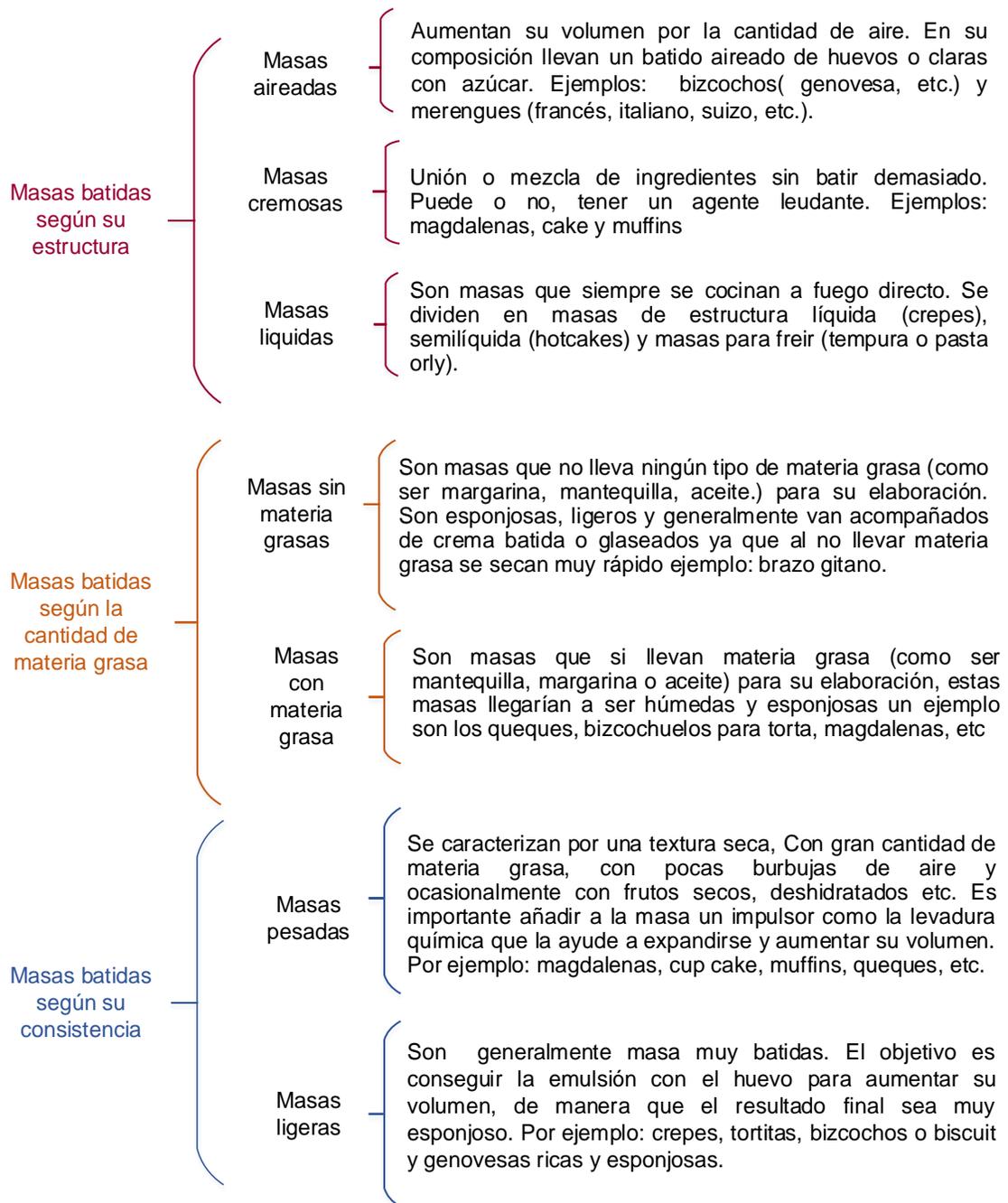
A partir de la década de 1950 se comenzaron a comercializar distintas versiones de magdalenas, tanto en Inglaterra como en Estados Unidos, en distintas cafeterías, pastelerías y tiendas de alimentación. En Estados Unidos se conoció recién en el siglo XIX, a partir de la llegada de inmigrantes británicos (Malpica, 2012). Mundialmente son conocidas y consumidas, dando origen a los muffins y cupcakes americanos (Vernay, 2014).

2.2 Definición de magdalena

Según Lezcano (2011), las magdalenas se conocen también como madeleine. En si es un bollo pequeño, hecho y presentado en molde de papel rizado, con los mismos ingredientes que el bizcocho en distintas proporciones (Pág. 17). Por lo que también, se puede acotar que son numerosos productos a los que se les da formas variadas antes del horneado de una masa elaborada a base de harina de trigo u otras o sus mezclas, con o sin salvado, con o sin agentes químicos y/o biológicos autorizados. (Código Alimentario Argentino, 2021)

2.3 Clasificación de las magdalenas en función de las masas batidas

Dentro de la panadería y repostería, se consideran cinco tipos de masas básicas; masas batidas, masas quebradas, masas fermentadas y hojaldradas, en el cual las magdalenas se encuentran dentro de las masas batidas. Se consideran así; ya que al batirse o mezclarse, dan como resultado masas de gran volumen, suaves y esponjosas (Zuleta, 2014). Las masas batidas, se clasifican de la siguiente manera (figura 2.1).



Fuente: Rojas, 2020.

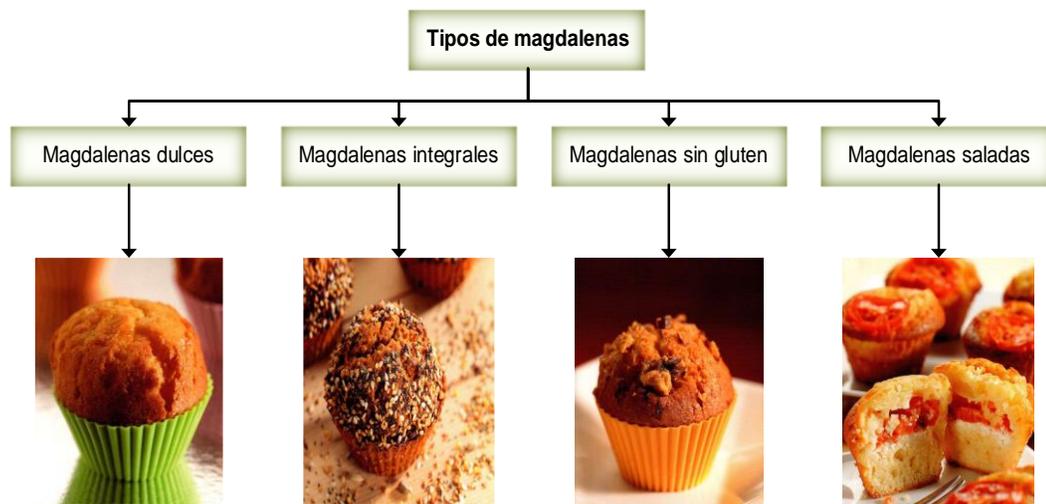
Figura 2.1: Clasificación de las masas batidas

La magdalena dentro de la clasificación de las masas batidas se sitúa como una masa cremosa, pesada y con materia grasa, por lo que ésta llega a caracterizarse por tener una textura alveolada, siendo su objetivo batir la masa hasta conseguir aumentar su

volumen incorporando burbujas de aire, de forma que el resultado final sea esponjoso. Estas masas de alto contenido en grasa, hace que estallen burbujas, dándole menos alveolos. Es importante añadir a la masa gasificantes o impulsores (levadura química) que ayuden a dar ligereza a estas elaboraciones. (Zuleta, 2014)

2.3.1 Tipos de magdalenas

Según Barrigas (2011), los tipos de magdalenas son agrupados y detallados en la figura 2.2.



Fuente: Barriga, 2011.

Figura 2.2: Tipos de magdalenas.

2.3.1.1 Magdalenas dulces

Básicamente se hacen a partir de una masa con harina, huevos, grasa (aceite o mantequilla), azúcar y levadura, que después se puede aromatizar con limón o vainilla, pueden ir incluidas frutas, frutos secos o vegetales, dependiendo de la variedad de dulce que se quiere elaborar. (Velsid, 2014)

2.3.1.2 Magdalenas integrales

Esta clase de magdalenas, son elaboradas con harina integral y contiene tres veces más fibra que la harina convencional, al conservar el salvado y el germen de trigo. Además,

tiene un alto contenido en vitaminas, minerales, hierro, etc. Se puede agregar algún fruto seco, chocolate o trocitos de fruta. (Rodríguez, 2019)

2.3.1.3 Magdalenas sin gluten

Son aquellos elaborados específicamente a base de harinas ausentes de gluten para celíacos y sensibles al gluten. Estos productos deben estar siempre etiquetados como «Sin Gluten» y pueden ir acompañados de sellos identificativos. Son productos que pueden contener un máximo de 20 ppm de gluten y que son aptos para el consumo de celíacos y sensibles al gluten. (Pérez, 2015)

2.3.1.4 Magdalenas saladas

Se caracterizan porque la masa se debe batir lo mínimo para incorporar la mínima cantidad de aire, obteniendo así una miga más compacta, pero que igualmente resulta esponjosa, y jugosa. En estas versiones saladas es habitual incorporar vegetales, como calabacín, zanahoria, tomate, etc. Contiene menos grasas porque se incorpora menos cantidad de huevos, pero a la vez, muchas veces se equilibra con la adición de nata, queso o yogur. (Velsid, 2014)

2.4 Composición nutricional de las magdalenas para celíacos

En la tabla 2.1, se detallan la composición nutricional de la magdalena de chocolate sin gluten.

Tabla 2.1

Composición nutricional de la magdalena de chocolate sin gluten

Componentes	Cantidad	Unidad
Valor energético	376,00	kcal
Carbohidratos	50,89	g
Azúcares	28,95	g
Fibra alimentaria	2,16	g
Proteínas	4,90	g
Grasa saturada	3,40	g
Grasa poli-insaturada	2,22	g

Fuente: Alier & Casañ, 2016.

2.5 Propiedades nutricionales de las magdalenas

Las magdalenas cuentan con importantes beneficios para el organismo. Los minerales de calcio y fósforo hacen que sea una buena aliada para fortalecer los huesos. Al mismo tiempo, el fósforo ayuda a que se mejore la concentración y capacidad de memorización. (Manzaneque, 2017)

Las vitaminas del grupo B que se encuentran en las magdalenas favorecen la circulación de la sangre. Su aporte en vitamina E, ayuda al cuerpo a eliminar los radicales libres. Por otro lado, la vitamina A, refuerza el cuero cabelludo a la vez que cuida de la vista y de la piel. (Manzaneque, 2017)

En el caso de las magdalenas con azúcar, aportan esa cantidad justa que el organismo necesita cada día. Por lo que su consumo de manera habitual es bueno para el organismo. Además, contribuyen a relajar la flora intestinal, porque no es un alimento pesado. (Manzaneque, 2017)

2.6 Aplicación de las magdalenas en el ser humano

Las magdalenas son un alimento consumido tanto en el desayuno como en la merienda, su textura suave y esponjosa las convierte en un alimento muy consumido por toda la población y muy especialmente por niños y ancianos. (Lezcano, 2011)

Son probablemente una de las recetas que salen mejor con harinas sin gluten que con harinas de trigo. Al llevar huevo, este se encarga de aportar la proteína que atrapa el gas que se expande durante el horneado y aporta estructura a la miga. (Alier & Casañ, 2016)

2.7 Caracterización de las materias primas utilizadas en las magdalenas

Las materias primas que se utilizan en la elaboración de magdalenas para personas celiacas presentan las siguientes características nutricionales:

2.7.1 Harina de almendra

La harina de almendra es un polvo fino que se obtiene de la pulpa de las almendras enteras, sin procesar. Este tipo de harina no contiene gluten por lo que es una buena alternativa para las personas con este tipo de intolerancia, celíacas o que han decidido excluir el gluten de su dieta diaria. (DRKU, 2016)

2.7.1.1 Composición nutricional de harina de almendra

La tabla 2.2, muestra la composición nutricional para 28 g de harina de almendra.

Tabla 2.2

Composición nutricional de la harina de almendra

Componentes	Cantidad	Unidad
Carbohidratos	6,10	g
Energía total	163,00	kcal
Fibra	3,40	g
Grasas	14,00	g
Proteínas	6,00	g

Fuente: Mula, 2021.

En la tabla 2.3, se muestra la composición de minerales para 28 g de harina de almendra.

Tabla 2.3

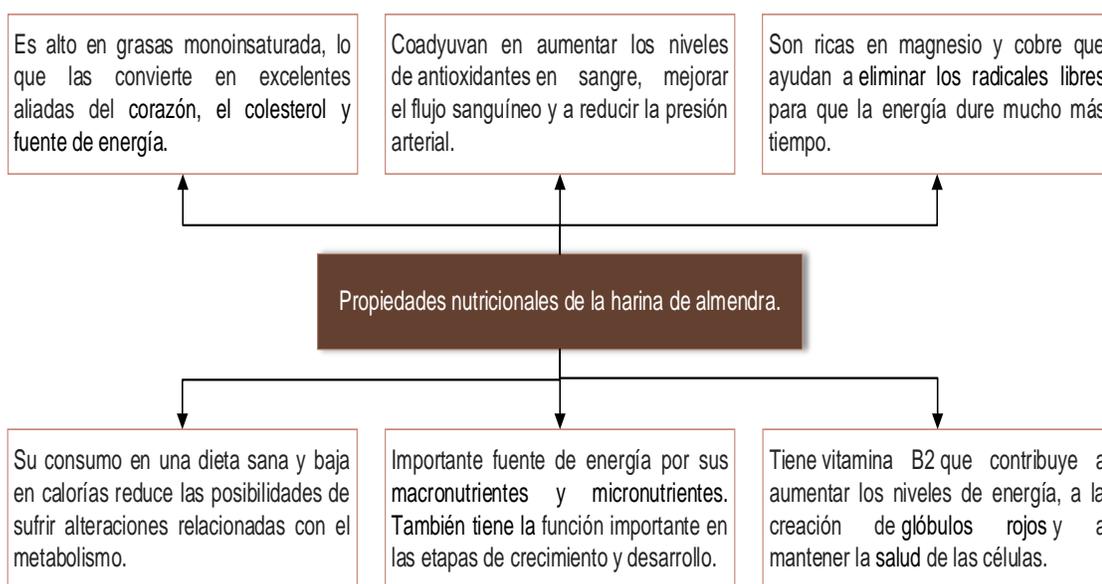
Composición de minerales de la harina de almendra

Componentes	Cantidad	Unidad
Calcio	75,60	mg
Hierro	1,00	mg
Magnesio	84,80	mg
Fósforo	146,00	mg
Potasio	212,00	mg
Zinc	0,90	mg
Cobre	0,30	mg
Manganeso	0,70	mg

Fuente: Mula, 2021.

2.7.1.2 Propiedades nutricionales de la harina de almendras

El consumo de alimentos altos en fibra, minerales y vitaminas favorece la reducción de las enfermedades. La alternativa frente a la harina tradicional de cereal viene por un menor aporte de carbohidratos, más concentración en minerales y un sabor más dulce, propio de la almendra (Mula, 2021). Por lo que las propiedades nutricionales de la harina de almendra, se muestran en la figura 2.3.



Fuente: Rosado, 2019.

Figura 2.3: Propiedades nutricionales de la harina de almendra

2.7.1.3 Aplicación de la harina de almendra en la panificación

La harina de almendras es un alimento, que se emplea como tal en la elaboración de bollos sustituyendo una cuarta parte de la harina por harina de almendras, también es empleada en galletas (con textura crujiente, suaves y ricas en proteínas) y bizcochos con textura esponjosa (Revoreda, 2021). Por lo que se puede decir que tiene las mismas aplicaciones que la harina de trigo normal. Sin embargo, presenta ciertas ventajas frente a las harinas clásicas de cereales. (Valdés, 2020)

2.7.2 Harina de quinua

La harina de quinua proviene de semillas de quínoa cultivadas y procesadas según estrictos estándares. Una vez recolectada la semilla, se la lleva a un sitio donde es procesada y separada del cuerpo de la planta. Tras un breve período de secado, se muele hasta convertirse en el polvo fino típico que se identifica como harina (Travella, 2020). En la figura 2.4, se detallan los tipos de harina de quinua.



Fuente: Meyhuay, 2013.

Figura 2.4: Tipos de harina de quinua

2.7.2.1 Composición nutricional de harina de quinua

La tabla 2.4, muestra la composición nutricional para 100 g de harina de quinua.

Tabla 2.4

Composición nutricional de la harina de quinua

Componentes	Cantidad	Unidad
Energía	399,00	kcal
Proteína	16,50	g
Hidratos de carbono	69,00	g
Grasas	6,30	g

Fuente: Colomer, 2019.

En la tabla 2.5, se muestra la composición de minerales para 100 g de harina de quinua.

Tabla 2.5

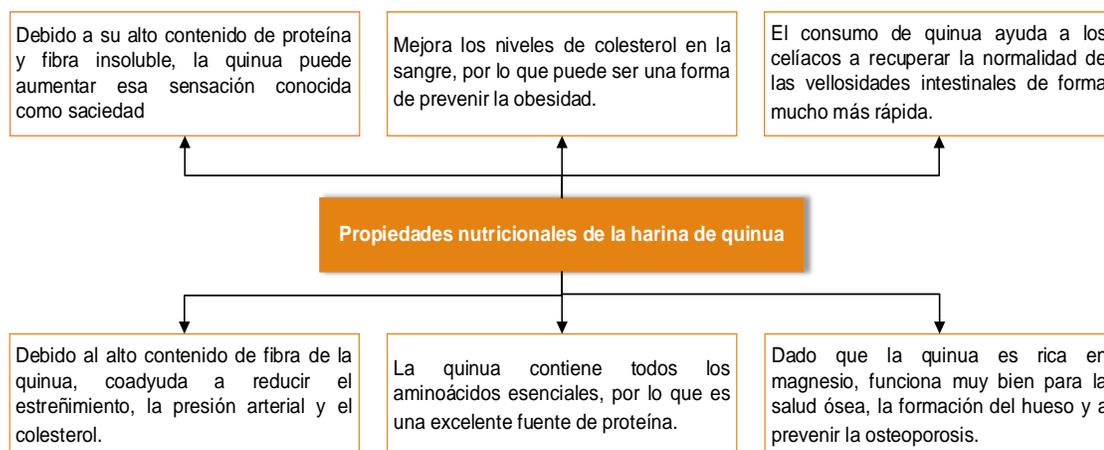
Composición de minerales de la harina de quinua

Componentes	Cantidad	Unidad
Calcio	148,70	mg
Hierro	13,20	mg
Magnesio	249,60	mg
Fosforo	383,70	mg
Potasio	926,70	mg
Zinc	4,40	mg

Fuente: Colomer, 2019.

2.7.2.2 Propiedades nutricionales de la harina de la quinua

En la figura 2.5, se detallan las propiedades nutricionales de la harina de quinua.



Fuente: Gornati, 2018.

Figura 2.5: Propiedades nutricionales de la harina de quinua

2.7.2.3 Aplicación de la harina de quinua en la panificación

La harina de quinua se puede usar exactamente igual que la harina de trigo o que cualquier otra harina. Lo único que hay que tener en cuenta es que al no tener gluten esto afecta al amasado y a la plasticidad de las masas, haciéndolas menos manejables. (Ventura, 2018)

En la elaboración de pan, la harina de quinua funciona de mejor manera si se mezclan con otras harinas panificables para que no requiera de un gran amasado. En galletas y bizcochos, se puede llegar a sustituir la harina de trigo por la harina de quinua, para

obtener galletas o bizcochos con menos calorías, más saludables y con todas las propiedades de la quinua. (Ventura, 2018)

2.8 Caracterización de los insumos alimentarios que se utilizaron en la elaboración de magdalenas

Se detallan los insumos y aditivos alimentarios utilizados en la elaboración de magdalena:

2.8.1 Azúcar refinada

Se denomina azúcar a aquella sustancia extraída de la savia de la caña de azúcar, jugo de la remolacha azucarera o de otros vegetales sacarinos. La función del azúcar en la magdalena es aportar sabor dulce, alargar la conservación debido a que asimila gran cantidad de agua, por lo que en exceso provoca poca humedad y mucha absorción de color durante el horneado. (Barriga, 2011)

El azúcar también actúa como suavizante de masas, es un inhibidor natural del desarrollo del gluten, lo que hace que las masas finales sean más suaves, por esta razón son generalmente más suaves que otros productos de harina que no tienen azúcar. En lo referente al huevo, el azúcar retarda la coagulación de sus proteínas en cremas. (Cotua, 2018)

2.8.2 Aceite vegetal

Ludeña (2011) afirma que “el aceite vegetal es una de las sustancias que con más frecuencia se emplean dentro de la panadería como repostería. Su empleo es como mejorante de las características de la masa y como conservante” (Pág. 51).

Su aplicación del aceite vegetal en las magdalenas está en ablandar, suavizar, moderar su estructura, y realzar el sabor. Atrapar el aire (emulsión) durante el batido y/o mezclado, produciendo en las masas, pequeñas burbujas de aire atrapadas dentro de gotas de grasa, para así lograr la expansión durante el horneado formando una

estructura liviana y aireada. Además de hacer que el interior de los batidos sea suave y el producto resulte más apetecibles. (Lezcano, 2011)

2.8.3 Huevo de gallina

Los huevos de las aves constituyen un alimento habitual y básico, se presenta protegido por una cáscara y su contenido es proteínas (principalmente en albúmina) y lípidos, de fácil digestión, y son un complemento imprescindible en la panificación debido a sus propiedades aglutinantes. (Ludeña, 2011)

El huevo cumple con unas funciones muy importantes, ya que actúan como agentes que secan y elevan las magdalenas, como también ayudan a emulsionar el batido y con ello brindan mayor volumen. En los huevos enteros sin batir, la lecitina actúa como ligante, manteniendo el producto batido unido. Además, los huevos pueden ser utilizados como emulsionantes, humectadores (en vez de simplemente añadir agua) y, en términos de nutrición, como una fuente de grasa y de todos los aminoácidos esenciales. (Lezcano, 2011)

2.8.4 Leche pasteurizada

La leche es un alimento básico que tiene la función primordial de satisfacer los requerimientos nutricionales, y lo consigue gracias a su mezcla en equilibrio de proteínas, grasa, carbohidratos, sales y otros componentes menores dispersos en agua. Los productos lácteos derivados pueden cubrir tanto diferentes hábitos de consumo como muy distintos usos de interés nutricional. (Ludeña, 2011)

La leche se comporta como solvente dentro de la elaboración de magdalenas, por lo que ayuda a distribuir los sabores y se vaporiza durante la cocción, colaborando con la textura final del producto. Sin embargo, la grasa, el azúcar, los minerales y proteínas que contiene le otorgan funciones adicionales. (Lezcano, 2011)

Según Lezcano (2011), la lactosa se carameliza y crea color en la superficie, ayudando a desarrollar una corteza firme, en tanto que la grasa y las proteínas contribuyen con sabor y volumen (Pág. 24).

2.8.5 Cocoa en polvo de cacao

Se obtiene de la pasta de cacao desgrasada, según el tipo y la calidad del chocolate deseado, se mezcla con azúcar, manteca de cacao, leche, crema y otros ingredientes (Cepeda, 2021). La cocoa natural en polvo no contiene azúcar, por lo que proporciona a productos horneados un intenso sabor a chocolate. La acidez de la cocoa neutraliza la acción del polvo de hornear y cuando se agrega a un batido hay que reforzar con bicarbonato de sodio para que funcione y la mezcla se desarrolle en el horno (Quintero, 2016). En la tabla 2.6, se detalla la composición nutricional para 4 g cocoa en polvo de cacao.

Tabla 2.6

Composición nutricional de la cocoa en polvo de cacao

Componentes	Cantidad	Unidad
Calorías	16,00	kcal
Grasa total	0,40	g
Grasa saturada	0,20	g
Grasas trans	0,00	g
Colesterol	0,00	mg
Carbohidratos	2,50	g
Fibra dietética	1,10	g
Azúcares totales	1,00	g
Azúcares añadidos	1,00	mg
Proteínas	0,70	g
Calcio	7,20	mg
Hierro	1,30	mg
Potasio	77,6	mg
* Magnesio	499,00	mg/100g

Fuente: Celinda, 2022.

* El contenido de magnesio para la cocoa en polvo se obtuvo de Alkemy (2020).

2.8.6 Polvo de hornear

La levadura química o polvo para hornear, comúnmente conocido como royal, es un leudante químico, que tiene la misma función de la levadura, pero actúa de una manera más rápida, y se utiliza en mezclas para preparar galletas, tartas y pasteles, dándoles volumen. (Soco, 2021)

La aplicación del polvo de hornear en la magdalena es el provocar una reacción que desprenda anhídrido carbónico para causar el esponjamiento de la masa dentro del horno, que reaccionan por el calor y por la acción de la humedad (Barriga, 2011). Como también, es aplicado para ampliar las burbujas en la grasa, haciendo que las magdalenas se eleven a su potencial. (Lezcano, 2011)

2.9 Caracterización de los aditivos alimentarios que se utilizaron en la elaboración de magdalenas

Se detallan los aditivos alimentarios utilizados en la elaboración de magdalenas:

2.9.1 Propionato de calcio

Según Mota (2022), indica que el propionato de calcio, es una sal orgánica natural formada por una reacción entre el hidróxido de calcio y el ácido propiónico, este conservante se emplea principalmente en productos horneados como panes, pasteles, magdalena, muffins, etc. (Pág. 12). Siendo este el aditivo alimentario utilizado por excelencia a nivel mundial para evitar el desarrollo de hongos y bacterias. Además, al ser mezclada con los demás ingredientes de la masa, no altera el color, olor, sabor, volumen, ni tiempo de horneado. (Hernández, 2011)

2.10 Factores importantes durante el proceso de elaboración de magdalenas

Para elaborar magdalenas se deben tomar los siguientes factores:

2.10.1 Textura

La textura dentro de la panificación es el resultado del equilibrio entre los distintos constituyentes de la masa y los tratamientos tecnológicos recibidos durante su elaboración (mecánico y térmico). Por otra parte, el envejecimiento, es un fenómeno complejo que se atribuye fundamentalmente a la retrogradación del almidón, en el que intervienen otros factores como el transporte del agua y las interacciones entre sus componentes. (Acosta, 2013)

2.10.2 Humedad

En el sector de la panificación y la bollería industrial, la humedad de las masas en el caso de las magdalenas es un parámetro que requiere un control exhaustivo, pues los cambios en la humedad del producto afectan a fenómenos como el alveolado, el tipo de corteza, o la consistencia, además alterables en la conservación y el efecto del tiempo durante la cadena de suministro, desde la fábrica al consumidor final. (IRIS, 2022)

2.10.3 pH y acidez

El pH influye en el control del sabor y formación de la miga, así mismo en la vida útil del producto, textura y color de la corteza, siendo en condiciones ácidas la velocidad de reacción de Maillard más lenta y en condiciones alcalinas mayor. (IQUS, 2020)

2.11 Descripción del método de proceso seleccionado para la elaboración de magdalenas

Al no encontrar un método que se adecue al proceso de elaboración de magdalenas, se describe la operación unitaria que precede.

En este sentido, el mezclado es una operación unitaria frecuente, ya que intervienen una diversidad de procesos con el fin de homogenizar y disolver. El mezclado se obtiene mediante la agitación, esta operación se encarga de crear o acelerar el contacto

entre dos o varias fases, esto se refiere a forzar a la materia prima por medios mecánicos a adquirir un movimiento circulatorio en el interior de un recipiente. (Hurtado, 2017)

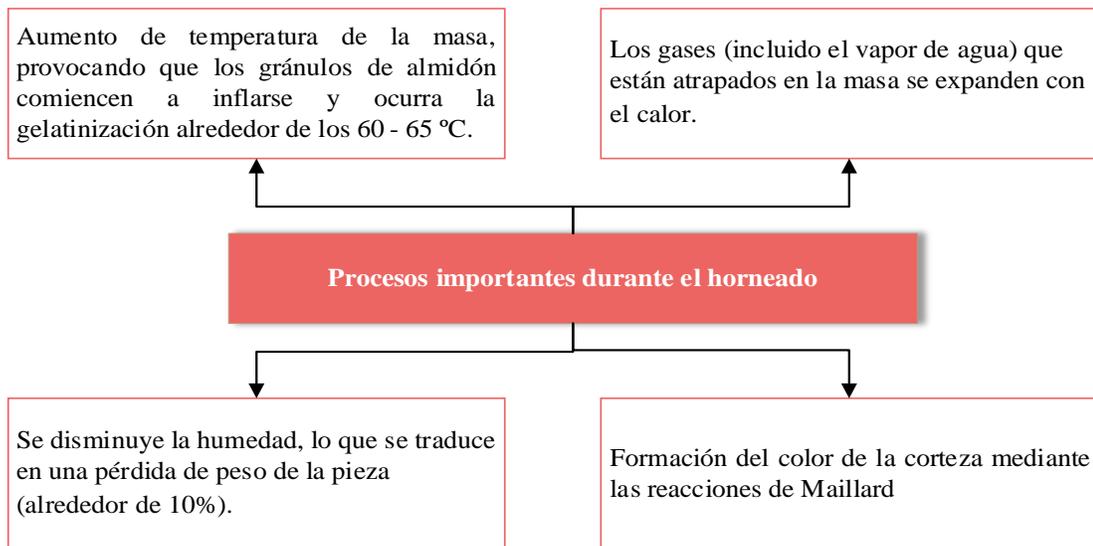
El proceso de emulsión consiste en mezclar huevos y azúcar para incorporar aire y cuerpo. Luego se incorpora los demás ingredientes (aceite, leche, harina, etc.) con movimientos envolventes para que no queden restos de harina visibles, pero no demasiado para perder el aire que se ha incorporado en el paso anterior. (Salazar, 2022)

2.12 Descripción del proceso de horneado para la elaboración de magdalenas

El horneado, es un proceso de cocción por calor seco, siendo probablemente el método de cocción más antiguo. Esta etapa es la fase final del proceso de panificación y durante la cual se aplica calor, este ocasiona una rápida expansión del gas en la masa, la eliminación del agua, causa la gelatinización del almidón y la coagulación de las proteínas. Estas reacciones, junto a la formación de la corteza, transforman un trozo de masa pegajosa e incomedible en una pieza ligera de aroma y sabor agradable. (Bianchi, 2017)

La temperatura correcta para el horneado es importante, por tanto, si es demasiado alta la coagulación de las proteínas ocurre demasiado pronto, antes que la expansión de los gases alcance su punto máximo. Si la temperatura es demasiado baja, las proteínas no se coagulan con suficiente rapidez como para dar soporte a la estructura de la pieza y esta termina desplomándose. (Bianchi, 2017)

En la figura 2.6, se muestran los procesos más importantes que ocurren durante el horneado de la magdalena.



Fuente: Bianchi, 2017.

Figura 2.6: Procesos importantes durante el horneado.

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.1 Localización del trabajo experimental

El presente trabajo de investigación sobre “Elaboración de magdalenas a partir de harina de almendra y quinua con alto contenido de magnesio para personas celiacas” se llevó a cabo en el Laboratorio del Taller de Alimentos (LTA) y el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA) de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

3.2 Tipo de intervención para la parte experimental

La presente investigación considera la metodología para elaborar magdalenas a partir de harina de almendra y quinua con alto contenido de magnesio para personas celiacas, utilizando la metodología experimental de laboratorio con el fin de desarrollar un producto en base a los siguientes métodos:

- Análisis fisicoquímico, minerales y microbiológico de la harina de almendra y harina de quinua
- Análisis organoléptico para magdalenas de chocolate a base de harina de quinua y almendra
- Análisis del diseño experimental de magdalenas de chocolate con alto contenido de magnesio
- Diseño factorial 2^3 para el proceso de dosificación de magdalenas de chocolate a partir de harina de quinua y almendras.
- Diseño factorial 2^2 para el proceso de horneado de magdalenas de chocolate a partir de harina de quinua y almendras
- Análisis fisicoquímico, minerales y microbiológicos de las magdalenas de chocolate con alto contenido de magnesio.
- Visión horizontal de la elaboración de magdalenas de chocolate a partir de harina de almendra y quinua con alto contenido de magnesio.
- Operacionalización de las variables de la elaboración de magdalenas de chocolate a partir de harina de almendra y quinua con alto contenido de magnesio.

3.3 Paradigma investigativo

Un paradigma es un conjunto de normas investigativas que condicionan una actitud científica, a su vez da concepción del objeto de estudio de sus métodos y técnicas para que finalmente se dé la interpretación de los resultados. El paradigma, desde el punto de vista metodológico se destacan, significativamente por la utilización de métodos y técnicas válidos, el procesamiento estadístico para un análisis objetivo y riguroso de los datos. (Hernández et al., 2018)

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

3.4 Enfoque de la investigación

El enfoque es aquel que utiliza la recolección y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y a su vez probar hipótesis establecidas previamente relacionadas con las variables que hacen parte del problema, confía en la medición numérica y el conteo (Gómez, 2006). Según Galeano (2004), también indica que “el uso de la estadística y el método experimental son herramientas a las que acude el investigador para analizar la realidad en un enfoque cuantitativo” (Pág. 14).

El presente proyecto, se desarrolla predominantemente por el enfoque cuantitativo, puesto que se utiliza la recolección y el análisis de datos experimentales de laboratorio.

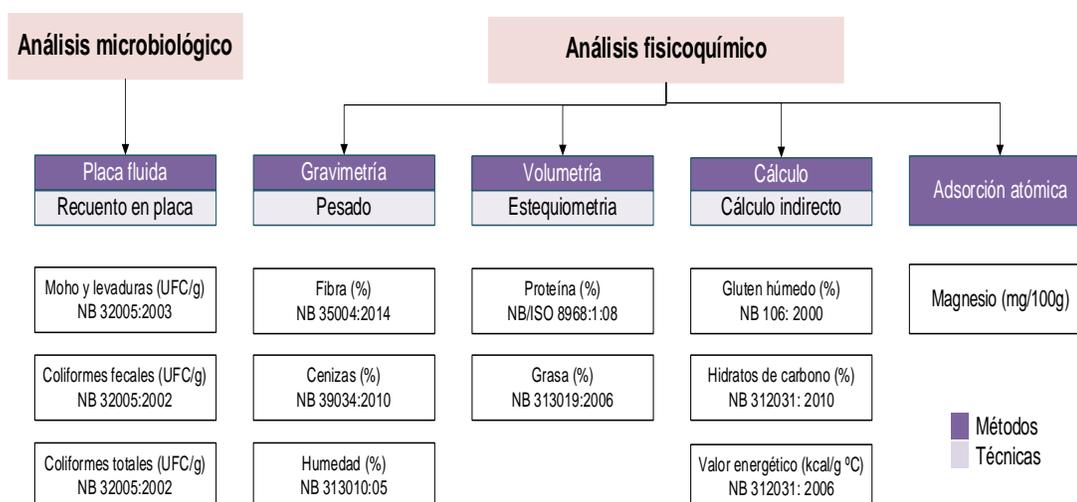
3.5 Métodos, técnicas e instrumentos

El método científico propone la confirmación de generalidades (hipótesis) a partir de datos que son particulares (un número finito de datos, obtenidos en ciertas condiciones y técnicas) (Hernández et al., 2018). Por otro lado, las técnicas son las estrategias empleadas para recabar la información y así construir el conocimiento de lo que se investiga, además propone normas para ordenar las etapas del proceso de investigación, de igual modo, proporciona instrumentos de recolección, medición, análisis de datos, y aporta a la ciencia los medios para aplicar el método. (Martínez, 2013)

Los métodos y técnicas que fueron utilizados en el presente trabajo de investigación, se detallan a continuación:

3.5.1 Control de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la harina de quinua y harina de almendra

Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la harina de almendra y quinua (figura 3.1) se realiza en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) dependiente de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho

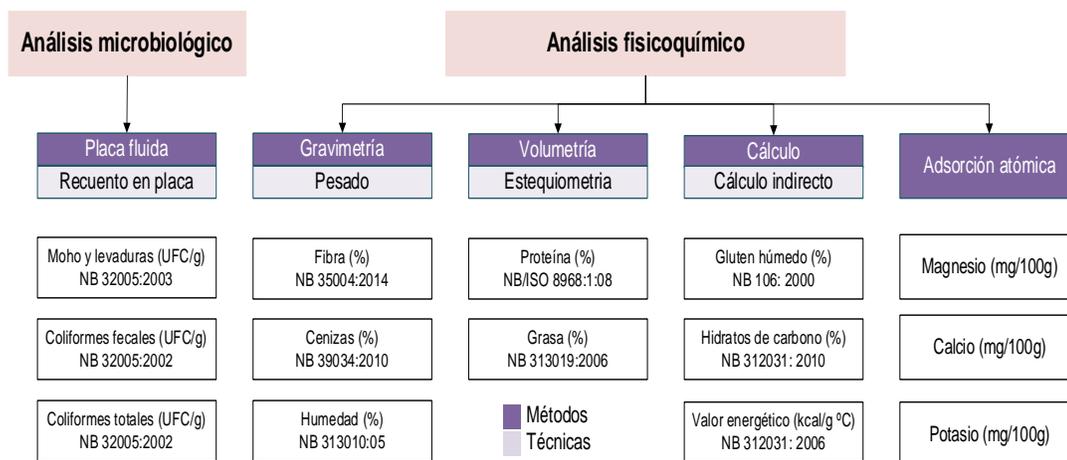


Fuente: CEANID, 2022

Figura 3.1: Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la harina de almendra y harina de quinua

3.5.2 Control de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de magdalenas a partir de harina de almendra y quinua con alto contenido de magnesio.

Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de magdalenas a partir de harina de almendra y quinua con alto contenido de magnesio (figura 3.2) se realiza en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) dependiente de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.



Fuente: CEANID, 2022

Figura 3.2: Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de magdalenas a partir de harina de almendra y quinua con alto contenido de magnesio.

3.6 Descripción de insumos, aditivos alimentarios, reactivos químicos, harina de almendra y quinua

Los insumos, aditivos alimentarios, reactivos químicos, harina de almendra y quinua que se utiliza para el presente trabajo “Elaboración de magdalenas a partir de harina de almendra y quinua con alto contenido de magnesio”, se detallan a continuación:

3.6.1 Harina de almendra y quinua

La harina de almendra y quinua, utilizada en el presente trabajo es obtenida de la tienda “GRANEL” de Tarija (Anexo B).

3.6.2 Insumos y aditivos alimentarios

Los insumos añadidos en la elaboración de magdalenas son: el aceite de girasol, leche pasteurizada, azúcar blanca, cocoa en polvo, huevo y polvo de hornear, obtenidas de tiendas del mercado local. El aditivo alimentario, propionato de calcio (E282) se obtiene de la tienda “Esencial” (Anexo B).

3.6.3 Reactivos químicos

Los reactivos utilizados para la determinación de acidez es hidróxido de sodio (0,1N) y el azul de bromotimol (0,1%) de la marca Biopack (Anexo B).

3.7 Equipos, instrumentos, material de laboratorio y utensilios de cocina de relevamiento de información

Los equipos, instrumentos, utensilios y material de laboratorio utilizados para la elaboración de magdalenas a partir de harina de almendra y quinua con alto contenido de magnesio, se detallan a continuación:

3.7.1 Equipos

La figura 3.3 muestra los equipos (Anexo B) utilizados en el desarrollo del presente trabajo se encuentran en el Laboratorio Taller de Alimentos (LTA).

Equipos	Descripción
Horno industrial a gas natural	Marca horno compacto turbo super de industria boliviana con quemadores superior e inferior, bandejas de 45 cm x 45 cm y dos llaves.
Batidora de mano	Marca MORLEY, con potencia de 600 W, dos varillas de acero inoxidable, de alimentación eléctrica y capacidad de 2,5 litros, hecho en china.

Fuente: Laboratorio Taller de Alimentos, 2021

Figura 3.3 Equipos

3.7.2 Instrumentos de laboratorio

La figura 3.4 describe los instrumentos de laboratorio (Anexo B) utilizados en el presente trabajo, los mismos se encuentran en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA).

Instrumentos de laboratorio	Descripción
pH-metro digital	Marca LAQUA-PH1300, MPG N° B08K0006, con modelo de electrodo 9615S MPG N°9X8H1813, con rango de lectura de 0 -14 y una potencia de 0,7 W.
Balanza digital	Marca METLER TOLEDO, modelo PB 1502, con tensión 220V, potencia de 5W, capacidad máxima 1510g e:0,1g, y una capacidad mínima de 0,5g d:10mg.
Bureta digital o titulador	Modelo DIGITRATE-PRO50, marca JENCONS, con una capacidad de 0,01 – 50 ml, cánula 2, de calibración digital y con cabezal giratorio de 360°.
Termobalanza	Modelo PM 60.3Y.Wg, S/N: 579775, con una capacidad máxima de 60 g, y una temperatura de 250°C. Hecho en Polonia.
Balanza digital	Marca RADWAG de Polonia, modelo PS 4500 R2 capacidad máxima 4500g e:0,1g, y una capacidad mínima de 0,5g d:0,01g.
Agitador magnético	Modelo M57-H550-Pro, con una potencia 1050W, con rpm de 0 – 1500/min y una frecuencia máxima de 50/60 Hz. Hecho en china.
Balanza granatoria	Marca HOFFNER de capacidad máxima 40 kg y una capacidad mínima de 5g d:1g.

Fuente: Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos, 2022
Figura 3.4: Instrumentos de laboratorio

3.7.3 Materiales de laboratorio

La figura 3.5 muestra los materiales de laboratorio utilizados en el presente trabajo, que se encuentran en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA).

Materiales de laboratorio	Descripción
Termómetro	Bulbo de mercurio, sensibilidad de 2°C y capacidad de 0°C a 300°C.
Vasos de precipitados	Material de vidrio y de capacidad de 250ml y 50 ml.
Espátula	Material de acero inoxidable
Pipeta	Material de vidrio y de capacidad de 10 ml.
Vidrio de reloj	Material de vidrio y tamaño mediano.
Varillas	Material de vidrio

Fuente: Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos, 2022

Figura 3.5: Materiales de laboratorio

3.7.4 Utensilios de cocina

En la figura 3.6, se observa los utensilios de cocina, que se utilizados en el presente trabajo, que se encuentran en el Laboratorio Taller de Alimentos (LTA).

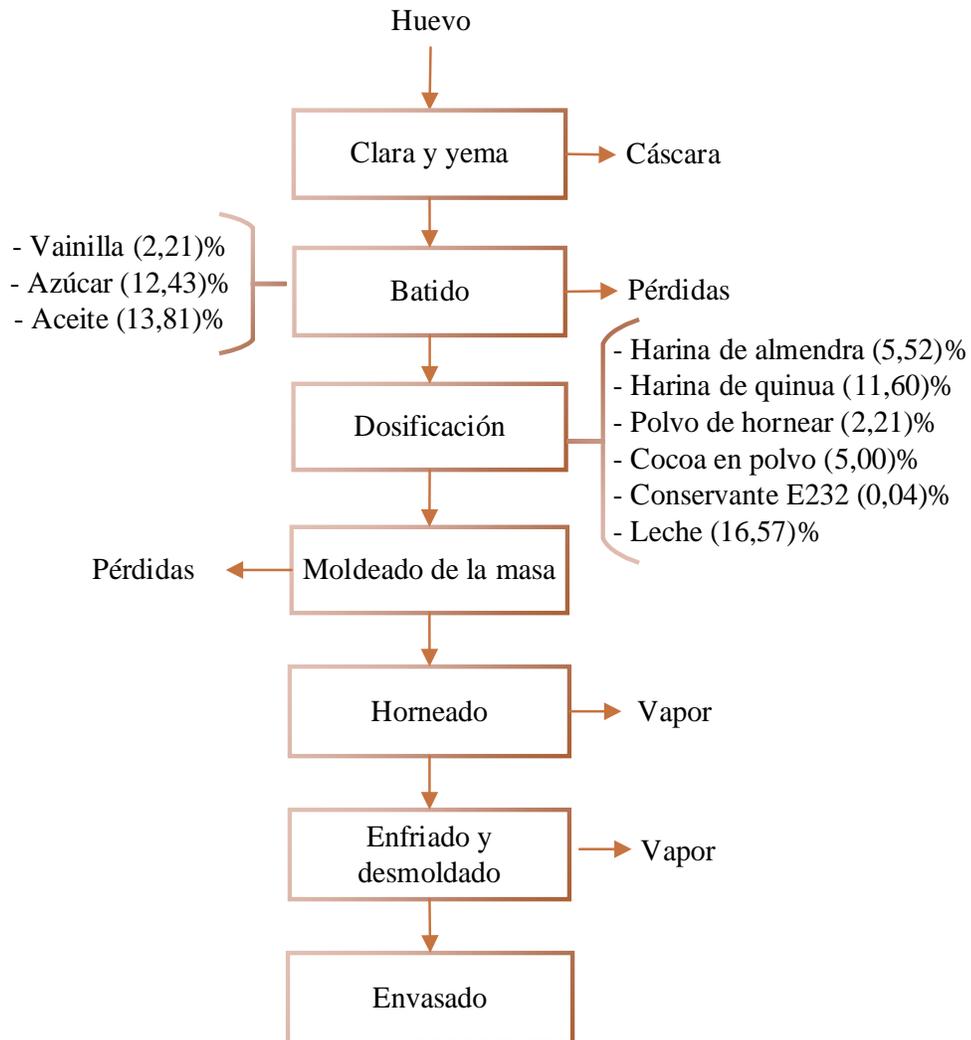
Utensilios de cocina	Descripción
Recipiente metálico	De capacidad máxima de 1,5 litros
Paleta	Material de goma flexible de mango duro
Cuchara metálica	Tamaño pequeño
Jarra	Material de plástico de 1 litro capacidad

Fuente: Laboratorio Taller de Alimentos, 2022

Figura 3.6: Utensilios de cocina

3.8 Diagrama de flujo para el proceso de elaboración de magdalenas a partir de harina de almendra y quinua con alto contenido de magnesio

En la figura 3.7, se muestra el diagrama de flujo para el proceso de elaboración magdalenas a partir de harina de almendra y quinua con alto contenido de magnesio.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.7: Diagrama de flujo del proceso de elaboración de magdalenas a partir de harina de almendra y quinua con alto contenido de magnesio

3.8.1 Descripción del proceso de elaboración de magdalenas a partir de harina de almendra y quinua con alto contenido de magnesio

A continuación, se describen las operaciones necesarias para llevar a cabo el proceso de elaboración de magdalenas a partir de harina de almendra y quinua con alto contenido de magnesio.

Clara y yema

Se muestra en la figura 3.8, la obtención de la clara y yema a partir del huevo entero.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.8: Clara y yema

Batido

La figura 3.9 muestra el proceso de batido con una batidora de mano de las claras y yemas (30,61 %), hasta obtener una textura cremosa y aireada, luego se añade el azúcar (12,43%), vainilla (2,21%) y aceite (13,81%).



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.9: Batido

Dosificación

En el proceso de dosificación (figura 3.10), se continúa el batido añadiendo: leche (16,57%), harina de almendra (5,52%), quinua (11,60%), cocoa en polvo (5,00%), polvo de hornear (2,21%) y conservante E232 (0,04%), con el fin obtener una masa homogénea.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.10: Dosificación

Moldeado de la masa

La figura 3.11 muestra el proceso de moldeado, que consiste en verter en una jarra la masa obtenida, para colocar en los moldes 40g de la masa, previamente añadidos los pirotines.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.11: Moldeado

Horneado

Para el proceso de horneado (Figura 3.12), se precalienta el horno a 180°C por media hora para luego pasar a hornear las magdalenas por un tiempo de 25 minutos.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.12: Horneado

Enfriado y desmoldado

En la figura 3.13, se observan las muestras desmoldadas y el enfriado de las magdalenas a temperatura ambiente el cual se dejó por 15 minutos.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.13: Enfriado

Envasado

La figura 3.14 muestra el envasado utilizando papel celofán.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.14: Envasado

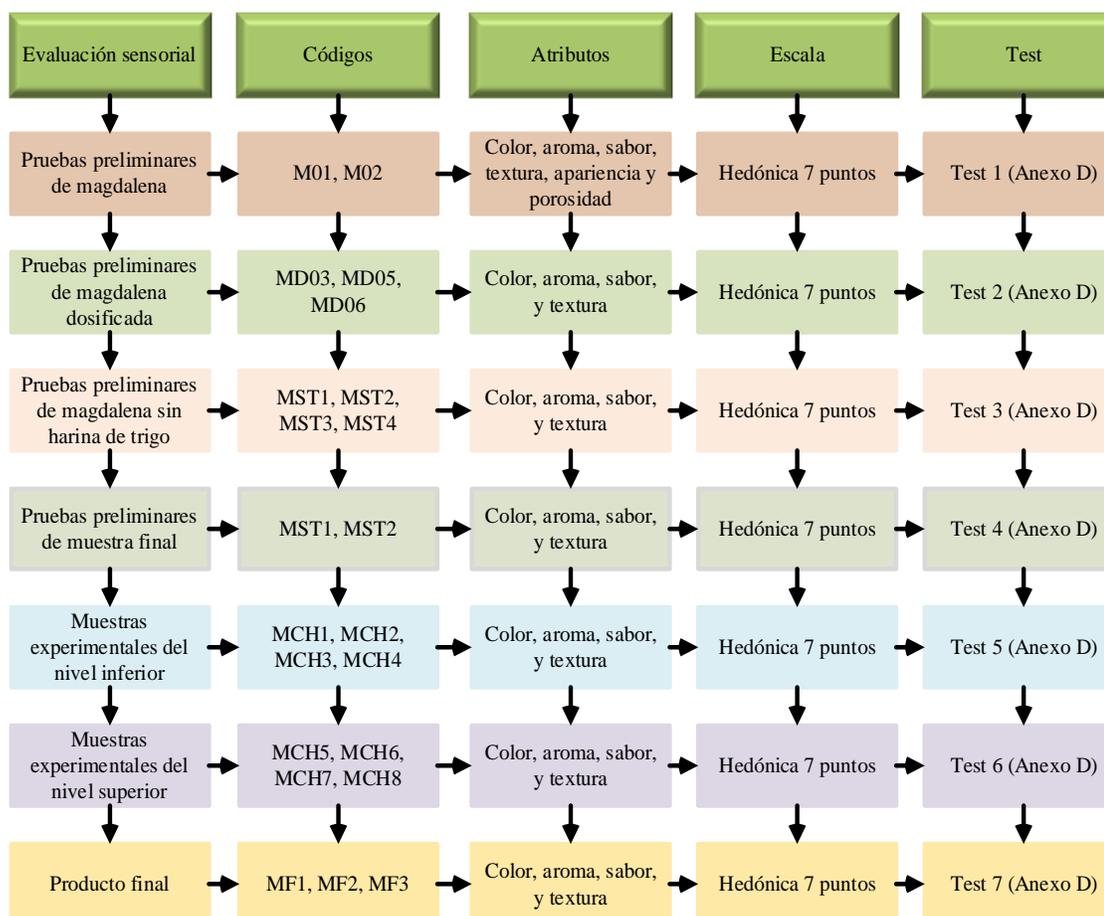
3.9 Análisis sensorial de los alimentos

La evaluación sensorial es la ciencia que se encarga de percibir las características organolépticas de los alimentos (color, olor, sabor y textura) por medio de los sentidos del organismo, siendo hoy en día un pilar fundamental para el diseño y desarrollo de nuevos productos alimenticios. (Osorio, 2020)

También es una herramienta para medir la calidad de los alimentos, conocer la opinión y mejorar la aceptación de los productos. Además, que se tiene para el mejoramiento y optimización de los productos alimenticios existentes y para realizar investigaciones en la elaboración. (Hernández, 2005)

Durante las evaluaciones sensoriales, la sensación experimentada por los catadores o consumidores muestra el grado de aceptación o rechazo del producto, comparándolo con otras muestras con el fin de mejorarlo teniendo en claro el propósito y el aspecto o atributo que se va a medir. (Hernández, 2005)

En la figura 3.15, se detalla las evaluaciones sensoriales realizados, durante el presente trabajo de investigación.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.15: Evaluaciones sensoriales de magdalenas a partir de harina de almendra y quinua con alto contenido de magnesio

3.10 Operacionalización de variables para obtención de magdalenas con alto contenido de magnesio

La Operacionalización de variables se detallan mediante el cuadro 3.1. para la elaboración de magdalenas a partir de harina de almendra y quinua con alto contenido de magnesio.

Cuadro 3.1**Operacionalización de variables para la elaboración de magdalenas a partir de harina de almendra y quinua con alto contenido de magnesio**

Hipótesis	Variables		Conceptualización	Dimensiones	Indicadores
El proceso de transformación de cereales a ser aplicado para la elaboración de magdalenas permitirá obtener un producto nutricional para las personas celiacas de la provincia cercado	VARIABLE DEPENDIENTE – EFECTO	Magdalenas	Según Lezcano (2011), se conocen también como Madeleine. En si es un bollo pequeño, hecho y presentado en molde de papel rizado, con los mismos ingredientes que el bizcocho en distintas proporciones (Pág. 17).	Harina de almendras	Carbohidratos (%) Fibra (%) Cenizas (%) Proteínas (%) Minerales (%) Grasas (%) Gluten (%) Magnesio (mg/100g)
				Harina de quinua	
				Magdalena	Carbohidratos (%) Proteínas (%) Minerales (%) Grasas (%) Gluten (%) Magnesio (mg/100g) Calcio (mg/100) Potasio (mg/100)
	VARIABLE INDEPENDIENTE – CAUSAS	Proceso de panificación	Las operaciones unitarias de mezclado se obtienen mediante la agitación y esta operación se encarga de crear o acelerar el contacto entre dos o varias fases. (Hurtado, 2017)	Análisis fisicoquímico	Carbohidratos (%) Proteínas (%) Cenizas (%) Fibra (%) Minerales (%) Grasas (%) Gluten (%) Magnesio (mg/100g)
				Análisis microbiológico	Recuento en placa (UFC/g)
				Diseño experimental	ANVA Prueba de Tukey
				Control del proceso experimental	Dosificación (%) Temperatura (°C) Tiempo (min.)

Fuente: Elaboración propia

3.11 Diseño experimental

El diseño experimental son técnicas de estadística que permiten identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un estudio experimental, para medir el efecto que tienen en otra variable de interés, a su vez hace constancia las veces que se repite el

experimento y en qué orden para poder establecer con un grado de significancia. (Gabriel et al., 2017)

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

3.11.1 Diseño experimental en la etapa de dosificación de las magdalenas a partir de harina de almendra y quinua

Para realizar el diseño experimental en la etapa de dosificación de las magdalenas se aplicó el diseño factorial 2^3 donde los niveles de variación de cada factor son los siguientes:

- Cocoa en polvo (A) = 2 niveles
- Harina de almendra (B) = 2 niveles
- Harina de quinua (C) = 2 niveles

La tabla 3.1 muestra los niveles de los factores (harina de almendra, harina de quinua y cocoa en polvo) cada factor con dos niveles que fueron aplicados al proceso de dosificación para la elaboración de magdalenas a partir de harina de almendra y quinua.

Tabla 3.1

Matriz de variables en el proceso de dosificación para la elaboración de magdalenas a partir de harina de almendra y quinua

Combinación de tratamientos	Variable			Interacción				Respuesta
	A	B	C	AB	AC	BC	ABC	Y_i
(1)	-	-	-	+	+	+	-	Y_1
a	+	-	-	-	-	+	+	Y_2
b	-	+	-	-	+	-	+	Y_3
ab	+	+	-	+	-	-	-	Y_4
c	-	-	+	+	-	-	+	Y_5
ac	+	-	+	-	+	-	-	Y_6
bc	-	+	+	-	-	+	-	Y_7
abc	+	+	+	+	+	+	+	Y_8

Fuente: Gutiérrez y Vera, 2008.

Donde:

Y_i = Magnesio (mg/100g)

Y_i = Proteína (%)

La tabla 3.2, indica los niveles de variación de los factores (nivel alto y nivel bajo), a ser aplicado en el proceso de dosificación conformado por tres variables: cocoa en polvo (A), harina de almendra (B) y harina de quinua (C).

Tabla 3.2

Niveles de variación de los factores en el proceso de dosificación

VARIABLES	Unidad	Nivel bajo	Nivel alto
Cocoa en polvo (A)	%	3	5
Harina de almendra (B)	%	5	6
Haría de quinua (C)	%	11	13

Fuente: Elaboración propia

3.11.2 Diseño experimental en la etapa de horneado de las magdalenas

Para realizar el diseño experimental en la etapa de horneado se aplicó el diseño factorial 2^2 donde los niveles de variación son los siguientes:

- Temperatura (A) = 2 niveles
- Tiempo (B) = 2 niveles

La tabla 3.3 muestra los niveles de los factores (Temperatura y Tiempo de horneado) cada factor con dos niveles en el proceso de horneado en la elaboración de magdalenas a partir de harina de almendra y quinua.

Tabla 3.3

Matriz de variables para la etapa de horneado en la elaboración de magdalenas a partir de harina de almendra y quinua

Combinación de tratamientos	Variable		Interacción	Respuesta
	A	B	AB	Y_i
(1)	-	-	+	Y_1
a	+	-	-	Y_2
b	-	+	-	Y_3
ab	+	+	+	Y_4

Fuente: Gutiérrez y Vera, 2008.

Donde Y_i = Porcentaje de humedad (%)

En la tabla 3.4, se observa los niveles de variación de los factores (nivel alto y nivel bajo), a ser aplicado en la etapa de horneado conformado por dos variables: temperatura (A) y tiempo de horneado (B).

Tabla 3.4

Niveles de variación de los factores en la etapa de horneado

Variables	Unidad	Nivel bajo	Nivel alto
Temperatura (A)	°C	180	200
Tiempo de horneado (B)	Minutos	15	25

Fuente: Elaboración propia

3.12 Visión horizontal

En el cuadro 3.2 se muestra la visión horizontal sobre magdalena a partir de harina de almendra y quinua con alto contenido de magnesio.

Cuadro 3.2

Visión horizontal sobre magdalenas a partir de harina de almendra y quinua con alto contenido de magnesio

Situación problemática	Problema	Objeto de estudio	Objetivo general	Objetivos específicos	Índice tentativo	Paradigma	Enfoque	Metodología especial	Metodología especial	
<p>En la provincia de Tarja existen harinas ricas en magnesio como ser: harina de almendra y harina de quinua, pero estas son poco aprovechadas dentro de las paraderías por su desconocimiento en su aplicación en los productos. Así mismo existe una variedad de magdalenas que se elaboran a base harina de trigo, pero no hay un producto con alto contenido en magnesio. Por lo cual mediante el proceso de panificación se pretende elaborar magdalena a partir de harina de almendra y quinua que permitan aprovechar este mineral</p>	<p>Habría una metodología de proceso panificación a ser implementado para elaborar magdalena con el fin de obtener un producto nutricional para personas celiacas de la provincia Cercado de Tarja.</p>	<p>Aplicar la metodología experimental del proceso de panificación para obtener magdalena a base de harina de almendra y quinua para la provincia Cercado de Tarja.</p>	<p>Aplicar la metodología experimental del proceso de panificación que permita elaborar magdalena a partir de harina de almendra y quinua, con la finalidad de obtener un producto nutricional para personas celiacas de la provincia Cercado de Tarja.</p>	<p>Determinar las propiedades fisicoquímicas, minerales y microbiológicas de la harina de almendra y quinua, con la finalidad de conocer su composición.</p>	<p>Capítulo I</p>	<p>Empírico analítico</p>	<p>Cuantitativo</p>	<p>Hipotético-deductivo</p>	<p>Metodología especial</p>	
		<p>Campo de acción</p>		<p>Realizar la evaluación sensorial a las pruebas preliminares de magdalena durante el proceso con el fin de obtener la muestra ideal.</p>	<p>Capítulo II</p>					<p>Bibliográfico</p>
		<p>Espacial</p>		<p>Aplicar el diseño experimental 2³ en la etapa de dosificación, con la finalidad de obtener parámetros óptimos.</p>	<p>Capítulo III</p>					<p>Observacional</p>
		<p>Provincia Cercado de Tarja</p>		<p>Determinar las propiedades fisicoquímicas, minerales y microbiológicas en el producto final, con el objetivo de conocer su composición nutricional.</p>	<p>Metodología experimental</p>					<p>Analisis</p>
		<p>Temporal</p>		<p>Realizar el balance de materia y energía en las diferentes operaciones de la elaboración de magdalenas con la finalidad de establecer las corrientes de entrada y salida del proceso.</p>	<p>Capítulo IV</p>					<p>Discusión</p>
<p>2021 entre 2022</p>		<p>Capítulo V</p>								
<p>Institución</p>	<p>Laboratorio Taller de Alimentos (LTA) y el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA).</p>	<p>Conclusiones y recomendaciones</p>								

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización de las harinas de almendra y quinua

Para caracterizar las harinas de almendra y quinua, se toma en cuenta los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que se detallan a continuación:

4.1.1 Análisis fisicoquímico de la harina de almendra

La tabla 4.1 detalla los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la harina de almendra, datos extraídos del Anexo A.

Tabla 4.1

Análisis fisicoquímico de la harina de almendra

Parámetros	Unidad	Resultado
Hidratos de carbono	%	24,18
Gluten húmedo	%	n.d.
Fibra	%	2,29
Cenizas	%	5,23
Humedad	%	11,38
Proteína	%	6,52
Materia grasa	%	50,40
Magnesio	mg/100g	407,00
Valor energético	Kcal/100g	576,4

Fuente: CEANID, 2022

La tabla 4.1, muestra los resultados del análisis fisicoquímico de la harina de almendra: hidratos de carbono 24,18%, gluten húmedo n.d., fibra 2,29%, cenizas 5,23%, humedad 11,38%, proteína 6,52%, materia grasa 50,40%, magnesio 407,00 mg/100g y valor energético 576,4 kcal/100g.

4.1.2 Análisis microbiológico de la harina de almendra

La tabla 4.2 detalla los resultados obtenidos de los análisis microbiológicos de la harina de almendra, datos extraídos del Anexo A.

Tabla 4.2*Análisis microbiológico de la harina de almendra*

Microorganismos	Unidad	Resultado
Mohos y levaduras	UFC/g	$2,1 \times 10^2$
Coliformes totales	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$
Coliformes fecales	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$

Fuente: CEANID, 2022

La tabla 4.2 indica los resultados de los análisis microbiológicos de la harina de almendra: mohos y levaduras $2,1 \times 10^2$ UFC/g, coliformes totales $<1,0 \times 10^1$ UFC/g y coliformes fecales $<1,0 \times 10^1$ UFC/g.

4.1.3 Análisis fisicoquímico de la harina de quinua

La tabla 4.3 detalla los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la harina de quinua, datos extraídos del Anexo A.

Tabla 4.3*Análisis fisicoquímico de la harina de quinua*

Parámetros	Unidad	Resultado
Hidratos de carbono	%	71,79
Gluten húmedo	%	n.d.
Fibra	%	2,65
Cenizas	%	3,09
Humedad	%	4,77
Proteína	%	12,37
Materia grasa	%	5,33
Magnesio	mg/100g	151,00
Valor energético	Kcal/100g	384,61

Fuente: CEANID, 2022

La tabla 4.3 muestra los resultados del análisis fisicoquímico de la harina de quinua: hidratos de carbono 71,79%, gluten húmedo n.d., fibra 2,65%, cenizas 3,09%, humedad 4,77%, proteína 12,37%, materia grasa 5,33%, magnesio 151,00 mg/100g y valor energético 384,61 kcal/100g.

4.1.4 Análisis microbiológico de la harina de quinua

La tabla 4.4 detalla los resultados obtenidos de los análisis microbiológicos de la harina de quinua, datos extraídos del Anexo A.

Tabla 4.4*Análisis microbiológico de la harina de quinua*

Microorganismos	Unidad	Resultado
Mohos y levaduras	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$
Coliformes totales	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$
Coliformes fecales	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$

Fuente: CEANID, 2022

En la tabla 4.4, se puede observar los resultados de los análisis microbiológicos de la harina de quinua: mohos y levaduras $<1,0 \times 10^1$ UFC/g, coliformes totales $<1,0 \times 10^1$ UFC/g y coliformes fecales $<1,0 \times 10^1$ UFC/g.

4.2 Caracterización de las variables en el proceso de elaboración de magdalenas para personas celiacas

Para desarrollar la metodología experimental de la elaboración de magdalenas a partir de harina de almendra y quinua con alto contenido de magnesio para personas celiacas, se detalla a continuación:

4.2.1 Pruebas preliminares para la elaboración de magdalenas de harina de trigo

Inicialmente, para el desarrollo de la parte experimental se procede a elaborar diez muestras preliminares, con el fin de mejorar la técnica de elaboración de magdalenas a base de harina de trigo; se realiza dos formulaciones diferentes, donde en cuatro muestras se varía el porcentaje de harina de trigo y aceite vegetal (tabla 4,5) y en seis muestras el porcentaje de aceite vegetal (tabla 4,6).

Tabla 4.5*Variación en la dosificación de harina de trigo y aceite vegetal*

Materia prima/insumo	Rango	Unidad
Harina de trigo	19,78 – 39,68	%
Aceite vegetal	7,93 – 19,78	%
Margarina	8,49 – 14,60	%
Otros	44,45 – 65,17	%

Fuente: Romero, 2020.

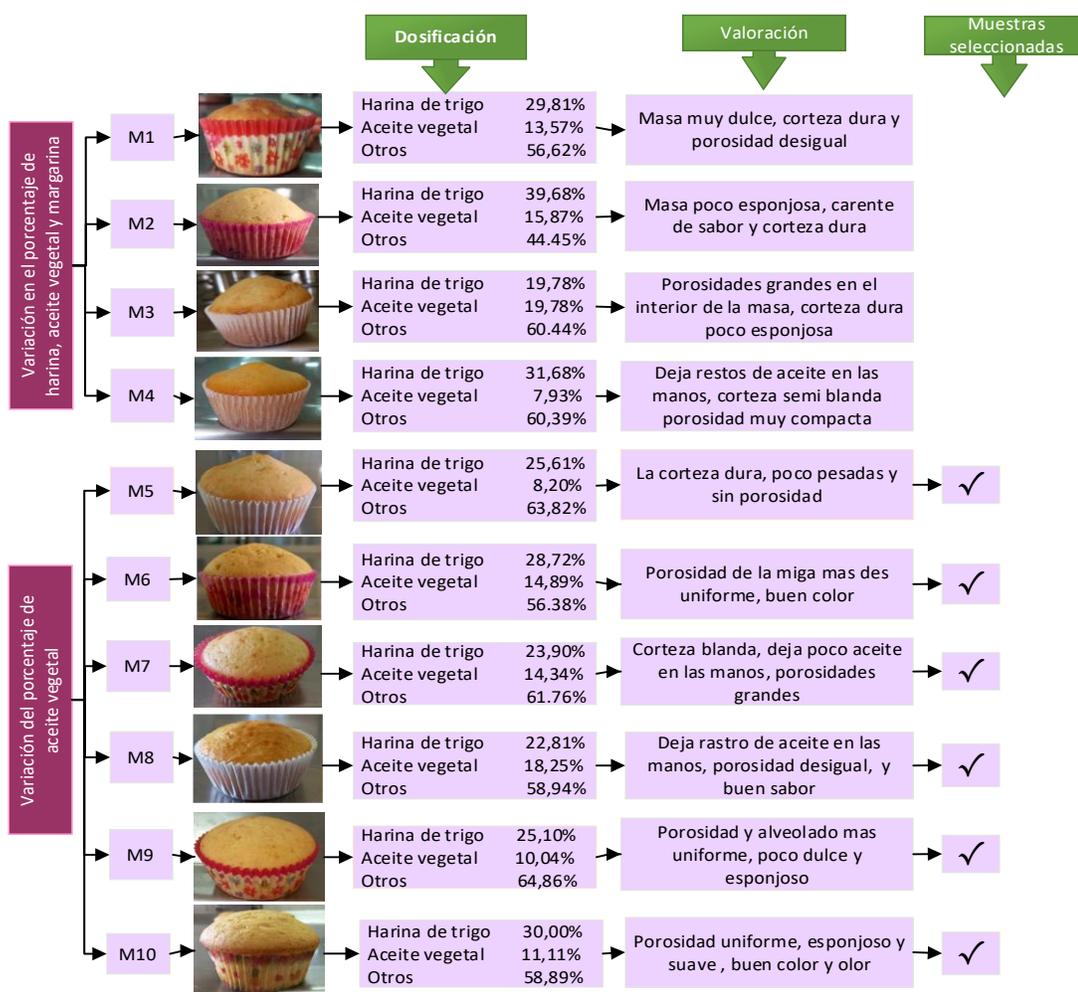
Tabla 4.6

Variación en la dosificación de aceite vegetal

Materia prima/insumo	Rango	Unidad
Harina de trigo	22,81 – 30,00	%
Aceite vegetal	8,20 – 18,25	%
Otros	56,38 – 64,86	%

Fuente: Chavero, 2018.

De acuerdo a las formulaciones mencionadas, en la figura 4.1, se detalla la variación en la dosificación de las pruebas preliminares de magdalenas de harina de trigo y la valoración subjetiva realizada por trabajadores del Taller de Alimentos, que por motivos de pandemia COVID-19 no se pudo desarrollar con jueces semi entrenados.



Fuente: Elaboración propia

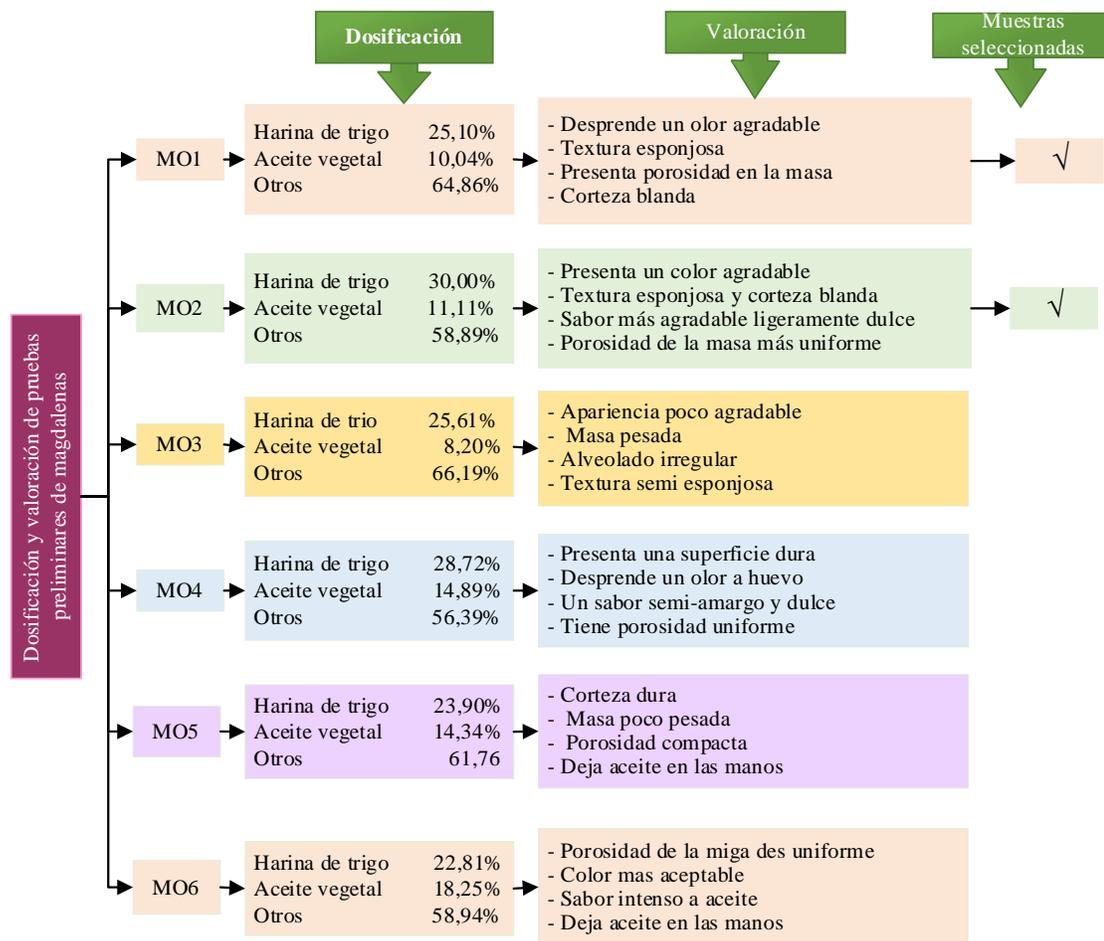
Figura 4.1: Variación en la dosificación de pruebas preliminares de magdalena a base de harina de trigo

Según la figura 4.1 de la valoración sensorial realizada, se puede observar que las muestras M1 presenta una corteza dura, M2 estuvo carente de sabor, M3 una textura poco esponjosa y la muestra M4 una miga muy compacta, como también todas las muestras presentan porosidades excesivas. Mientras las pruebas de la segunda formulación variando la dosificación de aceite vegetal presenta; la muestra M5 poca porosidad, M6 poca uniformidad en la porosidad, muestra M7 excesiva porosidad y aceite, la muestra M8 tuvo un buen sabor y una porosidad poco uniforme, M9 una masa esponjosa y porosidad uniforme, y finalmente la muestra M10 tiene un buen sabor, color, junto a una esponjosidad y porosidad uniforme en las magdalenas.

4.2.2 Pruebas preliminares variando la dosificación de aceite vegetal para la elaboración de magdalenas con harina de trigo

De acuerdo a la figura 4.1, las seis muestras seleccionadas que presentan los mejores resultados, se realiza una nueva valoración subjetiva; con la finalidad de obtener muestras preliminares significativas que se detalla en la figura 4.2.

Por motivo de pandemia COVID-19 la valoración subjetiva de las magdalenas con harina de trigo (figura 4.2), fueron realizadas por el personal del Laboratorio Taller de Alimentos; con el fin de obtener las mejores muestras.



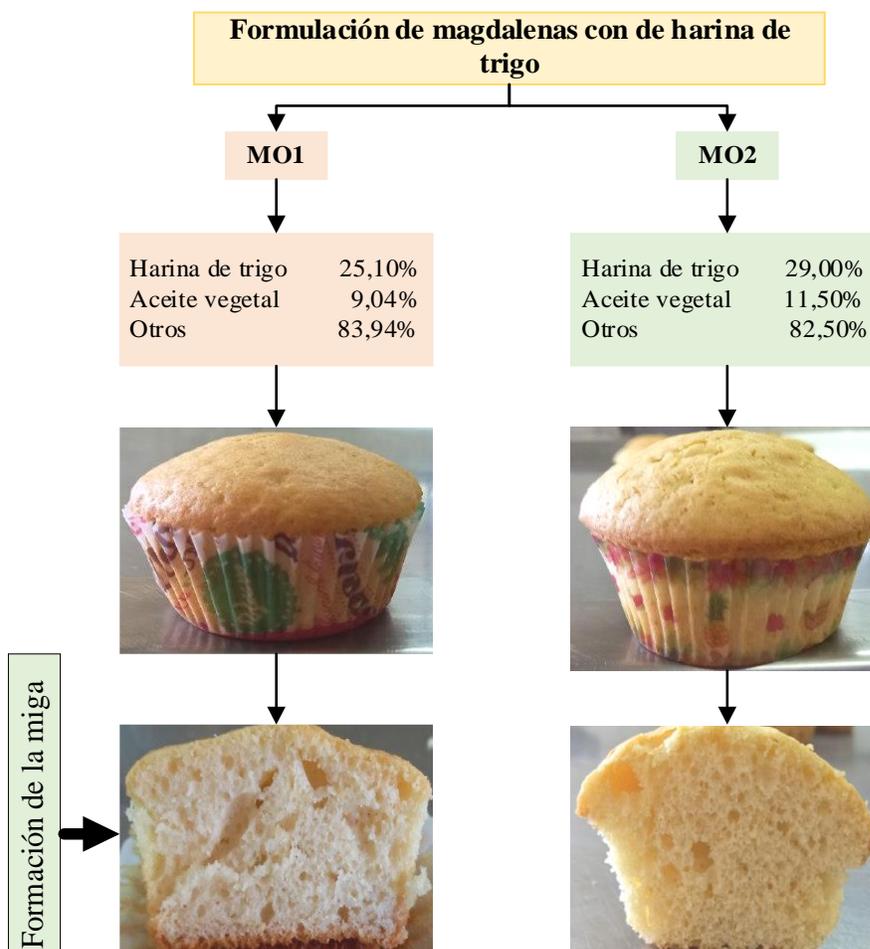
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.2: Dosificación y valoración de pruebas preliminares de magdalenas de harina de trigo

En base a la valoración subjetiva (figura 4.2), las muestras de magdalenas MO1 y MO2 presentan un mejor color y olor, textura esponjosa y sabor aceptable. Mientras que la muestra MO3 tiene una apariencia poco agradable, masa pesada y semi esponjosa. La muestra MO4 presenta una corteza más dura, olor pronunciado a huevo y sabor poco amargo. Así mismo la muestra MO5 muestra una corteza dura, porosidad compacta y una masa pesada. Por último, la muestra M06 presenta un sabor más intenso al aceite y en ambos casos dejaron restos de aceite en las manos al ser consumidos.

4.2.2.1 Selección de muestra preliminar de magdalenas con harina de trigo

En base a las muestras seleccionadas (MO1 y MO2), se procede a elaborar nuevamente mejorando el tiempo de batido y el porcentaje de aceite, obteniendo para ambas muestras distintas formulaciones de magdalena con harina de trigo, la cual se detallan en la figura 4.3.



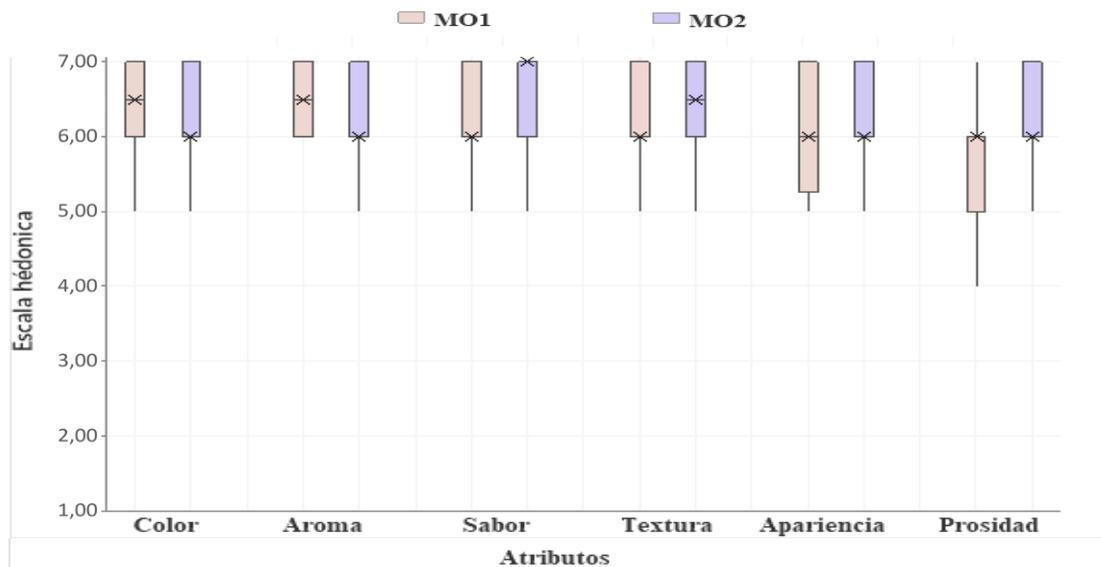
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3: Formulación de magdalenas a base de harina de trigo

De acuerdo a la formulación de la figura 4.3, se realiza una evaluación sensorial con escala hedónica de siete puntos valorando los atributos; color, aroma, sabor, apariencia, porosidad y textura, con la finalidad de obtener una muestra preliminar.

4.2.2.1.1 Estadístico de caja y bigote para selección de muestra preliminar de magdalenas a base de harina de trigo

La figura 4.4 muestra el estadístico de caja y bigote de datos extraídos del Anexo C, para los atributos color (tabla C.1), aroma (tabla C.3), sabor (tabla C.5), apariencia (tabla C.9), porosidad (tabla C.11) y textura (tabla C.7).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.4: Caja y bigote para pruebas preliminares de magdalenas a base de harina de trigo

En base a la figura 4.4, se observa que los resultados de las medianas en función de los atributos de las muestras evaluadas: color 6,5 (MO1); aroma 6,5 (MO1); sabor 7,0 (MO2), textura 6,5 (MO2), apariencia 6,0 (MO1 y MO2) y porosidad 6,0 (MO1 y MO2). El análisis estadístico de varianza indica que no existe diferencia significativa entre los atributos y, por tanto, cualquiera de las muestras puede ser elegidas como muestra preliminar para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

Sin embargo, las observaciones en la evaluación sensorial indican que la muestra MO1 tiene una masa pesada, sabor muy dulce y apariencia muy porosa. En cambio, la muestra MO2, presenta buena textura, porosidad y sabor más aceptable siendo está elegida por los jueces no entrenados como muestra preliminar.

4.2.3 Incorporación de harina de almendra y quinua en la muestra preliminar de magdalena

Inicialmente, a partir de la formulación de la muestra MO2, se realizan pruebas con cada harina de quinua y almendra sustituyendo parcialmente en el porcentaje de harina de trigo, con la finalidad de valorar el comportamiento del mismo en la magdalena, a tal efecto se percibe que la harina de almendra aumenta la dulzura en la magdalena, procediendo a disminuir el porcentaje de azúcar del 17,78% al 12,61% para compensar el dulzor de la harina de almendra.

La formulación de las magdalenas incorporando las harinas de quinua y almendra se detalla en la tabla 4.7.

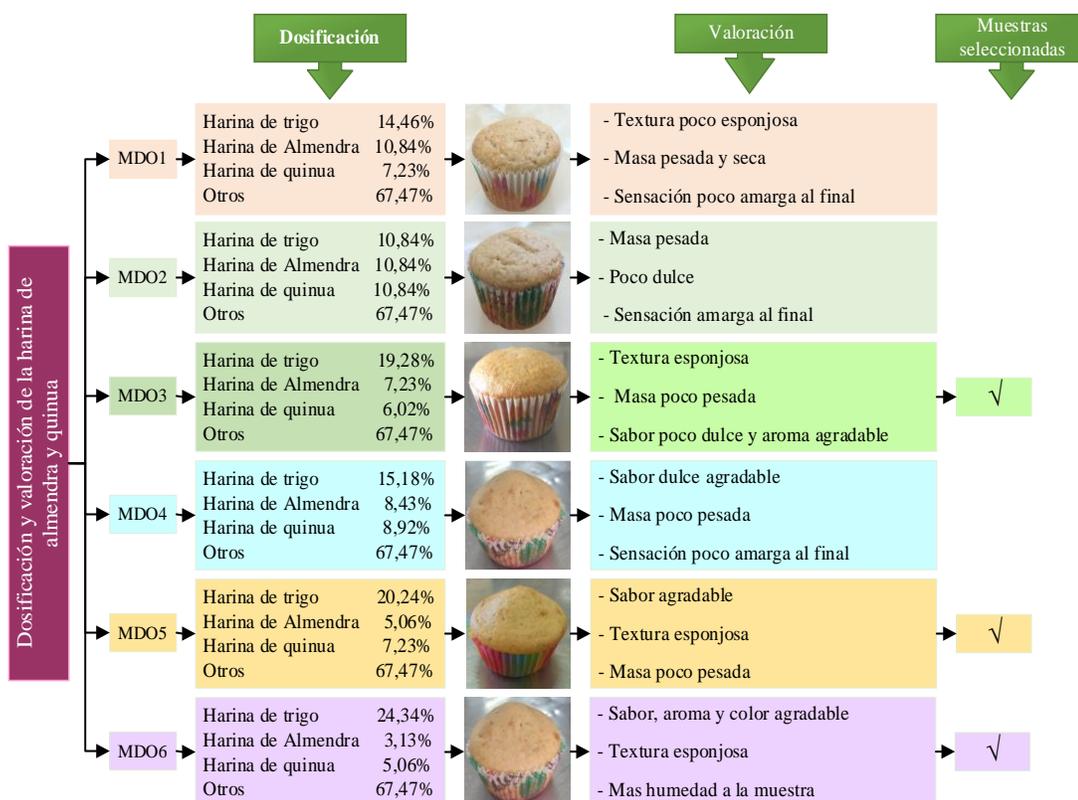
Tabla 4.7

Variación en la dosificación de harina de almendra y quinua en magdalenas

Materia prima/insumo	Rango	Unidad
Harina de trigo	24,34 – 10,84	%
Harina de quinua	10,84 – 5,06	%
Harina de almendra	10,84 – 3,13	%
Otros	67,47	%

Fuente: Chavero, 2018.

De acuerdo a la tabla 4.7, se elabora seis muestras de magdalenas dosificadas con harina de almendra y quinua, realizando una valoración subjetiva que se detalla en la figura 4.5, por los trabajadores (jueces no entrenados) del Laboratorio Taller de Alimentos a causa de la pandemia COVID-19.



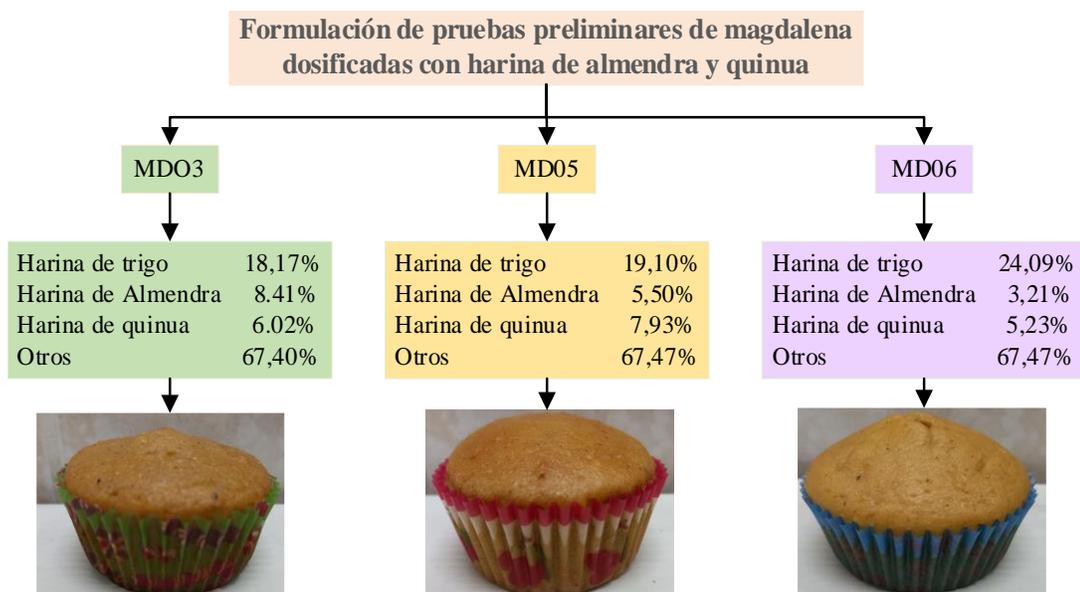
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.5: Dosificación y valoración de harina de almendra y quinua en magdalenas

De acuerdo a la evaluación subjetiva, las muestras seleccionadas son: la muestra MD03 por una masa poco pesada, textura esponjosa y sabor poco dulce; la muestra MD05 por tener un sabor agradable, textura esponjosa y masa poco pesada; la muestra MD06 por presentar una textura esponjosa, sabor, aroma y color agradable. Mientras que las muestras descartadas son; la muestra MDO1 por presentar masa pesada y seca, la muestra MDO2 un sabor poco dulce y la muestra MD04 por un sabor residual amargo al final de degustar.

4.2.3.1 Selección de muestras preliminares de magdalenas dosificadas con harina de almendra y quinua

En base a las muestras seleccionadas (MDO3, MDO5 y MDO6), se vuelve a elaborar modificando los porcentajes del azúcar, harina de almendra y quinua, obteniendo formulaciones mejoradas como se detallan en la figura 4.6.



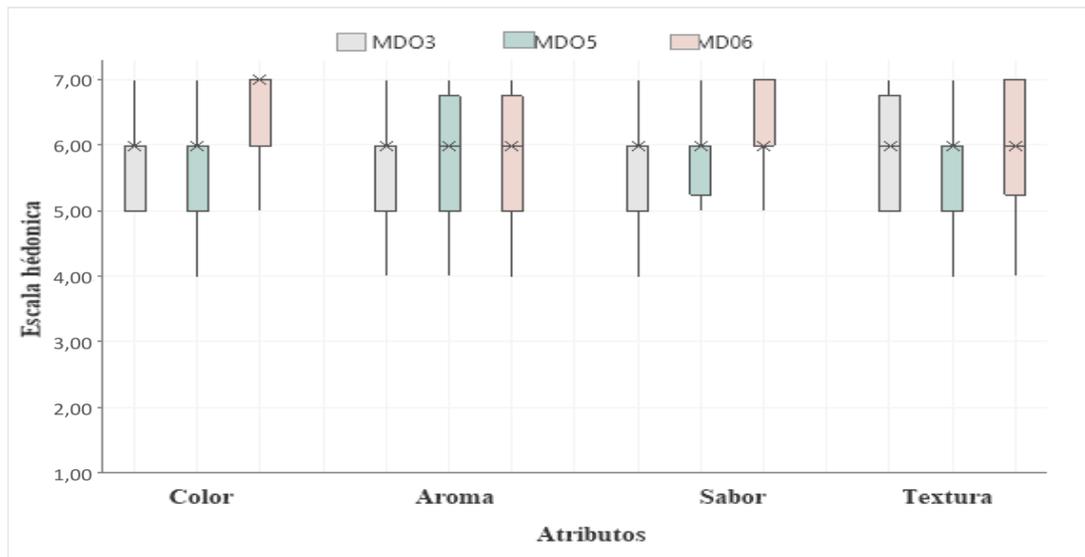
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.6: Formulación de pruebas preliminares de magdalena dosificadas con harina de almendra y quinua

Con las formulaciones de las muestras (MDO3, MDO5 y MDO6), se realiza con jueces no entrenados una evaluación sensorial de escala hedónica de siete puntos valorando los atributos; color, aroma, sabor y textura, con el fin de obtener la muestra de magdalena dosificada con harina de almendra y quinua.

4.2.3.1.1 Estadístico de caja y bigote para pruebas preliminares de magdalenas dosificadas con harina de almendra y quinua

En la figura 4.7, se muestra el estadístico de caja y bigote de datos extraídos del Anexo C, para los atributos color (tabla C.13), aroma (tabla C.16), sabor (tabla C.18) y textura (tabla C.20).



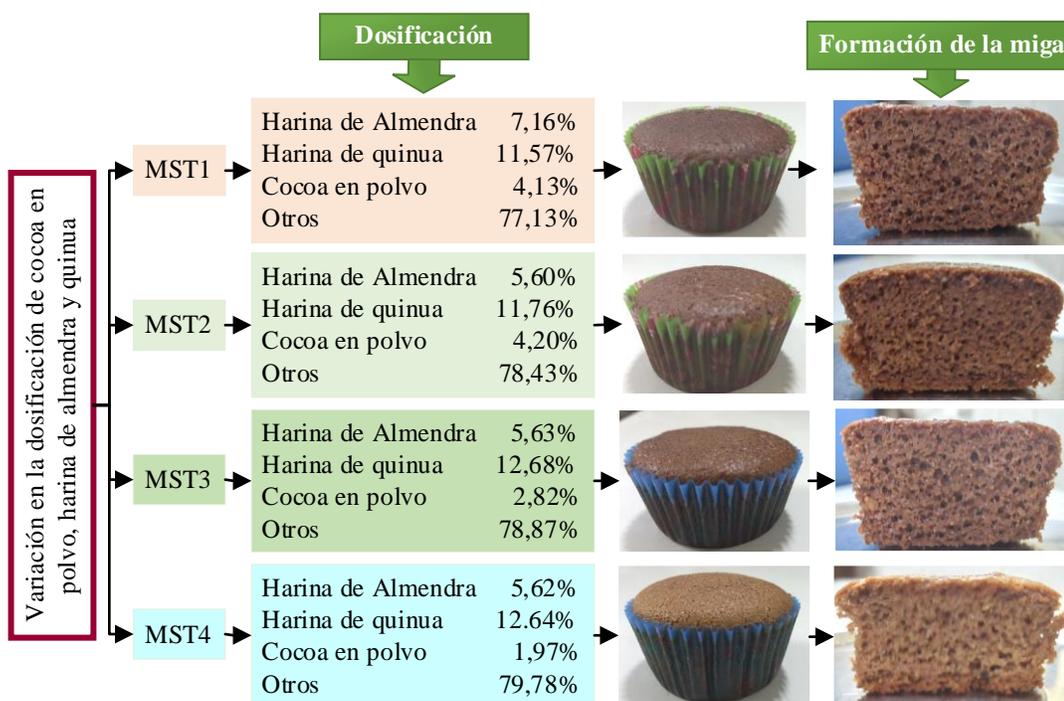
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.7: Caja y bigote de prueba preliminar de magdalena dosificada con harina de almendra y quinua

Se observa en la figura 4.7, que los resultados de las medianas en función de los atributos de las muestras evaluadas: color 7,0 (MDO3); aroma 6,0 (MDO3, MDO5 y MDO6); sabor 6,0 (MDO3, MDO5 y MDO6) y textura 6,0 (MDO3, MDO5 y MDO6). El análisis estadístico de varianza indica que no existe diferencia significativa entre los atributos: aroma, sabor y textura, pero si existe diferencia en el atributo color un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. Sin embargo, las observaciones realizadas por los jueces manifestaron preferencia por la muestra MDO6, por presentar mejor sabor, aroma agradable y textura esponjosa.

4.2.4 Pruebas preliminares incorporando cocoa en polvo en magdalenas sin harina de trigo

Para obtener magdalenas para personas celiacas, este no tiene que contener gluten, por ello se modificó la formulación de la muestra seleccionada (MD06) reemplazando harina de trigo por cocoa en polvo, para tal efecto, se realiza pruebas preliminares variando la dosificación de cocoa en polvo, harina de almendra y quinua obteniendo cuatro muestras que se indica en la figura 4.8.



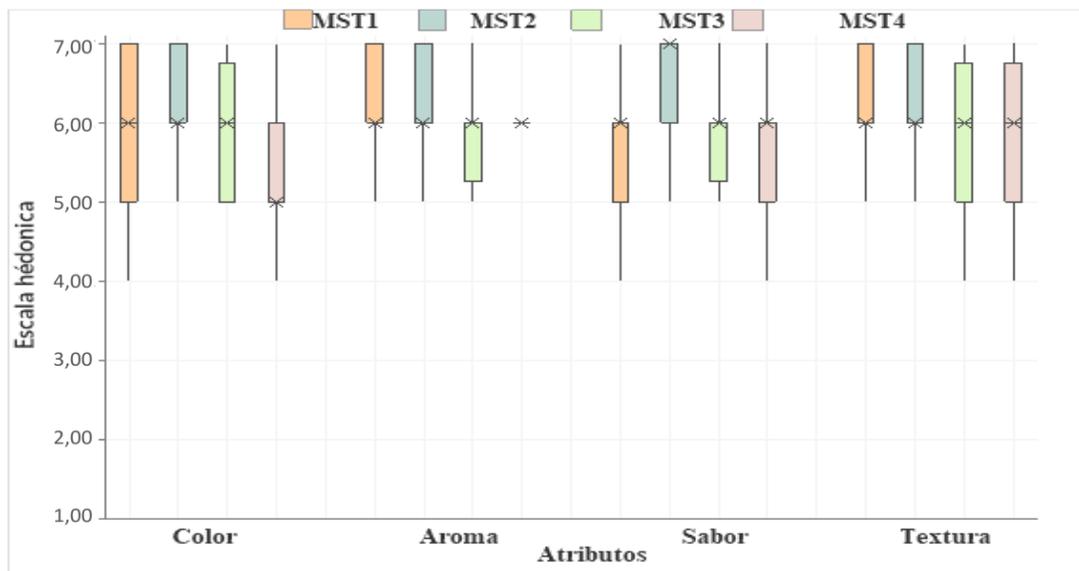
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.8: Variación en la dosificación de cocoa en polvo, harina de almendra y quinua en magdalenas

De acuerdo a las formulaciones de la figura 4.8, se realiza una evaluación sensorial con escala hedónica de siete puntos valorando los atributos; color, aroma, sabor y textura, con la finalidad de obtener muestras preliminares.

4.2.4.1 Estadístico de caja y bigote para pruebas preliminares de magdalenas sin harina de trigo

La figura 4.9 muestra el estadístico de caja y bigote de datos extraídos del Anexo C, para los atributos color (tabla C.22), aroma (tabla C.25), sabor (tabla C.28) y textura (tabla C.31).



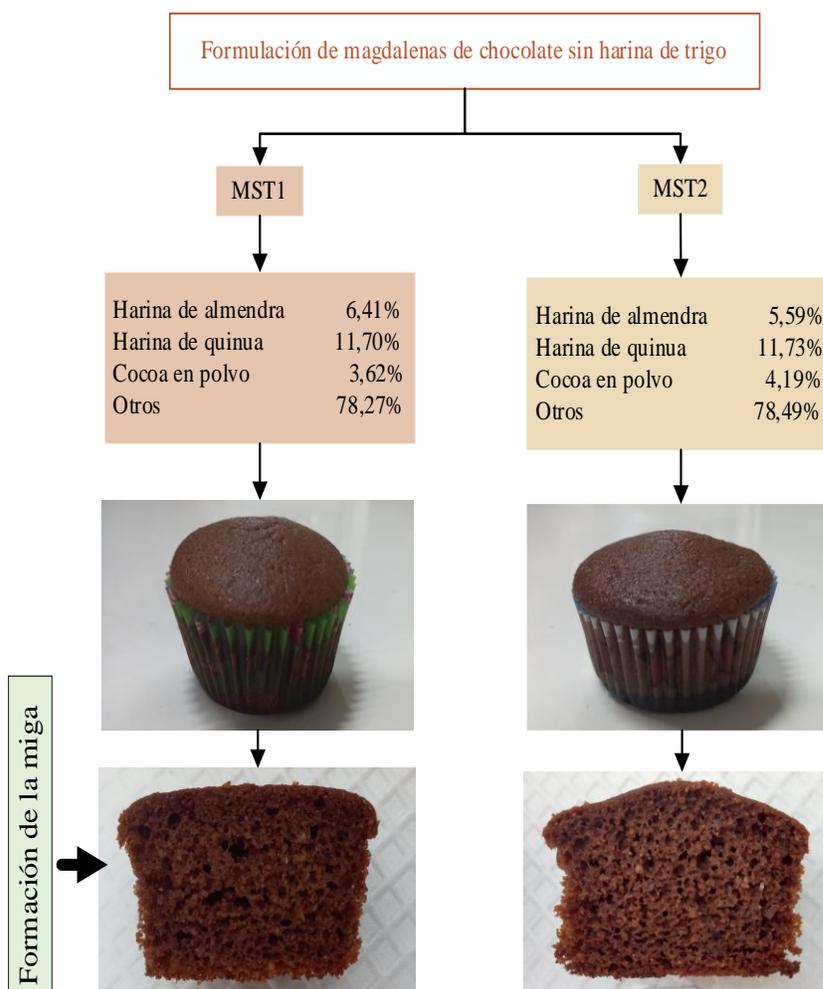
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.9: Caja y bigote para la elección de muestra preliminar de magdalena sin harina de trigo

Según la figura 4.9, se observa que los resultados de las medianas en función de los atributos de las muestras evaluadas son; color 6,0 (MST1, MST2 y MST3); aroma 6,0 (MST1, MST2, MST3 y MST4); sabor 7,0 (MST2) y textura 6,0 (MST1, MST2, MST3 y MST4). El análisis estadístico de varianza indica que no existe diferencia significativa para el atributo textura, pero si existe diferencia en el atributo color, aroma y sabor a un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. Según las valoraciones en las observaciones de los jueces se determina mayor afinidad por las muestras MST1 y MST2, por presentar color y aroma agradable como también al poco residuo amargo en el sabor.

4.2.5 Selección de muestra final de magdalenas de chocolate sin harina de trigo

De las muestras seleccionadas (MST1 y MST2), se modifica las dosificaciones de la harina de almendra y cocoa en polvo; con el fin de mejorar el residuo amargo que deja en la degustación, obteniendo la siguiente formulación que se detalla en la figura 4.10.



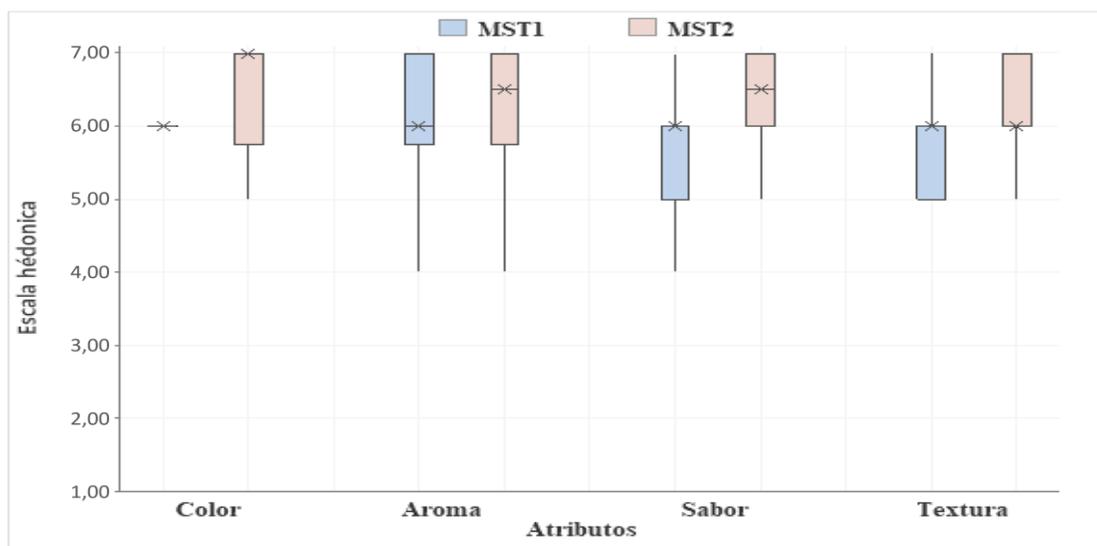
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.10: Formulación de magdalenas de chocolate sin harina de trigo

De acuerdo a las formulaciones mencionadas, se realiza con jueces no entrenados una evaluación sensorial con escala hedónica de siete puntos valorando los atributos; color, aroma, sabor y textura, con el fin de obtener la muestra final.

4.2.5.1 Estadístico de caja y bigote para muestra final de magdalenas de chocolate sin harina de trigo

La figura 4.11 muestra el estadístico de caja y bigote de datos extraídos del Anexo C, para los atributos color (tabla C.33), aroma (tabla C.35), sabor (tabla C.37) y textura (tabla C.40).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.11: Caja y bigote para la selección de muestra final de magdalena de chocolate sin harina de trigo

De acuerdo a la figura 4.11, se observa que los resultados de las medianas en función de los atributos de las muestras evaluadas: color 7,0 (MST2); aroma 6,5 (MST2); sabor 6,5 (MST2) y textura 6,0 (MST2 y MST1). El análisis estadístico de varianza indica que no existe diferencia significativa entre los atributos: color, aroma y textura, pero en cuanto al sabor si existe diferencia significativa para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.2.5.1.1 Estadístico de Tukey para atributo sabor para muestra final de magdalena de chocolate sin harina de trigo

La tabla 4.8 muestra los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo sabor de datos extraídos de Anexo C (tabla C.39).

Tabla 4.8

Estadístico de Tukey para el atributo sabor de pruebas finales de magdalenas de chocolate sin harina de trigo

Tratamientos	N	Media	Agrupación
MST2	18	6,289	A
MST1	18	5,722	B

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la evaluación sensorial realizada para los atributos sensoriales de las pruebas finales de magdalenas de chocolate sin harina de trigo según el análisis estadístico de varianza para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$, se observa que los jueces eligen la prueba MST2 (5,59% harina de almendra, 11,73% harina de quinua y 4,19% cocoa en polvo), por su textura esponjosa, sabor, color y aroma agradable.

También cabe destacar que mediante la evaluación sensorial se solicita a los jueces indicar la muestra con mayor preferencia, obteniendo un resultado: 83,33% para la MST2 y 16,67% para la muestra MST1.

4.2.5.2 Control de humedad, acidez y pH en las pruebas finales de magdalena de chocolate sin harina de trigo

La tabla 4.9 muestra los resultados obtenidos del contenido de humedad, acidez y pH de las muestras MST1 y MST2 utilizando las técnicas que se detallan en el Anexo F; con la finalidad de complementar los resultados de la evaluación sensorial.

Tabla 4.9

Resultado del contenido de humedad, acidez y pH en magdalenas de chocolate sin harina de trigo

Parámetros	Muestras	
	MST1	MST2
Humedad (%)	30,84	33,01
Acidez (%)	0,67	0,54
pH	7,18	7,60

Fuente: Elaboración propia

Observando la tabla 4.9, la muestra MST1 tiene un contenido de humedad del 30,84%, pH de 7,18 y acidez (ácido láctico) del 0,67%, para la muestra MST2 presentó un 33,01% de humedad, 0,54% de acidez y un pH de 7,60%.

4.3 Diseño factorial 2³ en la etapa de dosificación de harina de almendra y quinua para la elaboración de magdalena de chocolate

En base a la muestra ideal (MST2), se procede a realizar de manera experimental el diseño factorial en la etapa de dosificación para elaboración de magdalena de chocolate

con de harina de almendra y quinua, siendo las variables respuesta: el contenido de magnesio y el porcentaje de proteínas.

4.3.1 Variable respuesta del contenido de magnesio en la dosificación de magdalena de chocolate

Para aplicar el diseño experimental, se tomaron en cuenta como variables independientes; los porcentajes de cocoa en polvo (A), harina de almendra (B) y quinua (C); y como variable respuesta el contenido de magnesio en la magdalena, las muestras obtenidas son valoradas en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) y los resultados de cada muestra se muestran en (Anexo A). Así mismo, el análisis estadístico del análisis de varianza de la variable respuesta contenido de magnesio (tabla 4.10), fueron introducidos en el programa STATGRAPHICS Centurión XVI.I para Windows, extraídos del (Anexo E).

Tabla 4.10

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

Fuente de varianza (FV)	Suma de Cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrados Medios (CM)	F _{ecal}	F _{tab}
Factor A	415,14	1	415,14	31,48	*5,12
Factor B	2,81	1	2,81	0,21	5,12
Factor C	17,02	1	17,02	1,29	5,12
Interacción AB	2,33	1	2,33	0,18	5,12
Interacción AC	0,18	1	0,18	0,01	5,12
Interacción BC	41,28	1	41,28	3,13	5,12
Interacción ABC	2,64	1	2,64	0,20	5,12
Error total	105,51	8	13,19	-	-
Total	586,90	15	-	-	-

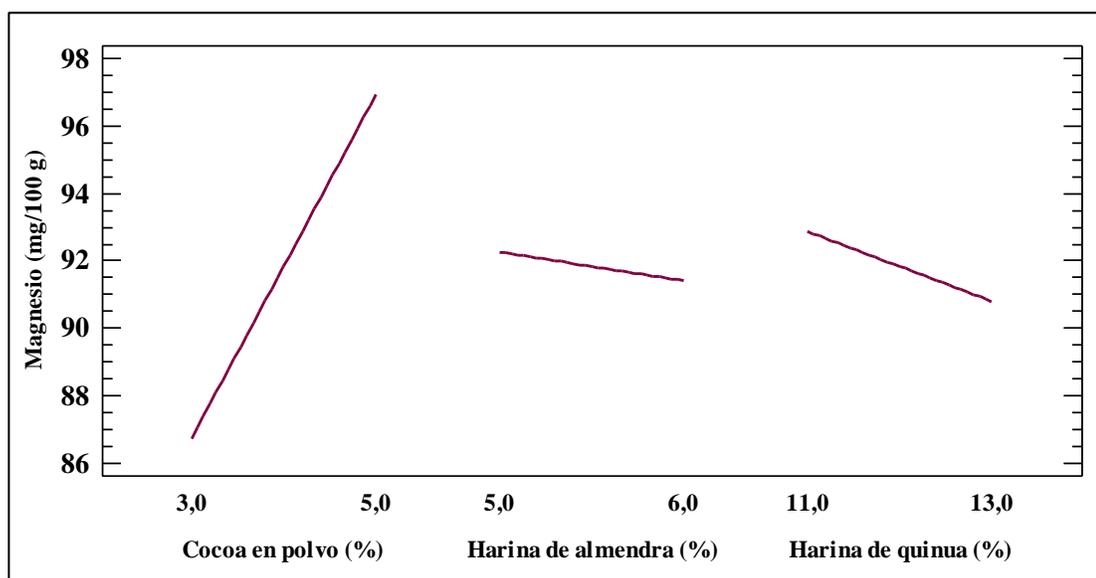
Fuente: Elaboración propia

(*) Significativo

Según el análisis varianza (tabla 4.10), se puede observar que, el factor B (Harina de almendra), factor C (harina de quinua) e interacciones AB (coca en polvo – harina de almendra), AC (cocoa en polvo – harina de quinua), BC (harina de almendra – harina de quinua) y la interacción de los factores ABC (cocoa en polvo – harina de almendra – harina de quinua), no existe diferencia significativa ya que $F_{cal} < F_{tab}$, por tanto, se acepta la hipótesis planteada. Sin embargo, para el factor A (cocoa en polvo), existe

una diferencia significativa, ya que $F_{cal} > F_{tab}$, por tanto, se rechaza la hipótesis planteada y se puede decir que el factor A es significativo en la etapa de dosificación, por lo que se rechaza la hipótesis planteada para un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

En la figura 4.12, se muestra los efectos principales para los factores: A (cocoa en polvo), B (Harina de almendra) y factor C (harina de quinua) con relación a la variable respuesta contenido de magnesio (mg/100g) en magdalena.

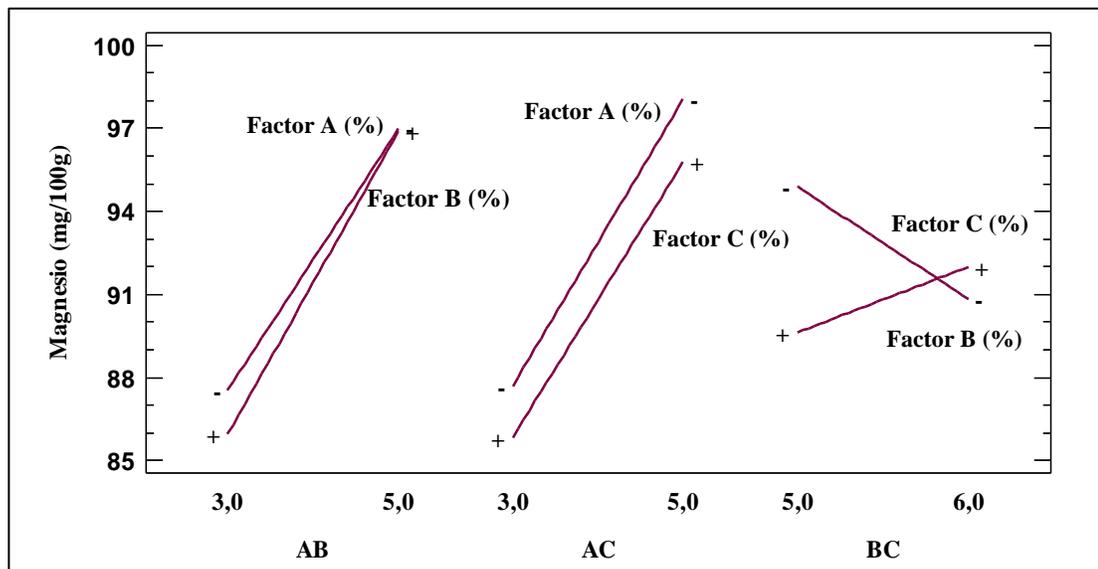


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.12: Efectos principales para el contenido de magnesio

Según la figura 4.12, se puede observar que el factor A (cocoa en polvo) influye significativamente en el contenido de magnesio a medida que aumenta su porcentaje del 3% al 5%, en cambio con los factores B (harina de almendra) y C (harina de quinua), ya que la variación entre los rangos de sus niveles (5 – 6) % y (11 -13) %, no muestra un aumento del contenido de magnesio significativo.

En la figura 4.13, se muestra la interacción para los factores; AB (coca en polvo – harina de almendra), AC (cocoa en polvo – harina de quinua), BC (harina de almendra – harina de quinua) en función de la variable contenido de magnesio.

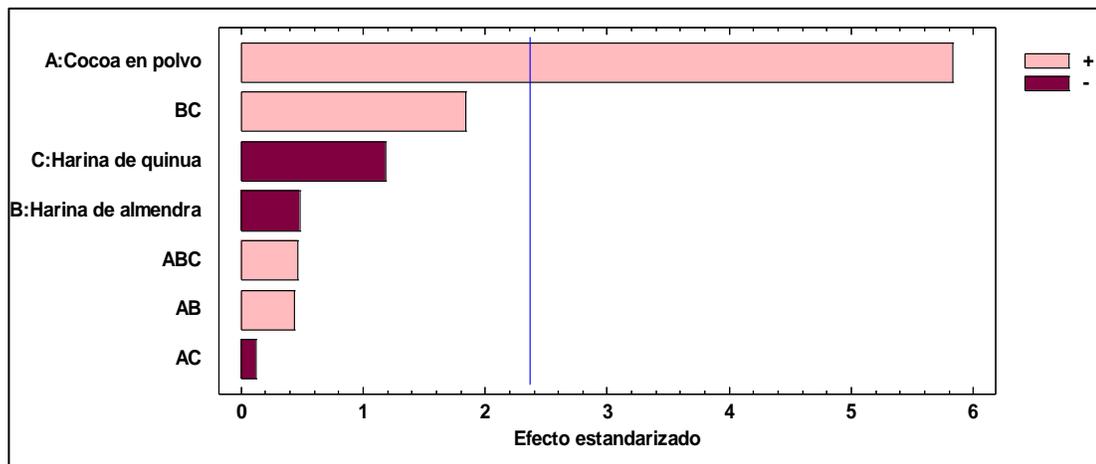


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.13: Interacción de factores para el contenido de magnesio

Según la figura 4.13, se puede observar que el contenido de magnesio para la interacción AB se ve más afectado por el factor A (cocoa en polvo) a un nivel alto (5) % con el factor B (harina de almendra) a un nivel de alto y bajo (5 -6) %, mostrando un alto contenido de magnesio. De la misma manera en la interacción AC, se muestra un alto contenido de magnesio cuando el factor A (cocoa en polvo) se encuentra a un nivel alto y el factor C (harina de quinua) a un nivel alto y bajo (11 - 13) %. En cambio, la interacción BC; a un nivel bajo (5) % del factor B (harina de almendra) y un nivel bajo (11) % del factor C (harina de quinua) se da un mayor contenido de magnesio, pero no de la misma manera que las interacciones de AB y AC. Para un nivel alto (6) % del factor B (harina de almendra) y un nivel alto y bajo (11 - 13) % del factor C (harina de quinua) no hay un aumento significativo del contenido de magnesio.

La figura 4.14 muestra el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en el diseño factorial. Para tal efecto, el nivel de significancia de los factores e interacciones se determina con la vertical de referencia con el valor de (2,40), de tal manera que si las barras graficadas exceden la línea de referencia indican que son significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.14: Diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de magnesio

Según la figura 4.14, se observa que el factor A (cocoa en polvo), sobrepasa la línea de referencia, por tanto, es estadísticamente significativo para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$; en comparación con los factores B (harina de almendra), C (harina de quinua) y las interacciones AB (cocoa en polvo – harina de almendra), AC (cocoa en polvo – harina de quinua), BC (harina de almendra – harina de quinua) y ABC (cocoa en polvo – harina de almendra – harina de quinua) que no son estadísticamente significativos, ya que no pasan la línea de referencia.

4.3.2 Variable respuesta del porcentaje de proteína en la dosificación de magdalena de chocolate

Para aplicar el diseño experimental, se tomaron en cuenta como variables independientes, los porcentajes de cocoa en polvo (A), harina de almendra (B) y quinua (C), y como variable respuesta el porcentaje de proteína en magdalenas. Las muestras obtenidas son valoradas en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) y los resultados de cada muestra se muestran en el Anexo A. El análisis estadístico del análisis de varianza de la variable respuesta porcentaje de proteína (tabla 4.11), son introducidos en el programa STATGRAPHICS Centurión XVI.I para Windows y los resultados son detallados en el Anexo E.

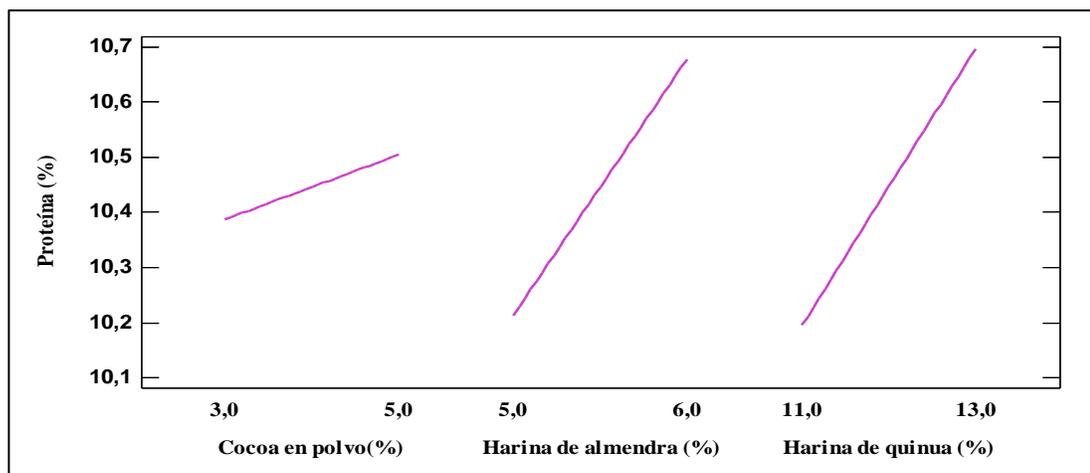
Tabla 4.11*Análisis de varianza en función de la variable respuesta porcentaje de proteína*

Fuente de varianza (FV)	Suma de Cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrados Medios (CM)	F _{ecal}	F _{tabl}
Factor A	0,05	1	0,05	0,06	5,12
Factor B	0,86	1	0,86	0,96	5,12
Factor C	1,01	1	1,01	1,12	5,12
Interacción AB	0,50	1	0,50	0,55	5,12
Interacción AC	0,62	1	0,62	0,69	5,12
Interacción BC	1,52	1	1,52	1,69	5,12
Interacción ABC	0,50	1	0,50	0,56	5,12
Error total	7,22	8	0,90	-	-
Total	12,29	15	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

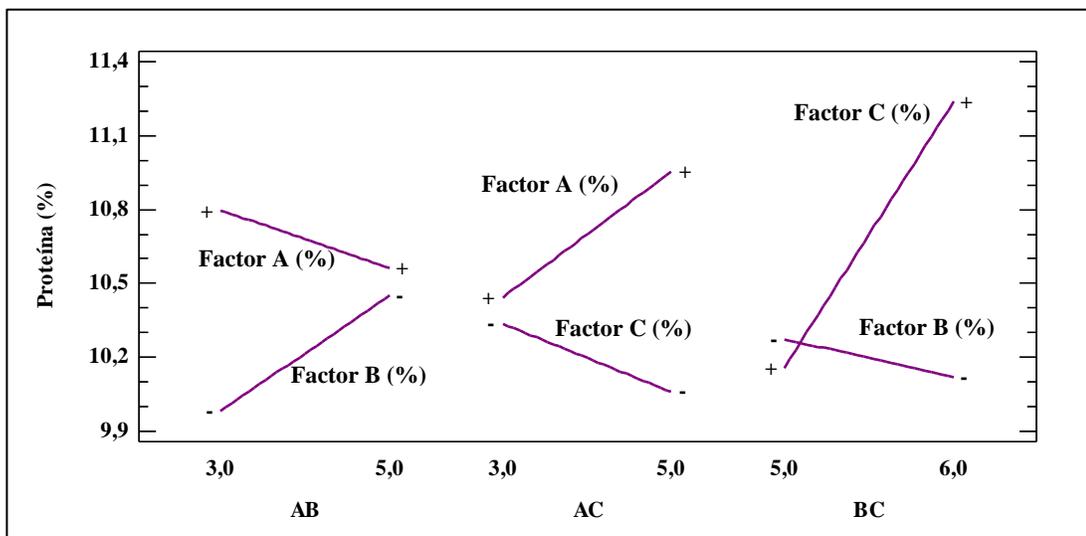
Según el análisis de varianza (tabla 4.11), se puede observar que para los factores (A, B y C) como para las interacciones (AB, AC, BC y ABC); $F_{cal} < F_{tab}$, por lo tanto, no existe una evidencia estadística de variación para los factores analizados en la etapa de dosificación en función de la variable respuesta porcentaje de proteína, de tal manera que, se acepta la hipótesis planteada para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

La figura 4.15, muestra los efectos principales para los factores: A (cocoa en polvo), B (harina de almendra) y factor C (harina de quinua) con relación a la variable respuesta porcentaje de proteína (%).

**Fuente:** Elaboración propia**Figura 4.15:** Efectos principales para el porcentaje de proteína

Según la figura 4.15, se puede observar que el factor A (cocoa en polvo) influye levemente sobre el porcentaje de proteína (%) para un rango de (3,0 – 5,0) %, pero en comparación con los factores B (harina de almendra) y C (harina de quinua); con una variación entre los rangos de sus niveles (5 – 6) % y (11 -13) %, hay una mayor influencia significativa sobre el porcentaje de proteína.

La figura 4.16 muestra la interacción para los factores; AB (cocoa en polvo – harina de almendra), AC (cocoa en polvo – harina de quinua), BC (harina de almendra – harina de quinua) en función de la variable del porcentaje de proteína.



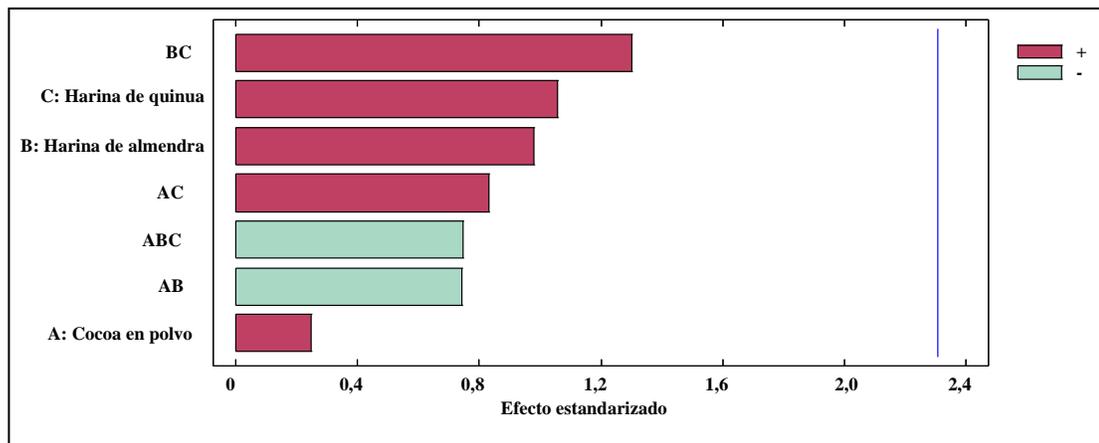
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.16: Interacción de factores para el porcentaje de proteína

Según la figura 4.16, se puede observar que para la interacción AB; a un nivel bajo (5) % del factor B (harina de almendra) y un nivel bajo (3) % del factor A (cocoa en polvo) el porcentaje de proteína es bajo, pero cuando el factor A está a un nivel alto (5)% aumenta el porcentaje de proteína. En cambio, el porcentaje de proteína para la interacción AC; a un nivel bajo (11) % del factor C (harina de quinua) va disminuyendo a medida que aumenta el porcentaje del factor A (cocoa en polvo), pero cuando el factor C está a un nivel alto (13) % aumenta el porcentaje de proteína a medida con el incremento del porcentaje del Factor A del 3% al 5%. Del mismo modo en la interacción BC; a un nivel bajo (5) % del factor B (harina de almendra) y un nivel alto

y bajo (11 – 13) % del factor C (harina de quinua) presenta un porcentaje de proteína bajo, mientras que, cuando el factor B está a un nivel alto (6) % y de igual manera el factor C con el nivel alto (13) % del factor C el porcentaje de proteína tiende a ser mayor.

La figura 4.17 muestra el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en el diseño factorial. Para tal efecto, el nivel de significancia de los factores e interacciones se determina con la vertical de referencia con el valor de (2,30), de tal manera que si las barras graficadas exceden la línea de referencia indican que son significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.17: Diagrama de Pareto estandarizado para el porcentaje de proteína

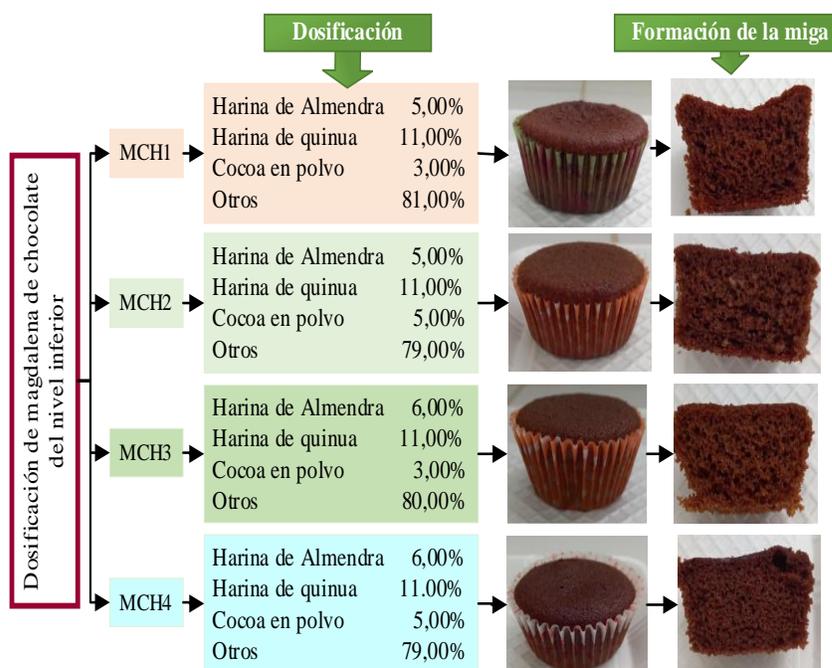
Según la figura 4.17, se puede observar que los factores A (cocoa en polvo), B (harina de almendra), C (harina de quinua) y las interacciones AB (cocoa en polvo – harina de almendra), AC (cocoa en polvo – harina de quinua), BC (harina de almendra – harina de quinua) y ABC (cocoa en polvo – harina de almendra – harina de quinua) no son estadísticamente significativos, ya que no pasan la línea de referencia para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.4 Selección de muestra de magdalena de chocolate en función de la dosificación del diseño factorial

Experimentalmente, en base al diseño factorial en la etapa de dosificación se procede a realizar la selección de magdalenas en función del factor de harina de quinua del nivel inferior y superior en cuanto se refiere a los porcentajes utilizados entre (11 – 13) %; con la finalidad de modificar la muestra ideal de magdalena.

4.4.1 Selección de muestra de magdalena de chocolate del nivel inferior del diseño experimental

En base al diseño factorial en el proceso de dosificación, se toma cuatro muestras de magdalenas en función del porcentaje de harina de quinua con el fin identificar el efecto de la dosificación del porcentaje de harina en el nivel inferior, detalle que se observa en la figura 4.18.



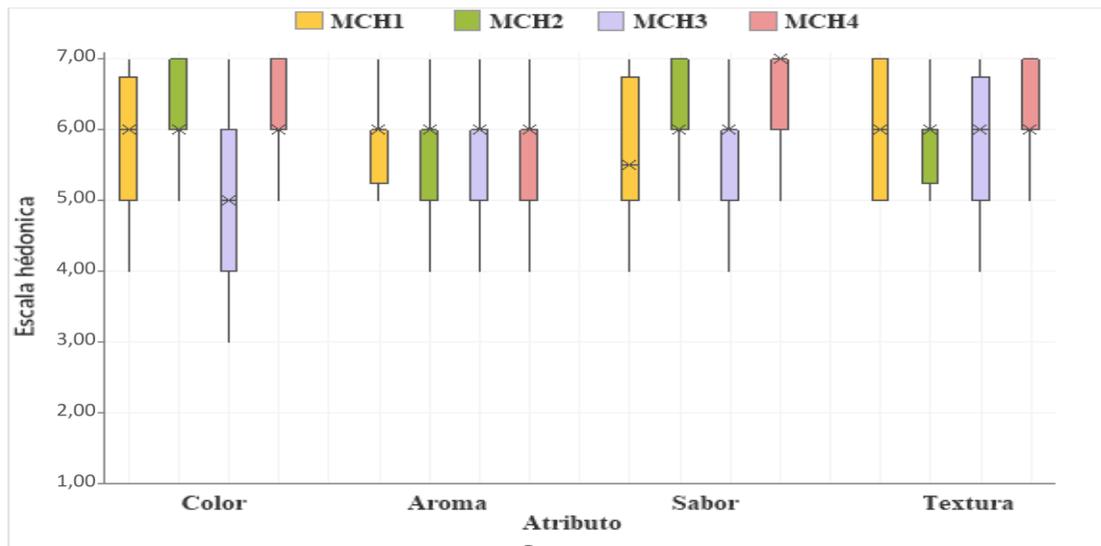
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.18: Dosificación de magdalenas de chocolate del nivel inferior

De acuerdo a las dosificaciones mencionadas, se procedió a realizar una evaluación sensorial de escala hedónica de siete puntos, con el fin de seleccionar una muestra de magdalena de chocolate del nivel inferior.

4.4.1.1 Estadístico de caja y bigote en magdalenas de chocolate del nivel inferior del diseño experimental

La figura 4.19 muestra el estadístico de caja y bigote de datos extraídos del Anexo C, para los atributos color (tabla C.43), aroma (tabla C.46), sabor (tabla C.48) y textura (tabla C.51).



Fuente: Elaboración propia

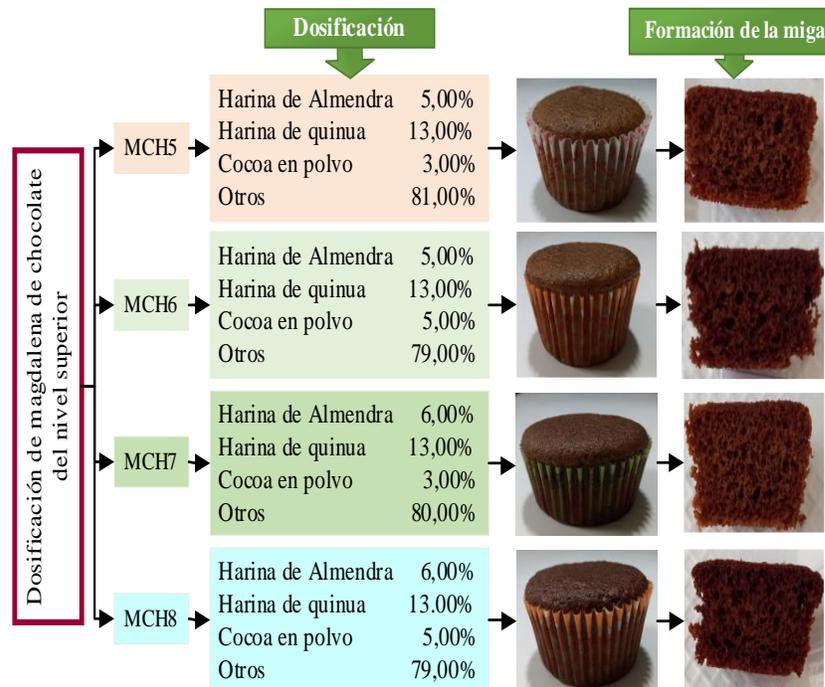
Figura 4.19: Caja y bigote para la selección de muestra de magdalena de chocolate del nivel inferior

Según la figura 4.19, se observa que los resultados de las medianas en función de los atributos de las muestras evaluadas; color 6,0 (MCH1, MCH2 y MCH4); aroma 6,0 (MCH1, MCH2, MCH3 y MCH4); sabor 7,0 (MCH4) y textura (6,0 (MCH1, MCH2, MCH3 y MCH4)). Realizando el análisis estadístico de varianza no existe diferencia significativa entre los atributos: aroma y textura, pero en cuanto al atributo color y sabor, si existe diferencia significativa para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$, ver (Anexo C).

4.4.2 Selección de muestra de magdalena de chocolate del nivel superior del diseño experimental

En base al diseño factorial en el proceso de dosificación, se tomaron cuatro muestras de magdalenas en función del porcentaje de harina de quinua con el fin identificar el

efecto de la dosificación del porcentaje de harina en el nivel superior, detalle que se muestra en la figura 4.20.



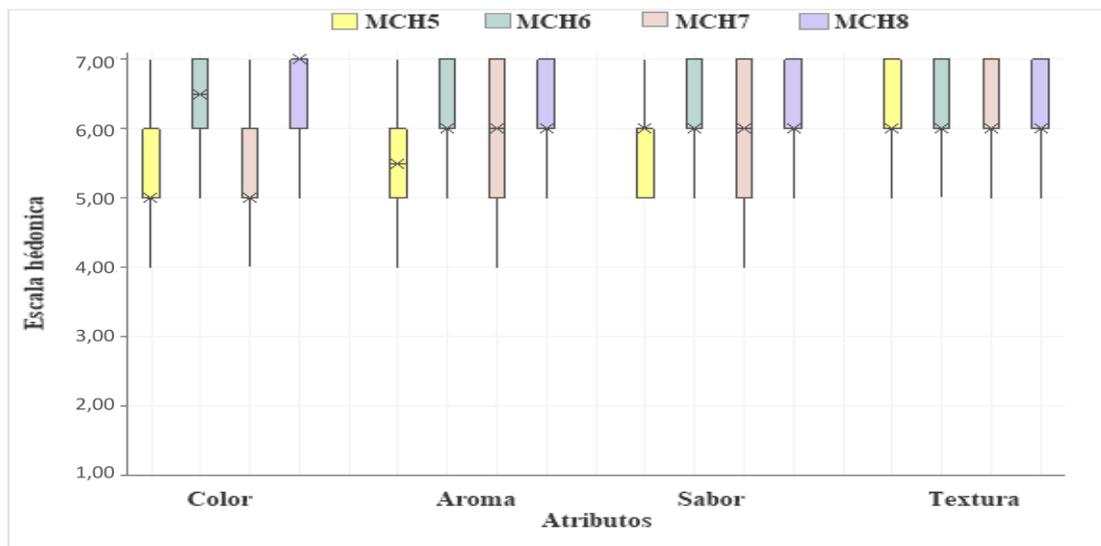
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.20: Dosificación de magdalenas de chocolate del nivel superior

De acuerdo a las dosificaciones mencionadas, se procede a realizar una evaluación sensorial de escala hedónica de siete puntos, con el fin de seleccionar una muestra de magdalena de chocolate del nivel inferior.

4.4.2.1 Estadístico de caja y bigote en de magdalenas de chocolate del nivel superior del diseño experimental

La figura 4.21 muestra el estadístico de caja y bigote, datos extraídos del Anexo C, para los atributos: color (tabla C.53), aroma (tabla C.56), sabor (tabla C.58) y textura (tabla C.60).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.21: Caja y bigote para la selección de muestra de magdalena de chocolate del nivel superior

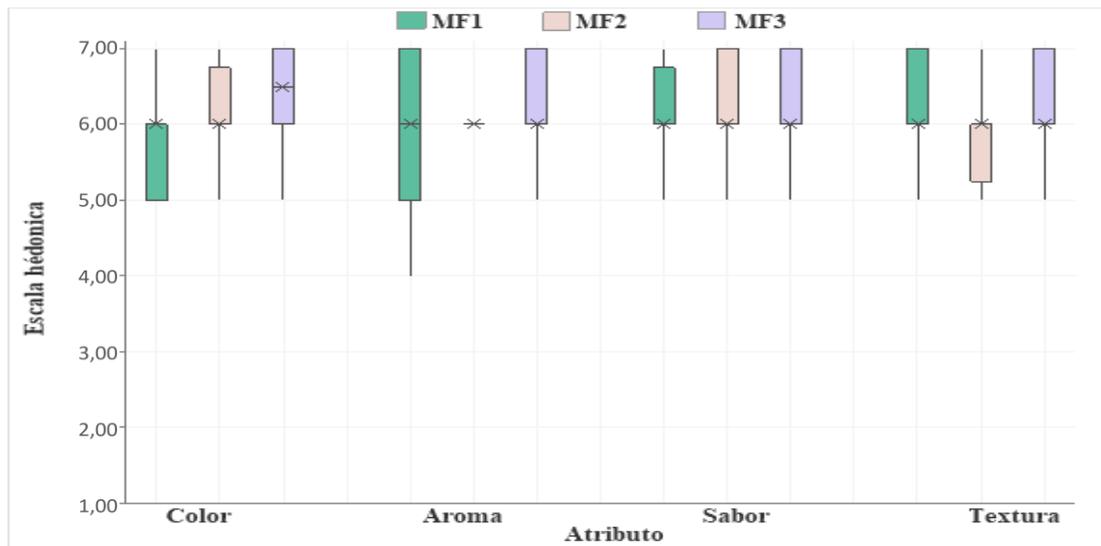
De acuerdo a la figura 4.21, se observa que los resultados de las medianas en función de los atributos de las muestras evaluadas son; color 7,0 (MCH8); aroma 6,0 (MCH6, MCH7 y MCH8); sabor 6,0 (MCH5, MCH6, MCH7 y MCH8) y textura 6,0 (MCH1, MCH2, MCH3 y MCH4). Realizando el análisis estadístico de varianza no existe diferencia significativa entre los atributos: sabor y textura, pero en cuanto al atributo color y aroma si existe diferencia significativa para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.5 Selección de producto final de magdalena a partir de harina de almendra y quinua con alto contenido de magnesio

Realizada la evaluación sensorial se selecciona las muestras (MCH4 y MCH8) del diseño factorial que presentan diferencia significativa según el análisis estadístico y mayor preferencia por parte de las valoraciones de los jueces. Estas dos muestras (MCH4 y MCH8) se cambia su codificación por MF2 y MF3 y son valoradas con la muestra ideal (MST2) el cual cambia la codificación por MF1. Así mismo, se utiliza un test de escala hedónica de siete puntos con la finalidad de elegir el producto final.

4.5.1 Estadístico de caja y bigote para comparar muestra experimental e ideal de magdalena con alto contenido de magnesio

La figura 4.22 muestra los estadísticos de caja y bigote de datos extraídos del Anexo C, para el atributo: color (tabla C.62), aroma (tabla C.65), sabor (tabla C.67) y textura (tabla C.69).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.22: Caja y bigote para elegir muestra de magdalena del diseño experimental

Según la figura 4.22, se observa que los resultados de las muestras para los atributos de; color 6,5 (MF3); aroma 6,0 (MF1, MF2 y MF3); sabor 6,0 (MF1, MF2 y MF3) y textura 6,0 (MF1, MF2 y MF3). Realizando el análisis estadístico de varianza no existe diferencia significativa entre los atributos: aroma, sabor y textura, pero en cuanto al color si existe diferencia significativa para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. Así mismo, se realiza la prueba de TUKEY para el atributo color presentando a la muestra MF3 como significativamente diferente.

Para seleccionar el producto final, se observa en la caja y bigote que la muestra MF1 que en cuanto a los atributos aroma, sabor y textura hay mayor preferencia por los jueces, pero no para el atributo color, de tal manera que se consideró el porcentaje de

cocoa en polvo de la muestra MF3 para aplicar a la muestra MF1, cambiando su porcentaje de cocoa en polvo del 4,19 % al 5%.

4.6 Diseño factorial 2² en la etapa de horneado de magdalena de chocolate

Para aplicar el diseño experimental, en el proceso de horneado se toma en cuenta como variables independientes: tiempo de horneado (A) entre un rango (15 - 20) minutos y temperatura de horneado (B) entre (180 - 200) °C y como variable respuesta el contenido de humedad final en base húmeda, se utiliza el método de la termobalanza, metodología que se detalla en el Anexo F, así mismo, el diseño experimental se aplica en la muestra (MF1) cuya formulación es en base a la tabla 4.12.

Tabla 4.12

Formulación porcentual del producto final para diseño experimental

Materia prima/insumo	Cantidad	Unidad
Harina de almendra	5,52	%
Harina de quinua	11,60	%
Cocoa en polvo	5,00	%
Otros	77,88	%

Fuente: Elaboración propia.

En base al diseño experimental en la etapa de horneado, se realiza el análisis estadístico de la variable respuesta contenido de humedad (tabla 4.13) en el programa estadístico STATGRAPHICS centurión XVI.I, para Windows, los resultados obtenidos se detallan en el Anexo E.

Tabla 4.13

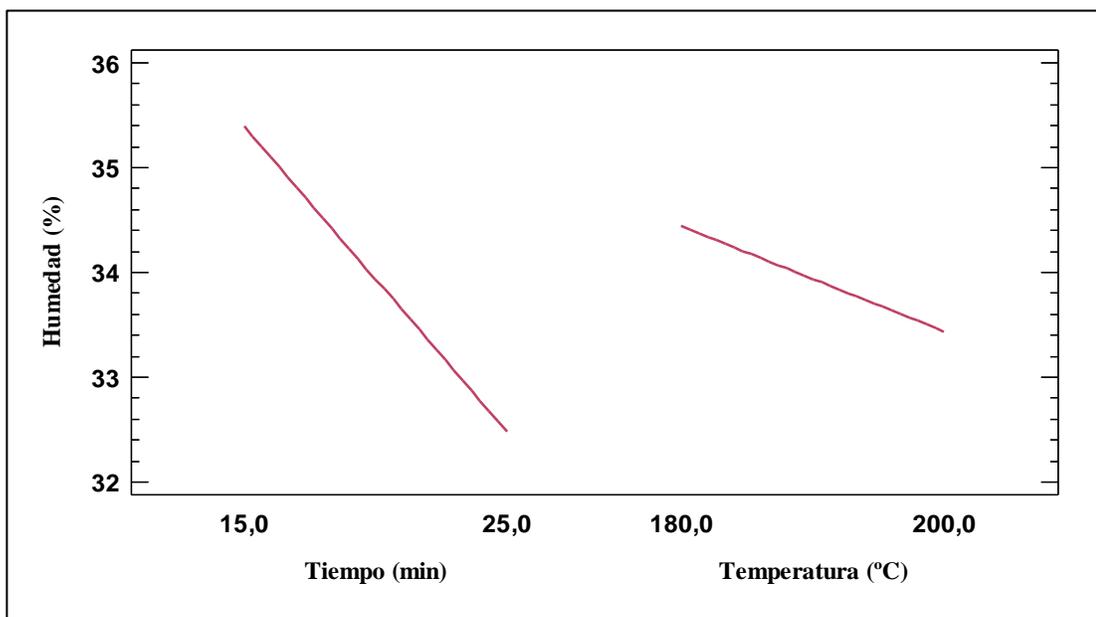
Análisis de varianza en función de la variable respuesta contenido de humedad

Fuente de varianza (FV)	Suma de Cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrados Medios (CM)	F _{cal}	F _{tabl}
Factor A	16,99	1	16,99	3,96	7,71
Factor B	2,02	1	2,02	0,47	7,71
Interacción AB	1,20	1	1,20	0,28	7,71
Error total	17,18	4	4,30	-	-
Total	37,40	7	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

Según el análisis de varianza (tabla 4.13), se puede observar que tanto para los factores (A y B) como para la interacción (AB); $F_{cal} < F_{tab}$, por lo tanto, no existe una evidencia estadística de variación para los factores analizados en la etapa de horneado en función de la variable respuesta contenido de humedad, de tal manera que, se acepta la hipótesis planteada para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

La figura 4.23 muestra los efectos principales para los factores: A (tiempo) y B (temperatura) con relación a la variable del porcentaje del contenido de humedad (%).

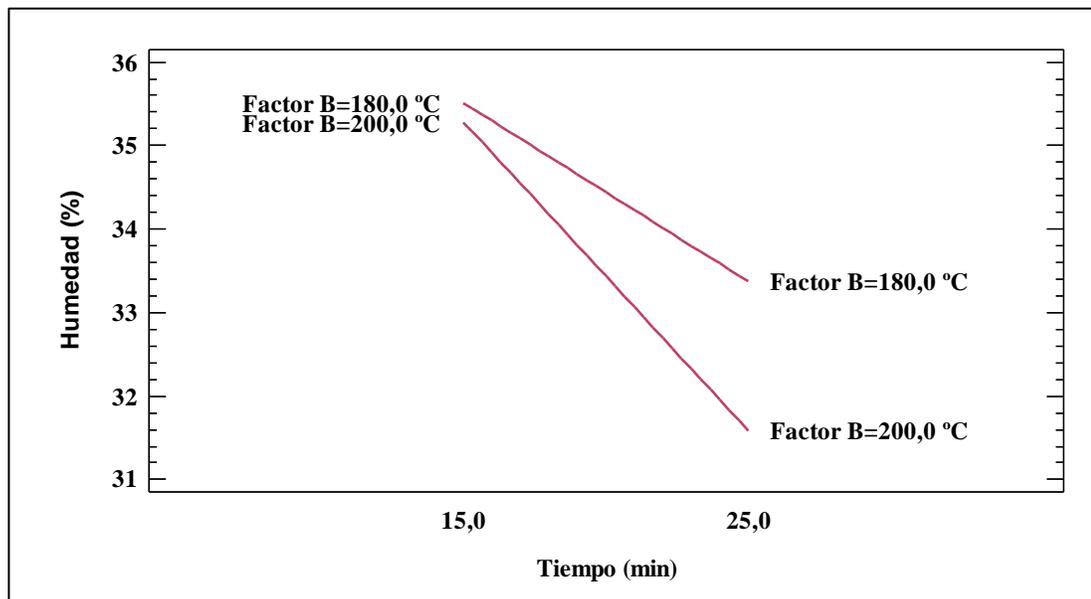


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.23: Efectos principales para el contenido de humedad en el horneado

Según la figura 4.23, se puede observar que el factor A (tiempo) influye significativamente sobre la variable respuesta contenido de humedad (%) para un rango de (15 – 25) minutos, por lo tanto, para un nivel alto del factor A, disminuye el contenido de humedad de la magdalena, mientras que el factor B (temperatura) influye levemente sobre el contenido de humedad, a un nivel alto, disminuyendo el contenido de humedad.

La figura 4.24 muestra la interacción para los factores; A (tiempo) y B (temperatura) en función de la variable respuesta contenido de humedad.

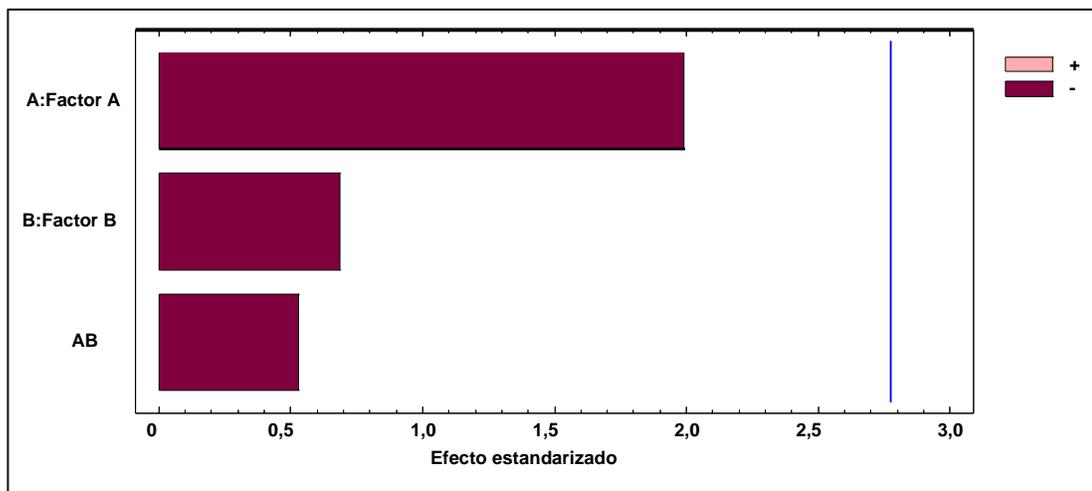


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.24: Interacción de factores para el contenido de humedad en el horneado

Según la figura 4.24, se observa que el contenido de humedad para un rango de tiempo entre (15 - 25) minutos para el nivel alto del factor B (temperatura) la humedad de la magdalena oscila entre (31,5 - 35) %, mientras que un nivel bajo (180) °C del factor B en un tiempo entre (15 - 25) minutos la humedad tiende a ser mayor, de tal manera que a menor tiempo y temperatura la humedad tiende a aumentar.

En la figura 4.25, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en el diseño factorial. Para tal efecto, el nivel de significancia de los factores e interacciones se determina con la vertical de referencia con el valor de (2,77), de tal manera que si las barras graficadas exceden la línea de referencia indican que son significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.25: Diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de humedad en el horneado

Según la figura 4.25, se puede observar que los factores A (tiempo), B (temperatura) y la interacción AB (tiempo – temperatura), no sobrepasan la línea de referencia por lo que no son estadísticamente significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

De acuerdo al análisis estadístico realizado en la etapa de horneado, se puede evidenciar que el factor A (tiempo), se acerca a la línea de referencia de Pareto, por tanto, se puede considerar como significativo, obteniendo así el tiempo y temperatura óptimo para el horneado de magdalenas de chocolate.

4.7 Caracterización del producto terminado

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

4.7.1 Análisis fisicoquímico en la magdalena de chocolate

La tabla 4.14 detalla los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de magdalenas de chocolate datos extraídos del Anexo A.

Tabla 4.14*Análisis fisicoquímico de la magdalena de chocolate*

Parámetros	Unidad	Resultado
Hidratos de carbono	%	34,01
Gluten húmedo	%	n.d.
Fibra	%	0,21
Cenizas	%	3,17
Humedad	%	28,95
Proteína	%	9,63
Materia grasa	%	24,03
Valor energético	Kcal/100g	390,83

Fuente: CEANID, 2022

La tabla 4.14, indica los resultados del análisis fisicoquímico de la magdalena de chocolate: hidratos de carbono 34,01%, gluten húmedo n.d., fibra 0,21%, cenizas 3,17%, humedad 28,95%, proteína 9,63%, materia grasa 24,03% y valor energético 390,83 kcal/100g.

4.7.2 Análisis de minerales de la magdalena de chocolate

La tabla 4.15 detalla los resultados obtenidos del análisis del contenido de minerales en la magdalena de chocolate y los cuales fueron extraídos del Anexo A.

Tabla 4.15*Análisis de minerales en magdalena de chocolate*

Minerales	Unidad	Resultado
Calcio	mg/100g	293,00
Magnesio	mg/100g	73,70
Potasio	mg/100g	519,00

Fuente: CEANID, 2022

La tabla 4.15 muestra los resultados del análisis de minerales en la magdalena de chocolate: calcio 293,00 mg/100g, magnesio 73,70 mg/100g y potasio 519,00 mg/100g.

4.7.3 Análisis microbiológico en la magdalena de chocolate

La tabla 4.16 indica los resultados obtenidos de los análisis microbiológicos de la magdalena de chocolate, datos extraídos del Anexo A.

Tabla 4.16***Análisis microbiológico en la magdalena de chocolate***

Microorganismos	Unidad	Resultado
Mohos y levaduras	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$
Coliformes totales	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$
Coliformes fecales	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$

Fuente: CEANID, 2022

En la tabla 4.16, se observa los resultados de los análisis microbiológicos de magdalena de chocolate: mohos y levaduras $<1,0 \times 10^1$ UFC/g, coliformes totales $<1,0 \times 10^1$ UFC/g y coliformes fecales $<1,0 \times 10^1$ UFC/g indicando que no se observó desarrollo de colonias.

4.8 Control de pH, acidez y contenido de humedad en magdalenas de chocolate durante el almacenamiento

Para llevar a cabo el control de pH, acidez (ácido láctico) y contenido de humedad durante el almacenamiento, se elabora dos muestras (MF1C y MF1S) en base a la formulación del producto final, donde la muestra (MF1C) contiene como conservante propionato de calcio y la otra muestra no lleva conservante (MF1S), ambas son envasadas con papel celofán y se realiza un control diario de las muestras exceptuando feriados y fines de semana.

4.8.1 Control de acidez en magdalena de chocolate durante el almacenamiento

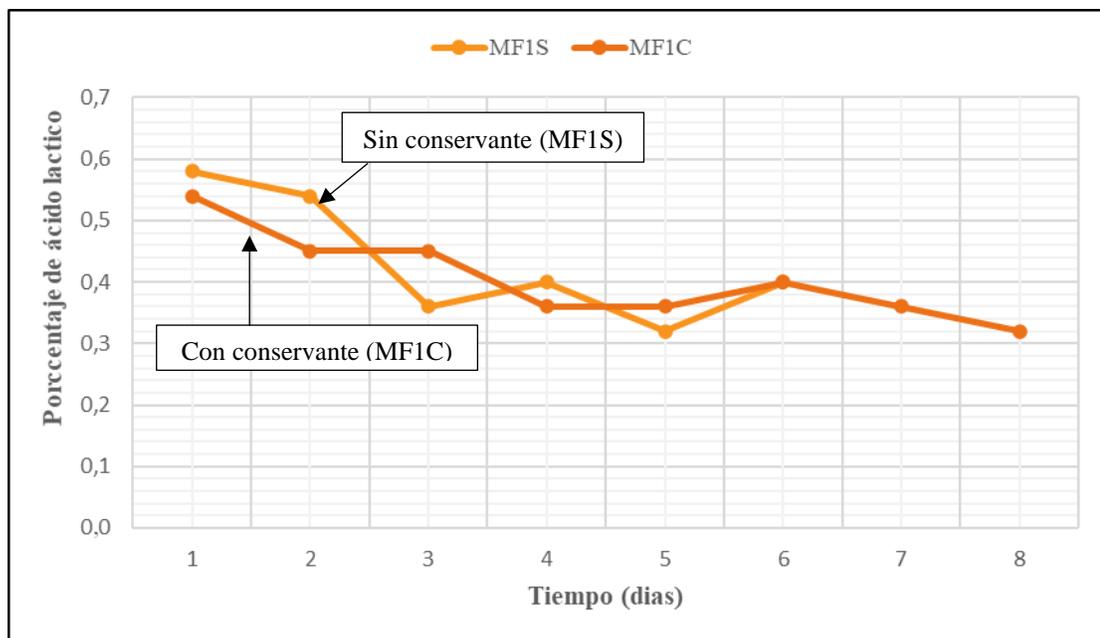
La tabla 4.17 muestra los resultados obtenidos de la variación de acidez (ácido láctico) en las muestras de magdalenas de chocolate sin conservante (MF1S) y con conservante (MF1C); en función del tiempo de almacenamiento, datos extraídos de Anexo G.

Tabla 4.17**Control de acidez en magdalena de chocolate en el almacenamiento**

Tiempo (días)	Acidez (ácido láctico)	
	MF1S	MF1C
1	0,58	0,54
2	0,54	0,45
3	0,36	0,45
4	0,40	0,36
5	0,32	0,36
6	0,40	0,40
7	-	0,36
8	-	0,32

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.26, se muestra el control de acidez (ácido láctico) de magdalenas de chocolate durante el almacenamiento en base a los datos de la tabla 4.17.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.26: Control de acidez en magdalenas de chocolate durante el tiempo de almacenamiento

Según la figura 4.26, las muestras MF1S y MF1C presentaron el primer día un valor de acidez inicial de 0,59% (MF1S) y 0,54% (MF1C), para el segundo día ambas muestras empiezan a tener descenso de acidez, donde la muestra MF1S llega un valor

acidez final de 0,40% para el sexto día, en cambio la muestra MF1C llego a un valor de acidez final de 0,32% para el octavo día.

Por lo tanto, el valor de acidez (ácido láctico) en las magdalenas durante el almacenamiento va descendiendo, pero para la muestra MF1C el descenso de acidez es más evidente, por lo que se puede decir que el propionato de calcio influye sobre el valor de la acidez de la muestra.

4.8.2 Control de pH en magdalenas de chocolate durante el almacenamiento

La tabla 4.18 muestra los resultados obtenidos de la variación de pH en magdalenas de chocolate sin conservante (MF1S) y con conservante (MF1C); en función del tiempo de almacenamiento de datos extraídos del Anexo G.

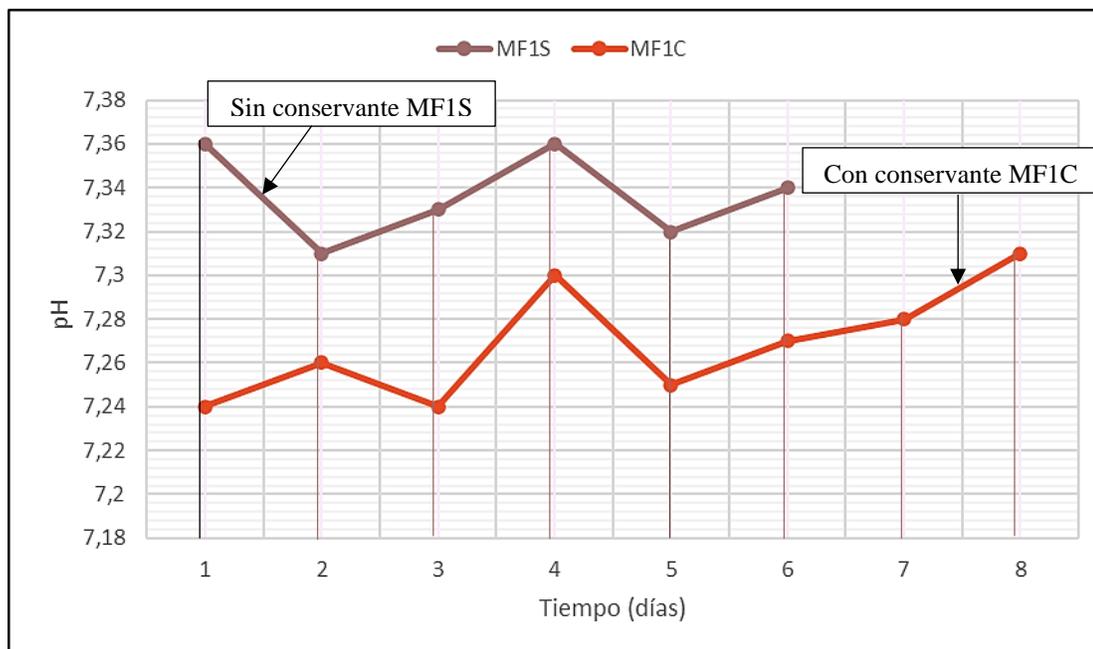
Tabla 4.18

Variación de pH en magdalena de chocolate durante el almacenamiento

Tiempo (días)	pH	
	MF1S	MF1C
1	7,36	7,24
2	7,31	7,26
3	7,33	7,24
4	7,36	7,3
5	7,32	7,25
6	7,34	7,27
7	-	7,28
8	-	7,31

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.27, se muestra el control de pH de magdalenas de chocolate durante el almacenamiento en base a los resultados de la tabla 4.18.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.27: Control de pH en magdalenas de chocolate durante el tiempo de almacenamiento

Según la figura 4.27, las muestras MF1S y MF1C, presentaron al primer día un valor de pH de 7.36 (MF1S) y 7,24 (MF2C), para el segundo día la muestra MF1S presentan un descenso de acidez y en los siguientes días presentan variación en los valores de pH hasta llegar a un valor final de 7,34. Sin embargo la muestra MS1C tiende a ascender el valor pH hasta 7,31 en el octavo día.

De tal manera, que el control de pH en la muestra MF1S llega a descender su valor de pH de 7,36 a 7.31, en cambio la muestra MF1C aumenta el valor de pH de 7,24 a 7,34, por lo que se puede decir que el propionato de calcio regula el pH tendiendo un mayor tiempo de conservación.

4.8.3 Control del contenido de humedad en magdalena de chocolate durante el almacenamiento

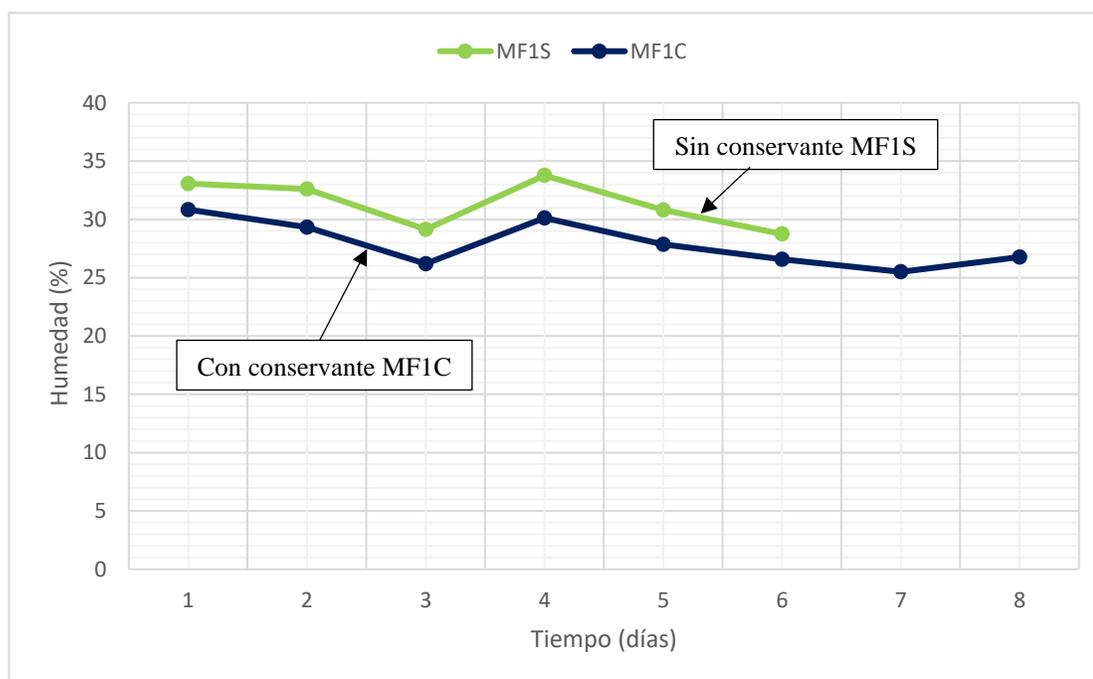
La tabla 4.19 muestra los resultados obtenidos de la variación del contenido de humedad en magdalenas de chocolate sin conservante (MF1S) y con conservante (MF1C); en función del tiempo de almacenamiento, datos extraídos del Anexo G.

Tabla 4.19**Control del contenido de humedad en magdalena de chocolate durante el almacenamiento**

Tiempo (días)	Humedad (%)	
	MF1S	MF1C
1	33,08	30,84
2	32,60	29,32
3	29,13	26,20
4	33,77	30,13
5	30,81	27,86
6	28,75	26,57
7	-	25,50
8	-	26,76

Fuente: Elaboración propia.

La figura 4.28 muestra el control del contenido de humedad en magdalenas de chocolate durante el almacenamiento en base a los datos de la tabla 4.19.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.28: Control del contenido de humedad en magdalenas de chocolate durante el tiempo de almacenamiento

Según la figura 4.28, las muestras MF1S y MF1C, presentan para el primer día un contenido de humedad de 33,08% (MF1S) y 30,84% (MF1C), sin embargo, en los

siguientes días la humedad de las magdalenas va descendiendo sin tener valores atípicos, en el sexto día la muestra MF1S presenta un contenido de humedad de 28,75%. Mientras que la muestra MF1C en el octavo día presenta un contenido de humedad de 26,76%.

De tal manera, que el contenido de humedad para la muestra MF1S tiende a tener valores de humedad mayores a la muestra MF1C, por lo que su tiempo de almacenamiento es más corto (seis días), en comparación a la muestra MF1C que por acción del propionato de calcio es el contenido de humedad para mayor conservación (ocho días).

4.8.4 Análisis microbiológico en magdalena de chocolate finalizado el tiempo de almacenamiento

Para la obtención de los valores de pH, acidez y contenido de humedad de las magdalenas durante el almacenamiento, se observa que la muestra MF1S al sexto día presenta formación de colonias de mohos, por tanto, la muestra se deja de controlar y se retira, para ser valorada en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo. Así mismo, la muestra MF1C fue controlada hasta el octavo día presentando formación de colonias de mohos, por lo que se concluyó con el tiempo de almacenamiento.

La tabla 4.20 muestra los resultados obtenidos de los análisis microbiológicos de magdalenas de chocolate (MF1S) terminado el tiempo de almacenamiento al octavo día, datos extraídos del Anexo A.

Tabla 4.20

Análisis microbiológico de magdalenas de chocolate después del almacenamiento

Microorganismos	Unidad	Resultado
Mohos y levaduras	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$
Coliformes totales	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$
Echerichia coli	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$

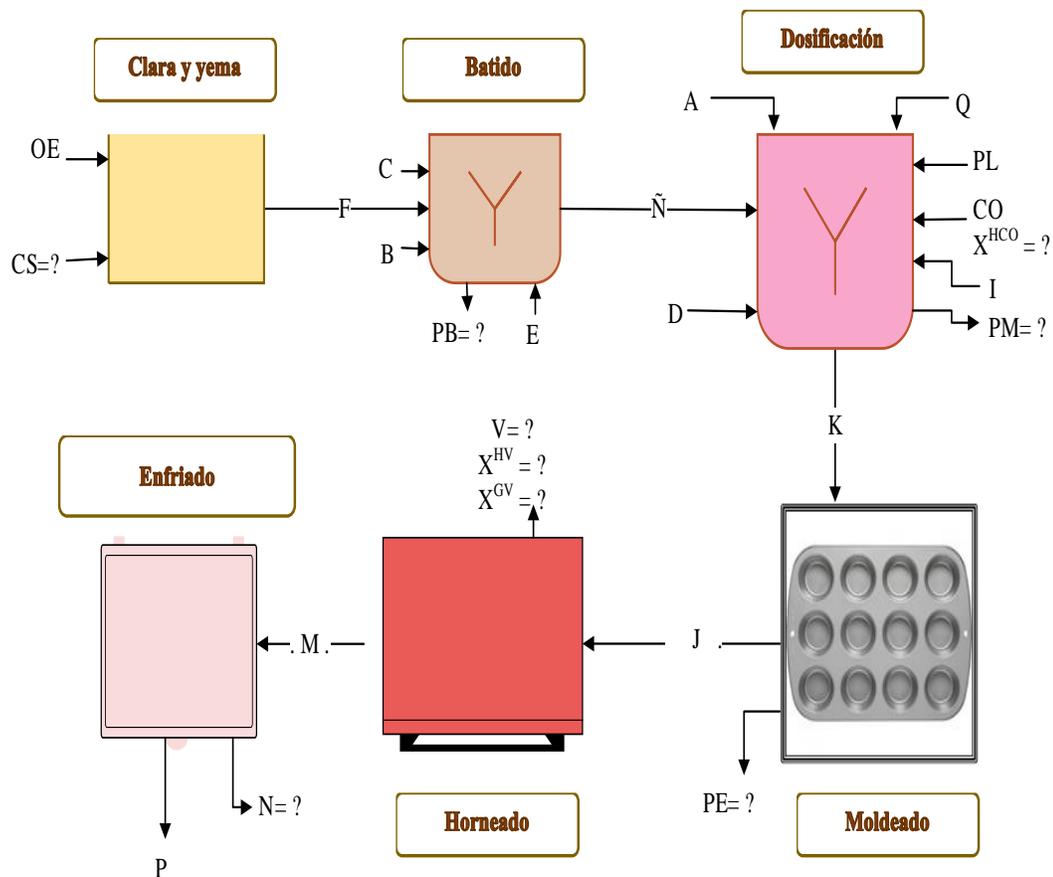
Fuente: CEANID, 2022

En la tabla 4.20, se puede observar los resultados de los análisis microbiológicos de magdalenas de chocolate sin conservante después de seis días de almacenamiento,

presenta: mohos y levaduras $<1,0 \times 10^1$ UFC/g, coliformes totales $<1,0 \times 10^1$ UFC/g y Echerichia coli $<1,0 \times 10^1$ UFC/g indicando que no se observó desarrollo de colonias en la magdalena.

4.9 Balance de materia en el proceso de elaboración de magdalena de chocolate con alto contenido de magnesio

La figura 4.29 muestra el balance de materia general para el proceso de elaboración de magdalenas de chocolate con alto contenido de magnesio para un cálculo en base a 1059,23 gramos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.29: Balance de materia general para magdalenas de chocolate con alto contenido de magnesio

OE= Huevo (g)	CS= Cáscara (g)
Ñ= Masa batida (g)	N= Pérdidas en el enfriado (g)
A= Harina de almendra (g)	X^{HV} = Concentración de humedad de vapor de agua
Q= Harina de quinua (g)	X^{HJ} = Concentración de humedad de la masa moldeada
C=Vainilla (g)	X^{HM} = Concentración de humedad de magdalena caliente
F= clara y yema (g)	X^{MA} = Contenido de magnesio en la harina de almendra (mg/100g)
V= Vapor de agua (g)	X^{MQ} = Contenido de magnesio en la harina de quinua (mg/100g)
PB=Pérdida en el batido (g)	X^{MP} = Cantidad de magnesio en magdalenas (mg/100g)
J= Masa moldeada (g)	P=Magdalena (g)
PE= Pérdida en el moldeado (g)	B= Azúcar (g)
M= Magdalena caliente (g)	PM= Pérdida en la dosificación (g)
X^{SJ} = Concentración de sólidos de la masa moldeada	DM= Masa total en la dosificación (g)
X^{GV} = Concentración de gases en el vapor de agua	Y= Peso neto por magdalena (g)
X^{MCO} = Contenido de magnesio en la cocoa en polvo (mg/100g)	JM= Unidades de magdalenas (g)
X^{MK} = Contenido de magnesio en la masa dosificada (mg/100g)	K= Masa dosificada (g)
X^{SM} = Concentración de sólidos de magdalena caliente	E = Aceite (g)
CO=Cocoa en polvo (g)	MB=Masa total en la etapa de batido(g)
PL= Polvo de hornear (g)	

X^{MD} = Contenido de magnesio en la leche (mg/100g)

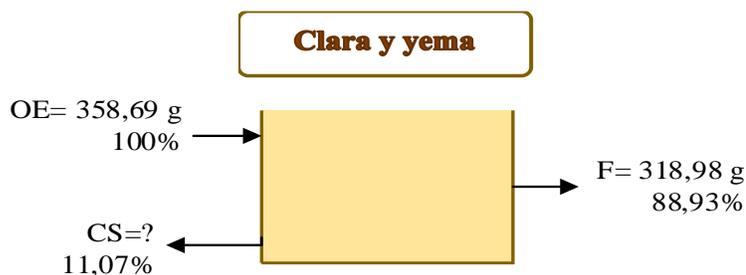
Y^{MY} = Contenido de magnesio por magdalena

I = conservante propionato de calcio (g)

D = Leche (g)

4.9.1 Balance de materia para la obtención de clara y yema

Para esta etapa se procede a realizar el pesado de diez muestras huevos enteros, obteniendo el peso de la cáscara y la clara junto a la yema, para determinar los porcentajes promedios de la porción comestible y no comestible. En la figura 4.30, se muestra la etapa de obtención clara y yema para el cual se realizó con 358,69g de huevo entero.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.30: Clara y yema

Cálculo de CS mediante los porcentajes de rendimiento:

$$\frac{CS}{\%CS} = \frac{OE}{\%OE} \quad \text{Ecuación 4.1}$$

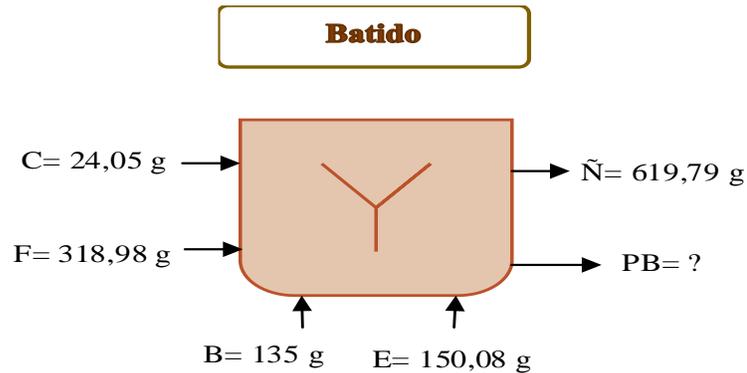
$$CS = \frac{OE}{\%OE} * \%CS$$

$$CS = \frac{358,69}{100\%} * 11,07\%$$

CS = 39,71 g descarte de cáscara en la etapa de clara y yema

4.9.2 Balance de materia para la obtención de batido

La figura 4.31 muestra el proceso de batido para lo cual se utilizó: azúcar (135 g), huevo (318,98 g), aceite (150,08 g) y vainilla (24,05 g).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.31: Batido

Balance general de materia para el proceso de batido

$$C + F + B + E = \tilde{N} + PB$$

Ecuación 4.2

Despeje de PB de la ecuación 4.2

$$PB = C + F + B + E - \tilde{N}$$

$$PB = 318,98 \text{ g} + 24,05 \text{ g} + 135 \text{ g} + 150,08 \text{ g} - 619,79$$

$$PB = 8,32 \text{ g pérdida en la etapa de batido}$$

Determinación de la masa batida (MB)

$$MB = \tilde{N} + PB$$

Ecuación 4.3

$$MB = 619,79 \text{ g} + 8,32 \text{ g}$$

$$MB = 628,11 \text{ g masa total en la etapa de batido}$$

Cantidad de porcentaje de pérdida en la etapa de batido

$$\frac{PB}{\%PB} = \frac{MB}{\%MB}$$

Ecuación 4.4

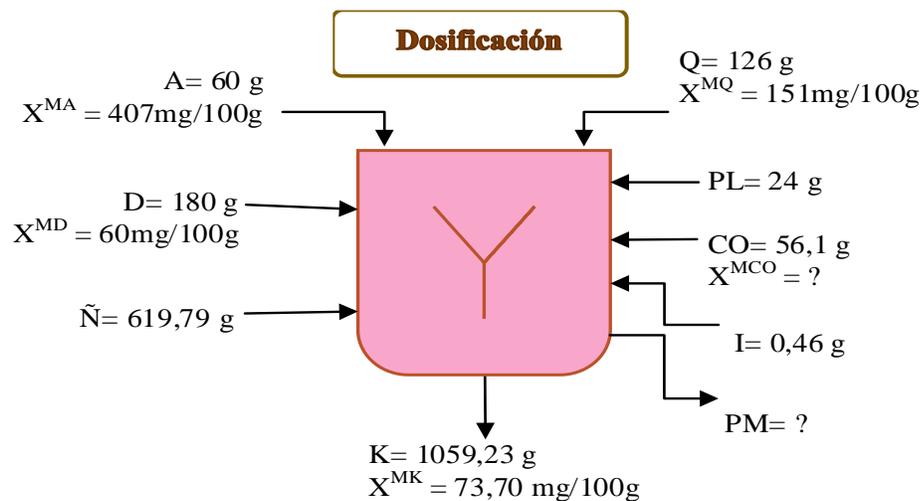
$$\%PB = \frac{PB}{MB} * \%MB$$

$$\%PB = \frac{8,32 \text{ g}}{628,11 \text{ g}} * 100\%$$

$\%PB = 1,32\%$ pérdida en la etapa de batido

4.9.3 Balance de materia para el proceso de dosificación

La figura 4.32 muestra la presentación del proceso de dosificación para realizar el balance de materia correspondiente:



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.32: Dosificación

Balance general de materia para el proceso de dosificación

$$A + D + MB + Q + G + PL + CO + I = K + PM \quad \text{Ecuación 4.5}$$

Despeje de PB de la ecuación 4.5

$$PM = A + D + MB + Q + G + PL + CO + I - K$$

$$PM = 60 \text{ g} + 180 \text{ g} + 619,79 \text{ g} + 126 \text{ g} + 24 \text{ g} + 0,46 \text{ g} + 56,1 \text{ g} - 1059,23 \text{ g}$$

PM = 7,12 g pérdida en la etapa de dosificación

Determinación de la masa batida (MD)

$$MD = K + PM \quad \text{Ecuación 4.6}$$

$$MD = 1059,23 \text{ g} + 7,12 \text{ g}$$

MD = 1066,35 g masa total en la etapa de dosificación

Cantidad de porcentaje de pérdida en la etapa de dosificación

$$\frac{PM}{\%PM} = \frac{MD}{\%MD} \quad \text{Ecuación 4.7}$$

$$\%PM = \frac{PM}{MD} * \%MD$$

$$\%PM = \frac{7,12 \text{ g}}{1066,35 \text{ g}} * 100\%$$

%PB = 0,68% pérdida en la etapa de dosificación

Para hallar el contenido de magnesio en la cocoa en polvo (CO) se realizó el balance del contenido de magnesio para la masa. Ya que el magnesio no es termosensible durante el horneado se utilizó los datos del producto final y materias primas (Anexo A).

$$D + A + Q + H = K \quad \text{Ecuación 4.8}$$

$$D * X^{MD} + A * X^{MA} + Q * X^{MQ} + H * X^{MH} = K * X^{MK}$$

$$H * X^{MH} = K * X^{MK} - D * X^{MD} - A * X^{MA} - Q * X^{MQ}$$

$$H * X^{MH} = 1059,23 \text{ g} * \left(\frac{73,70 \text{ mg}}{100 \text{ g}}\right) - 180 \text{ g} * \left(\frac{60,10 \text{ mg}}{100 \text{ g}}\right) - 60 \text{ g} * \left(\frac{407 \text{ mg}}{100 \text{ g}}\right) - 126 \text{ g} * \left(\frac{151 \text{ mg}}{100 \text{ g}}\right)$$

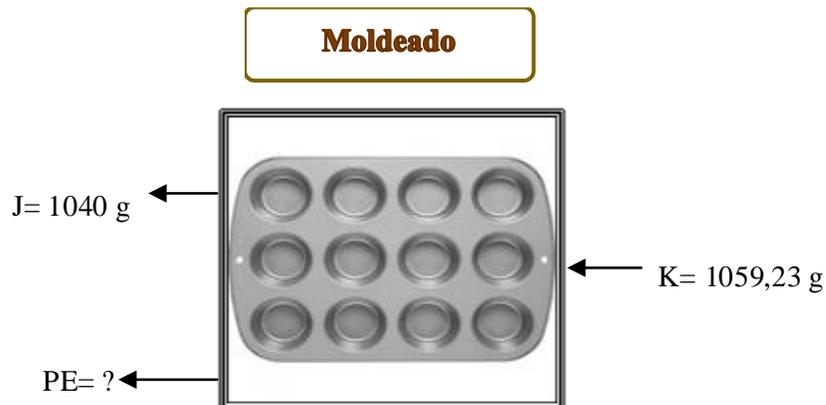
$$H * X^{MH} = 238,01 \text{ mg}$$

$$X^{MK} = \left(\frac{238,01 \text{ mg}}{56,1 \text{ g}}\right) * 100 \text{ g}$$

$X^{MK} = 424,26$ mg contenido de magnesio en cocoa en polvo por cada 100g

4.9.4 Balance de materia para el proceso de moldeado

La figura 4.33 muestra la presentación del proceso de moldeado para realizar el balance de materia correspondiente:



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.33: Moldeado

Para la determinación de la cantidad de magdalenas (JM), se calcula a partir de la masa moldeada entre los 40 gramos que contiene cada molde.

$$JM = \frac{J}{40 \text{ g}} \quad \text{Ecuación 4.9}$$

$$JM = \frac{1040 \text{ g}}{40 \text{ g}}$$

$$JM = 26 \text{ unidades de magdalenas}$$

Balance general de materia para el proceso de dosificación

$$J + PE = K \quad \text{Ecuación 4.10}$$

Despeje de PE de la ecuación 4.10:

$$PE = K - J$$

$$PE = 1059,23 \text{ g} - 1040 \text{ g}$$

$$PE = 19,23 \text{ g pérdida en la etapa de moldeado}$$

Cantidad de porcentaje de pérdida en la etapa de moldeado

$$\frac{PE}{\%PE} = \frac{J}{\%J}$$

Ecuación 4.11

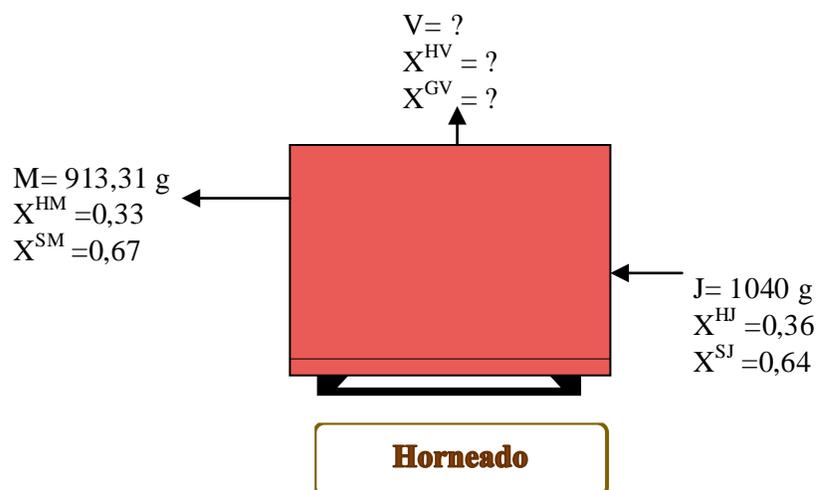
$$\%PE = \frac{PE}{J} * \%J$$

$$\%PE = \frac{19,23 \text{ g}}{1040 \text{ g}} * 100\%$$

$$\%PE = 1,85\% \text{ pérdida en la etapa de moldeado}$$

4.9.5 Balance de materia para el proceso de horneado

La figura 4.34 muestra la presentación del proceso de horneado para realizar el balance de materia correspondiente:



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.34: Horneado

Balance general de materia para el proceso de horneado

$$J = M + V \quad \text{Ecuación 4.12}$$

Despeje de V de la ecuación 4.12:

$$V = J - M$$

$$V = 1040 \text{ g} - 913,31 \text{ g}$$

$$V = 126,69 \text{ g vapor de agua en la etapa de horneado}$$

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

$$\frac{V}{\%V} = \frac{J}{\%J} \quad \text{Ecuación 4.13}$$

$$\%V = \frac{V}{J} * \%J$$

$$\%V = \frac{126,69 \text{ g}}{1040 \text{ g}} * 100\%$$

$$\%V = 12,18 \text{ vapor de agua generado en el horneado}$$

Balance parcial para la concentración de humedad en el vapor de agua (V)

$$J * X^{HJ} = V * X^{HV} + M * X^{HM} \quad \text{Ecuación 4.14}$$

$$X^{HV} = \frac{J * X^{HJ} - M * X^{HM}}{V}$$

$$X^{HV} = \frac{1040 \text{ g} * 0,36 - 913,31 \text{ g} * 0,33}{126,69 \text{ g}}$$

$$X^{HV} = 0,58$$

Determinación de la concentración de gases en el vapor de agua:

$$X^{HV} + X^{GV} = 1 \quad \text{Ecuación 4.15}$$

$$X^{GV} = 1 - X^{HV}$$

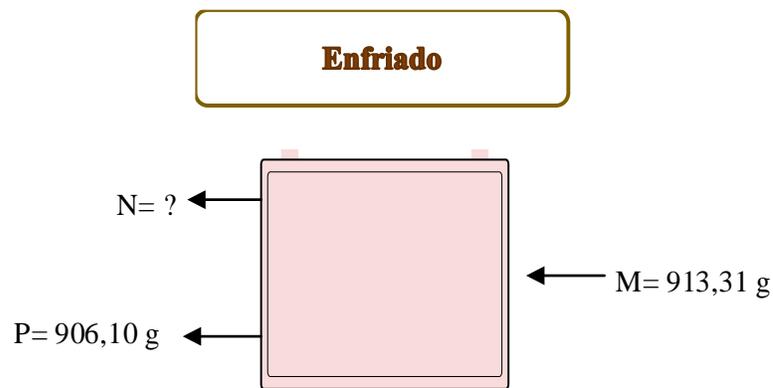
$$X^{GV} = 1 - 0,58$$

$$X^{GV} = 0,42$$

** La etapa de desmoldado no se realizó el balance de materia parcial ya que el valor de pérdida no sobrepasa el 0,1%*

4.9.6 Balance de materia para la etapa de enfriado

La figura 4.35 muestra el diagrama para la presentación del proceso de enfriado para realizar el balance de materia correspondiente:



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.35: Enfriado

Balance general de materia para el proceso de enfriado

$$M = N + P$$

Ecuación 4.16

Despeje de N de la ecuación 4.16

$$N = M - P$$

$$N = 913,31\text{g} - 906,10\text{g}$$

$N = 7.23\text{ g}$ pérdida de vapor durante el enfriado.

Cantidad de porcentaje de pérdida de vapor en la etapa de enfriado

$$\frac{N}{\%N} = \frac{M}{\%M} \quad \text{Ecuación 4.17}$$

$$\%N = \frac{N}{M} * \%M$$

$$\%N = \frac{7,23\text{g}}{913,31\text{ g}} * 100\%$$

$\%PE = 0,79\%$ pérdida vapor en la etapa de enfriado

El porcentaje de magnesio que se obtiene mediante el análisis de minerales (Anexo A) en la magdalena final (P) fue de 73,70 mg/100g, por lo que se determinó el contenido de magnesio por magdalena (X^{MY}), siendo el peso en promedio de 34,85 g.

$$\frac{X^{MY}}{Y} = \frac{X^{MP}}{P} \quad \text{Ecuación 4.18}$$

$$X^{MY} = \frac{X^{MP} * Y}{P}$$

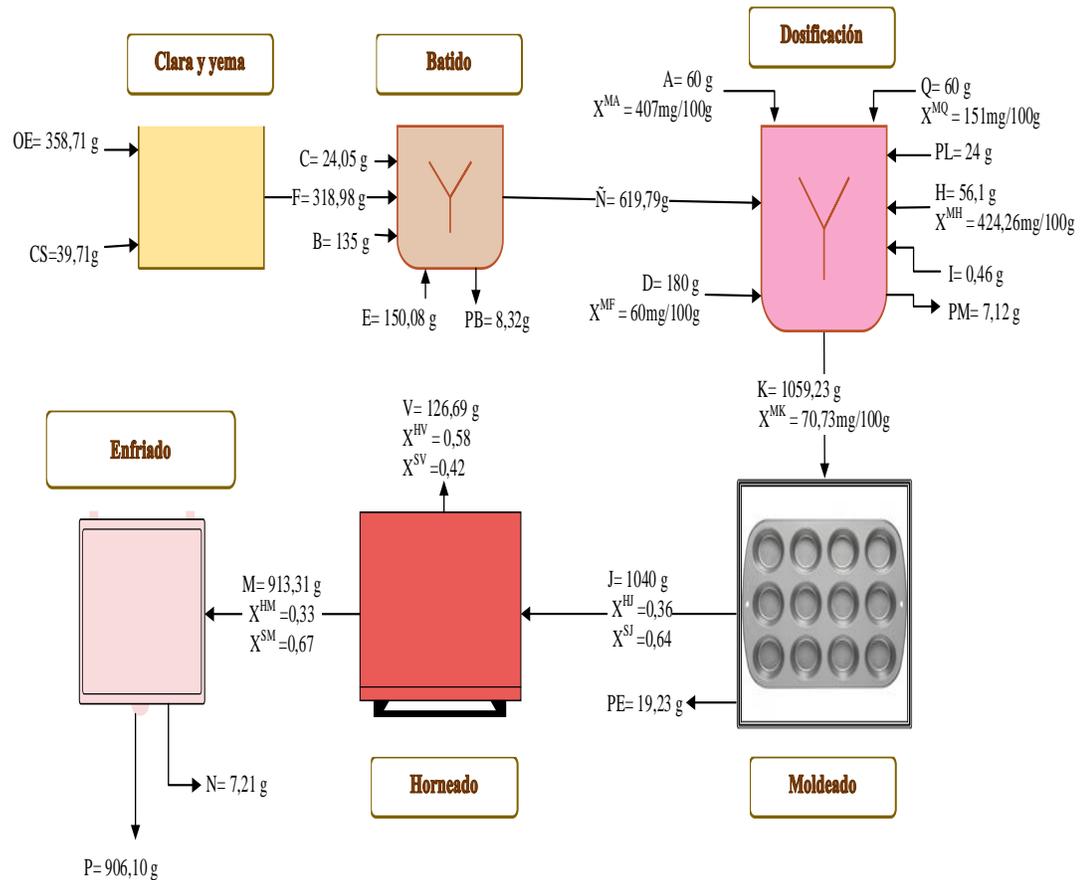
$$X^{MY} = \frac{73,70\text{ mg} * 34,85\text{ g}}{100\text{g}}$$

$$X^{MY} = 25,68\text{ mg}$$

Realizado el balance de materia para la elaboración de magdalenas de chocolate a partir de harina de almendra y quinua con alto contenido de magnesio, se obtiene 906,10 g, lo que sería igual a 26 de magdalenas, siendo en promedio de peso por magdalena de 34,85 g y con un contenido de magnesio de 25,68 mg.

4.10 Resumen general del balance de materia para el proceso de elaboración de magdalena de chocolate con alto contenido en magnesio

La figura 4.36 muestran los resultados que se obtuvo para el balance de materia general para el proceso de elaboración de magdalenas de chocolate con alto contenido en magnesio.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.36: Resumen de resultados del balance de materia general para magdalenas de chocolate con alto contenido de magnesio

4.11 Balance de energía para el proceso de batido y horneado de las de magdalenas

Para la etapa de batido y dosificación de la masa de magdalenas se utilizó una batidora de mano con una potencia de 600 W durante 0,18 horas. En la figura 4.37, se muestra el proceso de batido y dosificación para determinar la energía eléctrica requerida para la batidora de la mano.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.37: Batido y dosificación

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

$$E = P * \theta \quad \text{Ecuación 4.19}$$

Donde:

E= Energía eléctrica (W/h)

P= Potencia

θ = Tiempo (horas)

Así mismo $1 \text{ kcal/h} = 1,163 \text{ W}$ → Por tanto: $600 \text{ W} = 515,91 \text{ kcal/h}$

Reemplazando los resultados obtenidos en la ecuación 4,19 para hallar la energía eléctrica:

$$E = 515,91 \frac{\text{kca}}{\text{h}} * 0,18 \text{ horas}$$

$$E = 92,86 \text{ kcal}$$

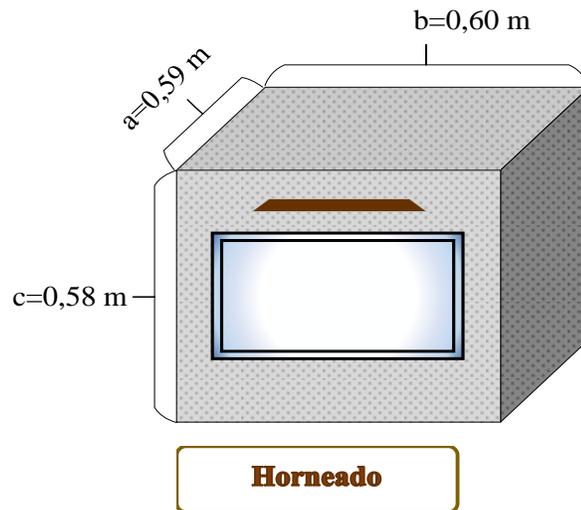
La energía eléctrica requerida en la batidora de mano para realizar el batido y la dosificación durante 0,18 horas es de 92,86 kcal para 1059,23 g de masa para magdalena.

4.12 Balance de energía para el proceso de horneado en magdalenas

El balance de energía para el horneado de la masa de magdalenas se realiza para 1059,23 g de masa de magdalenas y para el cual los cálculos se detallan en base a las condiciones de la ciudad de Tarija de 1866 msnm (Zrazhevsky, 2018) y presión atmosférica de 609 mmHg (Jiménez, 2022).

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

La figura 4.38 muestra el horno para el balance de energía del horneado de magdalenas.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.38: Horneado

Donde:

a = Ancho del horno (m)

c = Altura del horno (m)

b = Base del horno (m)

4.12.1 Balance de energía para calentar el horno

Para determinar el calor necesario para calentar el aire dentro del horno, inicialmente se determinó la masa del aire dentro del horno para el cual se utilizó la fórmula matemática para hallar el volumen del horno (ecuación 4.20) y posteriormente la masa del aire en base a la densidad (ecuación 4.21).

$$V = a * b * c \quad (\text{Cromer, 2006}) \quad \text{Ecuación 4.20}$$

a = Ancho del horno (m)

b = Base del horno (m)

c = Altura del horno (m)

V = Volumen del aire (m³)

Reemplazando datos en la ecuación 4.20 para hallar el volumen del horno:

$$V = (0,59 * 0,60 * 0,56)m^3$$

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

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

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{Treybal, 1997}) \quad \text{Ecuación 4.21}$$

donde:

ρ = Densidad del aire (1,18 kg/m³) (Treybal, 1997)

m = Masa del aire (kg)

V = Volumen del aire (m³)

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

Por tanto: $m_{\text{aire}} = \rho * V$ Ecuación 4.22

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

Determinado la masa del aire dentro del horno en base a la ecuación 4.22 según (Treybal, 1997), se determinó el calor necesario para calentar el aire dentro el horno que inicia con la temperatura de 20°C y alcanza una temperatura final de 180°C.

$$Q_{\text{aire}} = m_{\text{aire}} * C_{p_{\text{aire}}} * \Delta T$$
 Ecuación 4.23

Donde:

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

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

$C_{p_{\text{aire}}}$ = capacidad calorífica del aire (0,24 kcal/kg °C) (Lira & Guevara, 2018)

$\Delta T = (T_f - T_i)$ variación de la temperatura en el horno (180 - 20) °C

Reemplazando los datos en la ecuación 4.23:

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

$$Q_{\text{aire}} = 9,22 \text{ kcal}$$

4.12.2 Balance de energía para calentar el molde de magdalenas

Para determinar el calor necesario para calentar el molde de magdalenas se utiliza la ecuación 4.24.

$$Q_{\text{molde}} = m_{\text{molde}} * C_{p_{\text{molde}}} * \Delta T$$
 Ecuación 4.24

Donde:

Q_{molde} = calor necesario para calentar el molde de magdalena (kcal)

m_{molde} = masa del molde para magdalena (0,321 kg)

C_p_{molde} = capacidad calorífica del molde (0,22 kcal/kg °C) (Moebs et al, 2021)

$\Delta T = (T_f - T_i)$ variación de la temperatura en el horno (180 - 20) °C

Reemplazando los datos en la ecuación 4.24:

$$Q_{\text{molde}} = 0,321 \text{ kg} * 0,22 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} * (180 - 20) ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{molde}} = 11,30 \text{ kcal}$$

4.12.3 Balance de energía para calentar la bandeja del horno

Para determinar el calor necesario para calentar la bandeja del horno se utiliza la ecuación 4.25.

$$Q_{\text{Bandeja}} = m_{\text{Bandeja}} * C_p_{\text{Bandeja}} * \Delta T \quad \text{Ecuación 4.25}$$

Donde:

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

m_{Bandeja} = masa de la bandeja del horno (1,130 kg)

C_p_{Bandeja} = capacidad calorífica de la bandeja (0,22 kcal/kg °C) (Moebs et al, 2021)

$\Delta T = (T_f - T_i)$ variación de la temperatura en el horno (180 - 20) °C

Reemplazando los datos en la ecuación 4.25:

$$Q_{\text{Bandeja}} = 1,130 \text{ kg} * 0,22 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} * (180 - 20) ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{Bandeja}} = 39,78 \text{ kcal}$$

4.12.4 Balance de energía para hornear la masa de magdalenas

Para obtener el calor necesario para hornear la masa de magdalenas, primero se determina el $C_{p \text{ magdalena}}$, en base a la ecuación 4.26. Según Velázquez & Martínez (como se citó en Lewis, 1993), Esta ecuación es aplicada cuando se conozca la composición nutricional de la mezcla como ser: carbohidratos, agua, proteína, grasa, entre otras (Pág. 536).

$$C_{p \text{ magdalena}} = \underbrace{Ma * Ca}_{\text{agua}} + \underbrace{Mc * Cc}_{\text{carbohidrato}} + \underbrace{Mp * Cp}_{\text{proteína}} + \underbrace{Mg * Cg}_{\text{grasa}} + \underbrace{Mz * Cz}_{\text{ceniza}} \quad \text{Ecuación 4.26}$$

Donde:

Ma, Mc, Mp, Mg y Mz = Fracciones de masa de los componentes del alimento.

Ca, Cc, Cp, Cg y Cz = Calores específicos de los componentes del alimento.

En la tabla 4.21, se muestra los calores específicos de cada componente alimentario.

Tabla 4.21

Composición de componentes alimentarios

Componente	Calor específico	Unidad
Agua (Ca)	0,9990	Kcal/kg °C
Carbohidrato (Cc)	0,2916	Kcal/kg °C
Proteína (Cp)	0,4541	Kcal/kg °C
Grasa (Cg)	0,4541	Kcal/kg °C
Ceniza (Cz)	0,4302	Kcal/kg °C

Fuente: Lewis, 1993.

Para el valor de las fracciones de la masa de cada componente, se tomó en cuenta los resultados de la magdalena de chocolate con alto contenido de magnesio obtenido según (CEANID, 2022) (Anexo A), y en base a estos datos se convierte a fracción obteniendo:

$Ma = 0,2895$ (fracción de masa del componente agua)

$Mc = 0,3401$ (fracción de masa del componente carbohidrato)

$M_p = 0,0963$ (fracción de masa del componente proteína)

$M_g = 0,2403$ (fracción de masa del componente graso)

$M_z = 0,0317$ (fracción de masa del componente cenizas)

Obtenido los datos de fracciones de masa y datos de Cp de los componentes se reemplazaron en la ecuación 4.26 para hallar el Cp de la madalena:

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

$$C_{p_{\text{magdalena}}} = (0,2895 * 0,9990) + (0,3401 * 0,2916) + (0,0963 * 0,4541) \\ + (0,2403 * 0,4541) + (0,0317 * 0,4302)$$

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

Determinado el Cp de la magdalena, se halló el calor necesario para el horneado de la masa de magdalena en base a la ecuación 4.27.

$$Q_{\text{magdalena}} = m_{\text{magdalena}} * C_{p_{\text{magdalena}}} * \Delta T + m_{\text{agua evap.}} * \lambda \quad \text{Ecuación 4.27}$$

Donde:

$Q_{\text{magdalena}}$ = calor necesario para hornear las magdalenas (kcal)

$m_{\text{magdalena}}$ = masa de las magdalenas (0,91331 kg)

$C_{p_{\text{magdalena}}}$ = capacidad calorífica de la magdalena (0,56 kcal/kg °C)

$m_{\text{agua evap.}}$ = masa del agua evaporada (0,12669 kg)

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

$\Delta T = (T_f - T_i)$ variación de la temperatura en el horno (180 - 20) °C

Reemplazando los datos en la ecuación 4.27:

$$Q_{\text{magdalena}} = \left(0,91331\text{kg} * 0,56 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \text{°C} * (180 - 20)\text{°C} \right) + 0,12669\text{kg} * 547 \text{ kcal/kg}$$

$$Q_{\text{magdalena}} = 151,13 \text{ kcal}$$

4.12.5 Balance de energía para evaporar el agua de la masa de magdalena

En el horneado, la humedad que contiene la masa inicia a una temperatura de 20°C hasta los 93°C (Jiménez, 2022) temperatura de ebullición del agua, de ahí en adelante se convierte en vapor y se forma una mezcla con el aire contenido en el horno. Así mismo se determina 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 y para finalizar se toma otra variación de energía de 93°C hasta los 180°C.

Por lo que para determinar el calor necesario para evaporar el agua de la masa se aplica la ecuación 4.28 de Valiente (1986).

$$Q_{\text{vapor de agua}} = Q_S + Q_A + Q_G \quad \text{Ecuación 4.28.}$$

Donde:

$Q_{\text{vapor de agua}}$ = Calor que se necesitó para evaporar el agua (kcal)

Q_S = Calor necesario para evaporar la humedad de la magdalena (kcal)

Q_A = Calor necesario para el cambio de fase del agua (kcal)

Q_G = Calor necesario para la mezcla aire y vapor (kcal)

Para determinar Q_S , se utilizó la ecuación 4.29.

$$Q_S = (m_{\text{magdalena}} * X^{HM}) * C_{p_{\text{agua}}} * (T_m - T_i) \quad \text{(Valiente, 1986)} \quad \text{Ecuación 4.29.}$$

Donde:

$m_{\text{magdalena}}$ = masa de las magdalenas (0,91331 kg)

X^{HM} = contenido de humedad de la magdalena (0,36)

$C_{p_{\text{agua}}}$ = capacidad calorífica de la magdalena (1 kcal/kg °C) (Moebs et al, 2021)

$\Delta T = (T_m - T_i)$ variación de la temperatura en el horno (93 - 20) °C

Reemplazando los datos en la ecuación 4.28:

$$Q_s = (0,91331 \text{ kg} * 0,36) * 1,00 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} * (93 - 20)^\circ\text{C}$$

$$Q_s = 24,00 \text{ kcal}$$

Para determinar Q_A , se utilizó la ecuación 4.30.

$$Q_A = (m_{\text{vapor}} * X^{\text{HV}}) * \lambda_{\text{vaporizacion}} \quad (\text{Valiente, 1986}) \quad \text{Ecuación 4.30}$$

Donde:

m_{vapor} = masa de agua evaporada (0,12669 kg)

X^{HV} = concentración de humedad en el agua evaporada (0,58)

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

Reemplazando los datos en la ecuación 4.29:

$$Q_A = (0,12669 \text{ kg} * 0,58) * 547 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

$$Q_A = 40,19 \text{ kcal}$$

Para determinar Q_G se utilizó la ecuación 4.31.

$$Q_G = (m_{\text{vapor}} * X^{GV}) * Cp_{\text{aire}} * (Tf - Tm) \quad (\text{Valiente, 1986}) \quad \text{Ecuación 4.31}$$

Donde:

m_{vapor} = masa de agua evaporada (0,12669 kg)

X^{GV} = concentración de aire en el agua evaporada (0,42)

Cp_{aire} = capacidad calorífica del aire (0,24 kcal/kg °C)

$\Delta T = (Tf - Tm)$ variación de la temperatura en el horno (180 - 93) °C

Reemplazando los datos en la ecuación 4.31:

$$Q_G = (0,12669 \text{ kg} * 0,42) * 0,24 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} * (180 - 93)^\circ\text{C}$$

$$Q_G = 1,11 \text{ kcal}$$

Reemplazando datos en la ecuación 4.28

$$Q_{\text{vapor de agua}} = 24,00 \text{ kcal} + 40,19 \text{ kcal} + 1,11 \text{ kcal}$$

$$Q_{\text{vapor de agua}} = 65,30 \text{ kcal.}$$

4.13 Balance de energía para determinar la cantidad de calor total necesario en la elaboración de magdalenas

Para determinar la cantidad total de calor necesario para llevar a cabo la elaboración de la masa, el calentamiento de la masa y el horneado de la masa para magdalenas, se utiliza la ecuación 4.31.

$$Q_T = \sum Qi \quad (\text{Valiente, 1986}) \quad \text{Ecuación 4.31}$$

Donde:

Q_T = Calor total necesario para llevar a cabo el proceso

$\sum Qi$ = suma de calores involutarios en el proceso

Reemplazando los datos obtenidos en el proceso 4.31.

$Q_T = Q_{\text{Batido}} + Q_{\text{aire}} + Q_{\text{molde}} + Q_{\text{Bandeja}} + Q_{\text{magdalena}} + Q_{\text{vapor de agua}}$

Donde:

$Q_T = 92,86 \text{ kcal} + 9,22 \text{ kcal} + 39,78 \text{ kcal} + 11,30 \text{ kcal} + 151,13 \text{ kcal} + 65.30 \text{ kcal}$

$Q_T = 369.59 \text{ kcal}$

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Realizado el análisis fisicoquímico en la harina de almendra se verificó que contiene: hidratos de carbono 24,18%, gluten húmedo n.d., fibra 2,29%, cenizas 5,23%, humedad 11,38%, proteína 6,52%, materia grasa 50,40%, magnesio 407,00 mg/100g y valor energético 576,4 kcal/100g.
- Realizado el análisis fisicoquímico en la harina de quinua se evidenció que contiene: hidratos de carbono 71,79%, gluten húmedo n.d., fibra 2,65%, cenizas 3,09%, humedad 4,77%, proteína 12,37%, materia grasa 5,33%, magnesio 151,00 mg/100g y valor energético 384,61 kcal/100g.
- Realizada la evaluación sensorial a las pruebas preliminares durante el desarrollo experimental se indica que las muestras con mayor aceptación por los jueces son las muestras MST1 y MST2 en los atributos color, aroma, sabor y textura, indicando que existe diferencia significativa entre los atributos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$, seleccionando de esta manera la muestra MST2 como muestra ideal.
- Aplicado el diseño factorial 2^3 en la etapa de dosificación se pudo establecer que en las variables; cocoa en polvo (A), harina de almendra (B) y harina de quinua (C), existe evidencia estadística significativa; debido que $F_{cal} > F_{tab}$, por tanto, se rechaza la hipótesis planteada $p < 0,05$.
- Realizada la evaluación sensorial para comparar la muestra experimental e ideal se puede evidenciar que no existe diferencia significativa entre los atributos (aroma, sabor y textura) de las muestras evaluadas para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$, pero existe diferencia significativa para el atributo color. Así mismo, mediante la gráfica de caja y bigote se selecciona a la muestra MF1, pero se modifica el color, considerando que la muestra MF3 es la mas aceptada para el atributo color, se aumenta del 4,19 % al 5,00% el porcentaje de cocoa en polvo.
- Aplicado el diseño factorial 2^2 en la etapa de horneado, se estable que las variables; tiempo (A) y temperatura (B) no existe evidencia significativa para un nivel de

significancia del $\alpha = 0,05$ ya que $F_{cal} < F_{tab}$, por tanto, se acepta la hipótesis planteada $p > 0,05$. En cuanto a la interacción de las variables AB se concluye que a menor tiempo y temperatura el contenido de humedad en base húmeda de las magdalenas tiende a ser mayor.

- Realizada la interacción de factores y efectos principales de las variables respuesta (porcentaje de proteínas, contenido de magnesio y humedad) mediante el estadístico SATAGRAPHICS; se concluye que para el contenido de magnesio tanto en la interacción de factores A, B y C como para el de efectos principales, el factor A (cocoa en polvo) es el que más influye por su contenido de magnesio que evidencia una diferencia significativa en el diseño factorial 2^3 , en cambio para el porcentaje de proteína los factores B (harina de almendra) y C (harina de quinua), influyen tanto interaccionando entre factores como en efectos principales mostrando mayor porcentaje de proteínas, pero no llegan a mostrar significancia en el diseño factorial 2^3 . En el contenido de humedad muestra al factor A (tiempo) tanto para la interacción de los factores y como efecto principal, predominante, indicando que a menor tiempo de horneado se eleva el contenido humedad, pero no muestra significancia para el diseño factorial 2^2 .
- Realizado el control de pH, acidez (ácido láctico) y contenido de humedad en las magdalenas con y sin conservante se concluye que en el almacenamiento para la muestra con conservante (MF1C), refleja que en función del tiempo el valor de pH que inicia con 7,24 va aumentando levemente hasta un valor 7,31 y por el contrario la acidez (ácido láctico) que inicia con 0,54% va disminuyendo significativamente su valor hasta 0,32%. Del mismo modo el contenido de humedad disminuye entre el 30,84% al 26,76%, dando un tiempo de almacenamiento de ocho días. Mientras que en la muestra sin conservante (MF1S), se observa que con el tiempo el pH tiene una disminución poco significativa del 7,36 al 7,34, de la misma manera pasa con la acidez que baja del 0,58% al 0,40% y el contenido de humedad del 33,08% al 28,75%, resultando un tiempo de almacenamiento de seis días.

- Realizado el análisis microbiológico en el producto final terminado para el tiempo de almacenamiento de ocho días, presenta: mohos y levaduras $<1,0 \times 10^1$ UFC/g, coliformes totales $<1,0 \times 10^1$ UFC/g y Echerichia coli $<1,0 \times 10^1$ UFC/g, reflejando que no se observa desarrollo de colonias en la magdalena.
- Realizado el análisis fisicoquímico en el producto final presenta: hidratos de carbono 34,01%, gluten húmedo n.d., fibra 0,21%, cenizas 3,17%, humedad 28,95%, proteína 9,63%, materia grasa 24,03% y valor energético 390,83 kcal/100g. En cuanto a minerales: calcio 293,00 mg/100g, magnesio 73,70 mg/100g y potasio 519,00 mg/100g.
- Realizado el análisis microbiológico en el producto final presenta: mohos y levaduras $<1,0 \times 10^1$ UFC/g, coliformes totales $<1,0 \times 10^1$ UFC/g y coliformes fecales $<1,0 \times 10^1$ UFC/g, reflejando que no se observa desarrollo de colonias en la magdalena.
- Realizando el balance de materia a partir de 1059,23 g de masa para magdalena se obtiene 906,10 g de magdalenas (26 unidades de 34,85 g) y contenido de magnesio de 25,68 mg por cada unidad. Así mismo, para determinar la cantidad total de calor necesario para las diferentes operaciones del proceso (batido, calentamiento del horno, molde, bandeja, calor para evaporar el agua y horneado de la magdalena), se requiere 369,59 kilocalorías.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda elaborar productos panificados a base de harinas como: avena, mijo, amaranto, maíz u otro, con la finalidad de enriquecer la masa para brindar a la población tarijeña variedad de productos horneados con calidad nutricional.
- Se recomienda elaborar magdalenas a base de harinas integrales como: espelta, cebada, centeno, entre otras, ya que son bajas en grasa, índice glucémico y retarda la adsorción de hidratos de carbono, con la finalidad de incluir al mercado local variedad de magdalenas especiales para personas diabéticas.