

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Mediante estudios se determinaron que las galletas tienen un lugar muy destacado en las preferencias alimenticias de los bolivianos. En 2013, el consumo per cápita anual de galletas de Bolivia llegó a 5 kilos. Hay una gran inclinación de los clientes tanto por las galletas dulces como por las saladas, que se disfrutaban principalmente en el desayuno, las meriendas y otras comidas de forma complementaria. Entre las galletas dulces con gran predilección por los bolivianos están las galletas wafer y las galletas rellenas (Quispe, 2014).

En el país el consumo per cápita de harina de trigo es de 53 kilogramos y se tiene una demanda de 700 mil toneladas anuales, pero la producción local no llega a cubrir ni el 30 %, según datos de la Asociación de Productores de Oleaginosas y Trigo. Además, según datos del Instituto Boliviano de Comercio Exterior (IBCE), el 95 % de las importaciones proviene de Argentina. Sólo en 2017, Bolivia importó 480.443 toneladas en grano y procesado en harina, mientras que la producción de trigo en el país en el mismo año alcanzó las 170.645 toneladas (26 % del total). Para 2018, las importaciones bajaron a 350 mil toneladas. En Bolivia el trigo rinde en promedio 1,2 toneladas por hectárea, pero en Argentina es de cerca de 3 toneladas, lo que la hace más competitivo (Manzaneda, 2019).

La cañahua se constituye en un alimento de mejor nivel nutricional que aquellos muy influenciados por el mercado y es uno de los cultivos más importantes en los departamentos de La Paz, Oruro y Cochabamba del país de Bolivia. Sin embargo, ante el poco conocimiento de las personas sobre este producto, la demanda de estos alimentos es bastante reducida en el ámbito local, por lo cual una significativa cantidad de productos elaborados en base a cañahua y otros granos es exportada hacia otros países (Montaño, 2015).

Las exportaciones de maca en su forma de raíz han ido decreciendo con el tiempo debido a que se ha ido mejorando y agregando mayor valor a este producto, se dejó exportar la materia prima y se empezó a industrializar la maca, exportando harina de

maca y capsulas de maca. La harina de maca se ha estado exportando desde el 2003 a Francia, pero actualmente no existen registros de exportaciones de harina de maca a ese país. En Bolivia, la producción de maca ha cobrado importancia en los últimos años (IBCE, 2009).

1.2 Justificación

- El presente trabajo de investigación, pretende elaborar galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca, con la finalidad que exista otra alternativa en consumo de galletas para la población del departamento de Tarija.
- Las galletas son un alimento muy consumido por las personas, por lo tanto se pretende mejorar la composición nutricional de las galletas dulces sustituyendo de forma parcial la harina de trigo por harina de cañahua y maca, con el fin de aprovechar sus nutrientes que contiene.
- Debido a que la harina de cañahua y maca se encuentran en el mercado local del departamento de Tarija se desea incentivar su consumo y así aprovechar sus propiedades nutricionales que presentan calcio, hierro, fibra, proteína, etc.
- La harina de cañahua no es muy comercializada en el departamento de Tarija debido a la falta de información sobre sus beneficios que pueden aportar al consumidor, por lo tanto se pretende incluir al mercado local el uso de esta harina elaborando galletas para el consumo de la población.

1.3 Objetivos

Los objetivos planteados para el siguiente trabajo de investigación se describen a continuación:

1.3.1 Objetivo general

Aplicar la tecnología de cereales a nivel experimental que permita elaborar galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca, con la finalidad de obtener un producto de calidad nutricional para la provincia Cercado del departamento de Tarija.

1.3.2 Objetivos específicos

- Mostrar las propiedades fisicoquímicas y determinar los análisis microbiológicos de las harinas de trigo, cañahua y maca con el propósito de conocer su composición.
- Establecer la formulación óptima de las harinas de trigo, cañahua y maca en la elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca con el fin de obtener la mezcla adecuada.
- Realizar la evaluación sensorial a las pruebas iniciales de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca enriquecidas con harina de cañahua y maca, para determinar la muestra con mayor aceptación por los jueces.
- Aplicar el diseño factorial 2^3 en la etapa de dosificación, con el fin de establecer las variables a las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca.
- Realizar la evaluación sensorial para valorar las muestras experimentales e ideal con el fin de obtener el producto final.
- Aplicar el diseño factorial 2^2 en la etapa del horneado, para establecer la temperatura y tiempo de cocción de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca.
- Realizar un control de la vida útil de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca durante el almacenamiento.

- Determinar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas a las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca con la finalidad de establecer su calidad nutricional.
- Realizar el balance de materia y energía del proceso de elaboración de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca, con la finalidad de conocer el rendimiento del proceso.

1.4 Objeto de estudio

Aplicación de la tecnología de cereales a nivel experimental para elaborar galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca para la provincia Cercado del departamento de Tarija.

1.5 Campo de acción

- ❖ Espacial: provincia Cercado del departamento de Tarija.
- ❖ Temporal: 2022
- ❖ Institución: Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA).

1.6 Planteamiento del problema

En el departamento de Tarija en el mercado local de la provincia Cercado existe variedades de galletas pero no hay galletas que sean enriquecidas con harina de cañahua y maca por lo tanto se desea aprovechar estas harinas que son ricas en calcio, hierro, fibra, proteína, etc.

La aplicación de tecnología de cereales permite de alguna manera incorporar mezclas de harinas con el fin de mejorar la dosificación en la elaboración de un producto nutritivo; como las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca que pueden ser introducido al mercado local ya que no hay ninguna empresa que se dedique a elaborar galletas con esta formulación.

1.7 Formulación del problema

¿Cómo aplicar la tecnología de cereales a nivel experimental que permita elaborar galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca, con la finalidad de obtener un producto de calidad nutricional para la provincia Cercado del departamento de Tarija?

1.8 Hipótesis

La tecnología de cereales a ser aplicada a nivel experimental permite obtener galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca de calidad nutricional para la provincia Cercado del departamento de Tarija

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Origen de la galleta

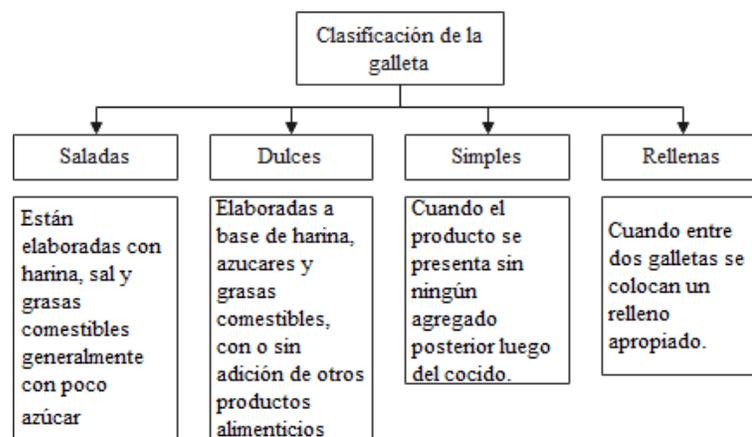
Las galletas son un alimento que ha ido evolucionando a la par que el ser humano desde hace miles de años. Su origen es tan antiguo que es difícil determinar quién las inventó: lo que sí se sabe es que no fue una única persona, y que las consumían diferentes civilizaciones. Una de ellas fue el Antiguo Imperio Persa (Mundisa, 2021).

2.2 Definición de galleta

La definición propuesta por la reglamentación técnico-sanitaria para la elaboración, fabricación, circulación y comercio de galletas, aprobada por el Real Decreto 1124/1982, de 30 de abril de 1982, donde se fija la ordenación jurídica de dichos productos. “Se entiende por “galletas” los productos alimenticios elaborados, fundamentalmente, por una mezcla de harina, grasas comestibles y agua, adicionada o no de azúcares y otros productos alimenticios o alimentarios (aditivos, aromas, condimentos, especias, etc.), sometida a proceso de amasado y posterior tratamiento térmico, dando lugar a un producto de presentación muy variada, caracterizado por su bajo contenido en agua” (APROGA, 2009).

2.3 Clasificación de la galleta

En la figura 2.1, se muestra la clasificación de la galleta.

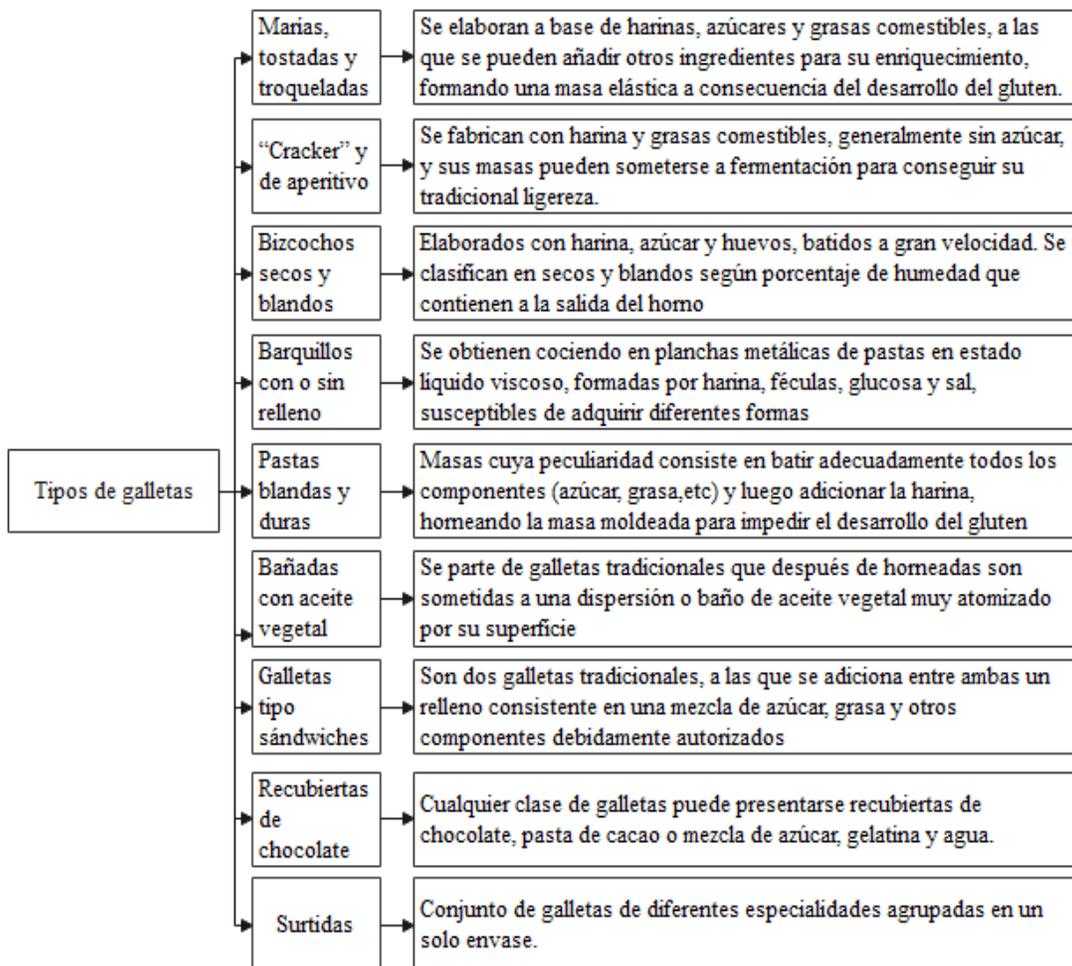


Fuente: INUTCAM, 2008.

Figura 2.1 Clasificación de las galleta

2.4 Tipos de galletas

En la figura 2.2, se muestra los tipos de galletas.



Fuente: INUTCAM, 2008.

Figura 2.2 Tipos de galletas

2.4.1 Composición fisicoquímica de la galleta

Implica la caracterización de los alimentos desde el punto de vista fisicoquímico, determinación de su composición química, es decir, cuales sustancias están presentes en un alimento (proteínas, grasas, vitaminas, minerales, hidratos de carbono, contaminantes metálicos, residuos de plaguicidas, toxinas, antioxidantes, entre otros) y las cantidades estos compuestos se encuentran (Zumbado, 2004).

En la tabla 2.1, se indican los valores de composición fisicoquímica de la galleta.

Tabla 2.1*Composición fisicoquímica de la galleta*

Análisis Fisicoquímico	Unidad	Resultado
Humedad	%	0,41
Cenizas	%	1,56
Proteína	%	8,15
Grasa	%	9,42
Calorías	Kcal/100 g	439,22
Fibra total	%	9,07

Fuente: Román & Valencia, 2006

2.4.2 Composición nutricional de la galleta

En la tabla 2.2, se indican los valores de la composición nutricional de la galleta en 228 g.

Tabla 2.2*Composición nutricional de la galleta*

Componente	Unidad	Resultado
Grasa total	g	13
Grasa saturada	g	5
Grasa trans	g	2
Colesterol	mg	30
Sodio	mg	660
Carbohidrato total	g	31
Fibra	g	0
Azúcares	g	5
Proteína	g	5
Vitamina A	%	4
Vitamina C	%	2
Calcio	%	15
Hierro	%	4

Fuente: Botero, 2012

2.5 Aplicaciones de la galleta

El consumo de galletas forma aporta energía gracias a los macronutrientes, vitaminas y minerales que contienen. Las galletas son una solución para ingerir carbohidratos de manera saludable. Sus ingredientes básicos son azúcar, agua, grasa (o mantequilla) y, sobre todo, harina, que aporta almidones imprescindibles para el desarrollo físico y de los procesos de aprendizaje y memoria, además de minerales

como hierro y calcio. Además, su contenido en fibra ayuda a un mejor funcionamiento intestinal. En contraposición, su promedio de grasa es baja e incluye poca del tipo saturado, la cual se relaciona con obesidad y aumento de colesterol. Según el Instituto de la Galleta, Nutrición y Salud, “las galletas combinadas con un producto lácteo y una fruta pueden satisfacer las exigencias de un desayuno o una merienda equilibrada”. Esta ingesta es imprescindible, ya que debe cubrir el 20-25% de las necesidades energéticas de todo el día. Además, “este alimento tiene otras ventajas como su fácil digestibilidad, su larga conservación, su sabor, y su amplia variedad, todas ellas características que las hace atractivas en una dieta satisfactoria”(Russolillo, 2008).

2.6 Caracterización de las materias primas utilizadas en la elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

Las materias primas que se utilizaron para la elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca son las siguientes:

2.6.1 Harina de trigo

Según (COOP, 2012) manifiesta que: la harina es el polvo fino que se obtiene del cereal molido y de otros alimentos ricos en almidón. Se puede obtener harina de distintos cereales. Aunque la más habitual es harina de trigo. La harina puede contener mayor o menor proporción del grano entero, según se deseche mayor o menor cantidad de salvado y germen. La proporción de grano entero que se utiliza para obtener la harina se denomina grado de extracción. Cuando hablamos de un 90% de grado de extracción se trataría de una harina que contiene un 90% del cereal completo y se ha desechado un 10% de salvado y germen. Por lo tanto una harina integral sería una harina con el 100% de extracción.

La clasificación más empleada en América en la basada en numeración por “ceros”, en la que los ceros determinan el grado de pureza de la harina y así tenemos harina de un cero (0), dos ceros (00), tres ceros (000) y cuatro ceros (0000).

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

2.6.1.1 Composición fisicoquímica de la harina de trigo

En la tabla 2.3, se muestra la composición fisicoquímica de la harina de trigo por cada 100 g.

Tabla 2.3

Composición fisicoquímica de la harina de trigo

Componente	Harina (g)
Humedad	13,04
Proteína	12,94
Grasa	1,25
Fibra cruda	2,32
Cenizas totales	0,94
Carbohidratos	69,51
Gluten húmedo	32,76
Gluten seco	10,92

2016)

Fuente: (Ponce y col.,

2.6.1.2 Propiedades nutricionales de la harina de trigo

En la tabla 2.4, se muestra las propiedades nutricionales de la harina de trigo por cada 100 g.

Tabla 2.4***Propiedades nutricionales de la harina de trigo***

Componente	Unidad	Resultado
Calcio	mg	15,00
Fosforo	mg	108,00
Hierro	mg	1,17
Tiamina	mg	0,12
Riboflavina	mg	0,04
Niacina	mg	1,25
Ácidos grasos saturados	g	0,16
Potasio	mg	107,00
Sodio	mg	2,00
Zinc	mg	0,70
Magnesio	mg	22,00
Vitamina B6	mg	0,04

Fuente: INCAP, 2012

2.6.1.3 Aplicaciones de la harina de trigo

Es uno de los ingredientes básicos en la cocina. La harina tiene infinidad de aplicaciones y como también hay varios tipos de harina, lo cual es indispensable en la panadería y en la repostería, pero además se usa para rebozar, dar consistencia a salsas y cremas, preparar pastas, etc. (Baticón, 2020).

2.6.1 Harina de cañahua

Cañahua Nombre científico *Chenopodium pallidicaule* Aellen. Nombres comunes por países Bolivia: cañahua, qañawa, iswalla, aara [aymara], kañawi, kañawa, kañahua, kañagua [quechua]. Perú: cañihua o qañiwa. Las semillas de cañihua se han consumido tradicionalmente tostadas, ya sea entera o molida, forma que lleva el nombre local de cañihuaco. Este método les da un agradable sabor a nuez, y una vez tostadas y molidas, las semillas de cañihua se transforman en harina de cañihua, la cual se consume en una variedad de formas culinarias (HerbaZest, 2021).

2.6.2.1 Composición fisicoquímica de la harina de cañahua

En la tabla 2.5, se muestra la composición fisicoquímica de la harina de cañahua por cada 100 g.

Tabla 2.5***Composición fisicoquímica de la harina de cañahua***

Parámetro	Resultado (g)
Agua	10,2
Proteínas	15,2
Grasa total	8,3
Carbohidratos totales	63,0
Carbohidratos disponibles	48,2
Fibra dietaria	14,9

Fuente: CENAN, 2017.

2.6.2.2 Propiedades nutricionales de la harina de cañahua

En la tabla 2.6, se muestra las propiedades nutricionales de la harina de cañahua por cada 100 g.

Tabla 2.6***Propiedades nutricionales de la harina de cañahua***

Componente	Unidad	Resultado
Cenizas	g	3,30
Calcio	mg	182,00
Fósforo	mg	350,00
Zinc	mg	5,68
Hierro	mg	15,20
Sodio	mg	11,00
Potasio	mg	1.500,00

Fuente: CENAN, 2017

2.6.2.3 Aplicaciones de la harina de cañahua

La harina de cañahua o cañihuaco como se le conoce, se le consume en bebidas o panecillos, en yogurt, leche, tortas o mazamorra de leche, tiene formas específicas de consumo con frutas como la lúcuma y plátano, leche que puede combinarse con vainilla y clavo de olor. Puede mezclarse también con chancaca, miel, mermelada de sauco, almendras y se adapta bien a la azúcar rubia. El cañihuaco es extraordinario; puede consumirse como ingrediente para helados, o dulces (Lima, 2016).

2.6.3 Harina de maca

La forma tradicional de procesar la maca consiste en dejar que los tubérculos se sequen al sol durante un máximo de 40 días; luego son triturados hasta obtener un polvo

homogéneo y fino, listo para el consumo. En el mercado podemos encontrar dos tipos de harina de maca, la cruda y la gelatinizada. La principal diferencia entre el polvo de maca crudo y el polvo de maca gelatinizado consiste en que este último es una versión más procesada. En pocas palabras, el polvo crudo se obtiene después de secar las raíces, limpiarlas y triturarlas en una pulverizadora, mientras que el polvo gelatinizado se obtiene después de cocinar los tubérculos y presurizarlos para eliminarles el contenido de almidón (Leyva, 2019).

2.6.3.1 Composición fisicoquímica de la harina de maca

En la tabla 2.7, se muestra la composición fisicoquímica de la harina de maca por cada 100 g.

Tabla 2.7

Composición fisicoquímica de la harina de maca

Parámetro	Unidad	Resultado
Energía	Kcal	328,0
Agua	g	6,6
Proteínas	g	8,7
Grasa total	g	4,1
Carbohidratos totales	g	78,9
Carbohidratos disponibles	g	70,3
Fibra dietaria	g	8,6

Fuente: CENAN, 2017.

2.6.3.2 Propiedades nutricionales de la harina de maca

En la tabla 2.8, se muestra las propiedades nutricionales de la harina de maca por cada 100 g.

Tabla 2.8***Propiedades nutricionales de la harina de maca***

Componente	Unidad	Resultado
Cenizas	g	1,70
Calcio	mg	61,00
Fósforo	mg	250,00
Zinc	mg	2,00
Hierro	mg	7,97
Sodio	mg	3,00
Potasio	mg	609,00

Fuente: CENAN, 2017.

2.6.3.3 Aplicaciones de la harina de maca

Es fácil incorporar la maca a la dieta, ya sea en presentaciones como cápsulas, tabletas, polvo o extracto líquido. En cuanto a sus usos en la cocina, se puede emplear en sopas, líquidos como leche, café o batidos, además se puede comer con cereales o en barritas energéticas. Además de emplearse en la cocina, se le atribuyen propiedades medicinales para el tratamiento de muchos males. (Manzanero, 2021).

2.7 Caracterización de los insumos alimentarios utilizados en la elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

Los insumos necesarios para la elaboración de galletas dulces se detallan a continuación:

2.7.1 Mantequilla sin sal

Cremosa y delicada, la mantequilla da un sabor distintivo a las preparaciones en las que se usa. También absorbe sabores naturales y, en consecuencia, ayuda en la distribución uniforme de los aromas. Otro beneficio es que la grasa de la leche de la mantequilla actúa como una barrera para prevenir la pérdida de humedad en productos horneados terminados. Un toque de sal balancea los sabores, puede potenciar y resaltar el toque dulce y al mismo tiempo mitigarlo para que no empalague. Pero, si la receta no especifica qué tipo de mantequilla emplear, se da por entendido que se usa el producto sin sal, ya que de esta manera se controla la cantidad de sodio que se le coloca a la preparación. En comparación con el tipo sin sal, la mantequilla salada tiene un

contenido de agua mucho más alto, lo cual es malo para hornear. Demasiada agua en la mantequilla afecta tanto la textura de la mantequilla como, lo que es más importante, las galletas. Demasiada agua en su mantequilla detiene el proceso adecuado de formación del gluten y afectará la textura de sus productos horneados (Ettegui, 2019).

2.7.2 Azúcar impalpable

El azúcar de repostería se usa para referirse a cualquiera de una variedad de azúcares refinados que se han molido finamente en forma de polvo. Es simplemente otro nombre para el azúcar en polvo. La textura lo hace ideal para crear galletas que se derriten en la boca o usarse como un polvo decorativo sobre postres, productos horneados y frutas. Las partículas más finas hacen que el azúcar de repostería sea perfecto para crear alimentos dulces que necesitan una consistencia suave. El azúcar de repostería se comporta de manera diferente a otras formas de azúcar en las recetas y generalmente hay una razón por la que se usa en lugar de azúcar granulada. Además, algunas recetas de galletas y pasteles requieren azúcar en polvo porque el objetivo es una consistencia más densa. Al batir mantequilla y azúcar, los cristales más grandes del azúcar granulada incorporan más aire a las masas que el azúcar de repostería. Una galleta hecha con azúcar granulada quedará crujiente mientras que uno hecho con azúcar en polvo será tierno y se derretirá en la boca (Alfaro, 2020).

2.7.3 Huevo

Es uno de los principales ingredientes en la composición de productos de repostería. Los huevos dan estructura y esponjosidad. Son utilizados como aglutinantes o emulsificantes, porque permiten que se ligen los ingredientes sólidos como las grasas con los líquidos. Los huevos son agente de crecimiento y aumentan el volumen. Suavizan la masa, mejoran el valor nutritivo, dan sabor y color. Específicamente, la yema de huevo (lecitina) proporciona sabor y suavidad, además ayuda a retener el líquido. Las claras de huevo (albúmina) esponjan y dan volumen, deben usarse muy frescos y estar a temperatura ambiente porque usar huevos fríos afecta el cremado del batido, el desarrollo y volumen (Quintero, 2014).

2.7.4 Esencia de vainilla

La vainilla es un aromatizante sofisticado, que aporta una fragancia muy especial a los platos, guisos, y la repostería en la que se incluye. La industria alimentaria emplea la esencia de vainilla en la producción de chocolates, dulces, galletas y cereales (Vilarrasa, 2020).

2.7.5 Polvo de cacao sin azúcar

Uno de los productos derivados del cacao es el cacao en polvo. El cacao en polvo puede usarse tanto en repostería, para hacer chocolate, como chocolate en polvo instantáneo o también en cosmética. Nutricionalmente el polvo de cacao es un alimento muy calórico con aporte de proteínas, pocos carbohidratos de carbono y una cantidad de grasa que depende del preparado, aunque, en parte, es saturada. De este modo, los expertos aseguran que el consumo de cacao, pero siempre siendo un consumo moderado. Además, recuerdan que es importante consumir cacao en polvo procedente de cultivo ecológico para evitar el consumo de contaminantes o de organismos modificados genéticamente (Casas, 2021).

2.8 Tipo de proceso tecnológico a ser utilizado para elaborar galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

El conocimiento de la funcionalidad de cada uno de los ingredientes que componen una galleta es de gran interés en la industria galletera. Este conocimiento nos permite no sólo reaccionar de forma rápida y eficaz ante posibles variaciones no deseadas de la galleta durante la producción, sino también la innovación y el desarrollo de nuevas formulaciones de galletas para satisfacer al cliente. Producir galletitas puede requerir desde cuatro hasta quince o más materias primas, a las que se suman los envases y otros elementos complementarios que hacen al producto final. Asegurar sabor, calidad y buena conservación es clave para alcanzar éxito en un mercado exigente y competitivo. Cabe aclarar que el reducido contenido de humedad de estos productos es un factor que evita el desarrollo microbiano (Lezcano, 2012).

2.9 Horneado y cocción

Durante la cocción de someterse complejo físico-química, coloidal y los cambios en la prueba, lo que resultó en el producto formado con su característico sabor y textura. La reacción de Maillard (técnicamente: glucosilación no enzimática de proteínas) se trata de un conjunto complejo de reacciones químicas que se producen entre las proteínas y los azúcares reductores que se dan al calentar (no es necesario que sea a temperaturas muy altas. Se trata básicamente de una especie de caramelización de los alimentos. Hornear es el principal parámetro que provoca el calentamiento de la masa y eliminar el exceso de humedad del mismo. Por lo tanto, hornear galletas es un proceso combinado de secado y horneado. En el proceso de cocción, se producen cambios físicos y químicos de la masa. Los cambios particularmente significativos sufren proteínas y harina de almidón, que juegan un papel importante en la formación de la estructura de las galletas. Cuando la masa se calienta a una temperatura de 50 - 70 ° C, las sustancias proteínicas de la masa se desnaturalizan y coagulan, liberando el agua absorbida durante la hinchazón, y el almidón se hincha y pasteuriza parcialmente con el agua liberada. Las proteínas de gluten deshidratadas y coaguladas y el almidón parcialmente gelatinizado forman un esqueleto poroso, en cuya superficie se adsorbe la grasa en forma de películas delgadas (Saldaña, 2015).

2.10 Reglamento técnico de la fortificación de la harina de trigo y mezclas a base de harina de trigo

Según los Ministerios (Ministerio de Salud y Deportes y de Desarrollo Productivo y Economía Plural, 1996; (MSD, DP & EP)), los últimos estudios realizados por la Secretaría Nacional de Salud han demostrado la magnitud y trascendencia de las anemias nutricionales. Más del 50% de las mujeres embarazadas y un 35% de los escolares padecen de anemia. La presencia de anemia durante el embarazo incrementa el riesgo de mortalidad materna y perinatal, aumenta la prevalencia de niños con bajo peso al nacer y prematuridad. En los niños las anemias son causa de retardo en el crecimiento físico y afectan el desarrollo mental, reduce las defensas orgánicas y por

ello se producen altos porcentajes de enfermedades infecciosas, incrementándose la mortalidad infantil. Se ha demostrado que la principal causa de la anemia, en especial en mujeres embarazadas y niños menores de tres años, es el aporte insuficiente de hierro y folato en la alimentación diaria de la mayor parte de nuestra población. La forma más eficiente y sostenible para combatir y prevenir la carencia de hierro es fortificando los alimentos de consumo masivo en la población. Se ha establecido que la harina de trigo es un alimento consumido en cantidades predecibles por la mayoría de la población boliviana, lo que convierte en un buen vehículo de fortificación con nutrientes vitales como el hierro y folato.

2.10.1 Artículo 1. Del campo de aplicación

Las disposiciones del presente reglamento, se aplican a la harina de trigo, premezclas de micronutrientes y mezclas a base de harina de trigo, producidas en el país, sean estas importadas o donadas y destinadas al consumo humano, utilizadas en la fabricación de productos de panadería, pastelería, galletería, pastas y otros productos derivados.

2.10.2 Artículo 2. Obligatoriedad de fortificación

Toda harina de trigo, premezclas de micronutrientes y mezclas a base de harina de trigo producidas en el país, importadas o donadas, que se destine a la venta, donación directa y elaboración de productos derivados deberán estar fortificados con hierro (sulfato ferroso anhidro), ácido fólico y vitaminas del complejo B, conforme establece el Artículo 3 del Decreto Supremo 24420 de 27 de noviembre de 1996, y las Resoluciones Bi-Ministeriales emitidas por los Ministerios de Salud y Deportes y de Desarrollo Productivo y Economía Plural, R.BM. N° 003 de 23 de julio de 2010.

2.10.3 Artículo 3. El vehículo

Los productos a fortificar con premezcla de micronutrientes son: la harina de trigo y mezclas a base de harina de trigo.

2.10.4 Artículo 5. Niveles de la fortificación y procedimiento

Los niveles de adición de micronutrientes, han sido establecidos por el Ministerio de Salud y Deportes a través de la Unidad de Nutrición, basada en la Reglamentación establecida en 16 de acuerdo al D.S. 24420, siendo responsabilidad de los industriales molineros, de los importadores y de las entidades donadoras de harina de trigo y mezclas a base de harina de trigo, cumplir obligatoriamente con su aplicación.

Toda harina de trigo y mezclas a base de harina de trigo destinados al consumo humano que se encuentren a disposición en el territorio nacional deberán estar fortificados con los siguientes niveles de micronutrientes.

En la tabla 2.9, se muestra los niveles mínimos de micronutrientes en la harina de trigo y mezclas a base de harina de trigo.

Tabla 2.9

Niveles mínimos de micronutrientes en la harina de trigo y mezclas a base de harina de trigo

Micronutriente	Forma	Nivel mínimo (mg/Kg)
Vitamina B1	Mononitrato de tiamina	4,4
Vitamina B2	Riboflavina	2,6
Niacina	Nicotinamida	35,6
Folato	Ácido fólico	1,5
Hierro	Sulfato ferroso anhidro	30,0

Fuente: MSD, DP & EP, 1996.

CAPÍTULO III
DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 Desarrollo de la parte experimental

La parte experimental del trabajo de investigación "Elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca", se realiza en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA), perteneciente a la Carrera de Ingeniería de Alimentos de la Facultad de Ciencias y Tecnologías de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho en el departamento de Tarija de la provincia Cercado.

3.2 Tipo de intervención para la parte experimental

El presente trabajo de investigación de "Elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca", se utiliza la metodología experimental de laboratorio con el fin de desarrollar un producto a base de los siguientes métodos:

- Análisis fisicoquímico y microbiológico de las harinas de cañahua, trigo y maca.
- Análisis diseño factorial de 2^3 en la etapa de dosificación de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca.
- Análisis diseño factorial 2^2 en la etapa de horneado de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca.
- Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca.
- Operacionalización de las variables en la elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca.

3.3 Paradigma positivista

El "paradigma positivista se califica de cuantitativo, empírico analítico, racionalista, sistemático gerencial y científico tecnológico". Por tanto, el paradigma positivista sustentará a la investigación que tenga como objetivo comprobar una hipótesis por medios estadísticos o determinar los parámetros de una determinada variable mediante la expresión numérica (Ricoy, 2006).

3.4 Tipo de investigación

Según el nivel de conocimiento científico (observación, descripción, explicación) al que espera llegar el investigador, se debe formular el tipo de estudio, es decir de acuerdo al tipo de información que espera obtener, así como el nivel de análisis que deberá realizar. También se tendrán en cuenta los objetivos y las hipótesis planteadas con anterioridad (Vásquez, 2016).

3.5 Enfoque de la investigación

Se realiza mediante la recolección de información cuantitativa orientada por conceptos empíricos medibles, derivados de los conceptos teóricos con los que se construyen las hipótesis conceptuales. El análisis de la información recolectada tiene por fin determinar el grado de significación de las relaciones previstas entre las variables (Monje, 2011).

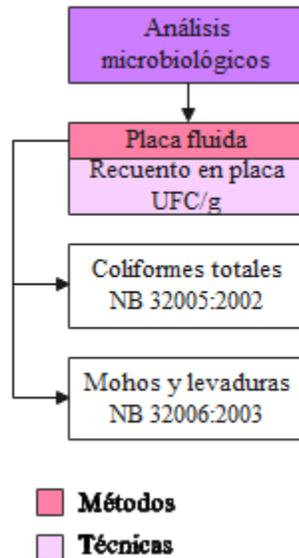
3.6 Métodos – técnicas e instrumentos

El método científico tiende a reunir una serie de características que permiten la obtención de nuevo conocimiento científico. Es el único procedimiento que no pretende obtener resultados definitivos y que se extiende a todos los campos del saber. En cuanto a sus etapas, cualquiera que sea la división establecida de dicho procedimiento, con la ayuda de las técnicas de investigación correspondientes, deben superar las siguientes: identificación y definición del problema; recogida y tratamiento de los datos para su interpretación y difusión de los resultados obtenidos. El método científico, rige toda la actividad científica, desde la gestación del problema hasta la difusión del resultado (Asensi & Parra, 2002).

3.6.1 Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de las harinas de trigo, cañahua y maca

Los análisis fisicoquímicos de las harinas de trigo, cañahua y maca se adquieren de las etiquetas correspondientes de cada producto, datos que se muestra en el Anexo B.

La figura 3.1, muestra los análisis microbiológicos realizados a las harinas de trigo, cañahua y maca en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnologías de la Universidad Juan Misael Saracho.

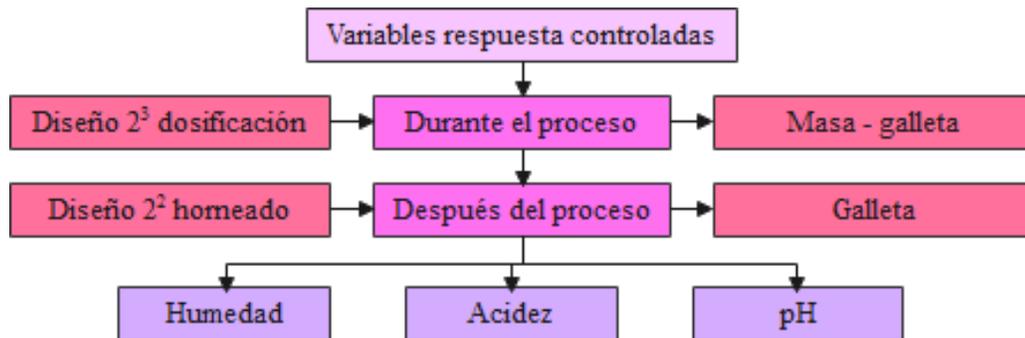


Fuente: CEANID, 2022

Figura 3.1 Análisis microbiológicos de las harinas de trigo, cañahua y maca.

3.6.2 Control a las variables respuestas de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

La figura 3.2, muestra el control de las variables respuestas controladas en el proceso de elaboración de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca de los dos diseños aplicados durante y después del proceso, se realizó el pH, acidez y contenido de humedad; las cuales fueron controladas en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA).

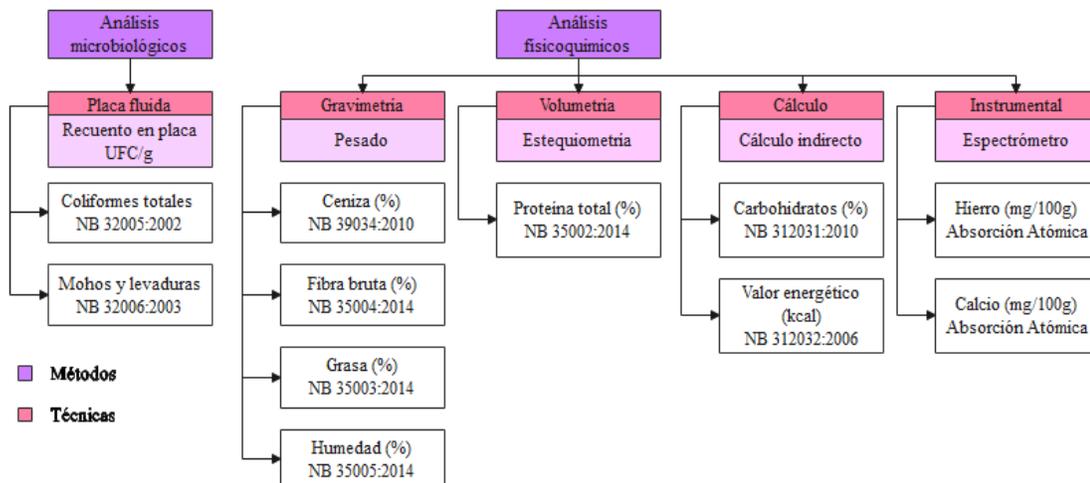


Fuente: LACIA, 2022

Figura 3.2 Control de las variables respuesta del proceso de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

3.6.3 Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

La figura 3.3, indica los métodos y técnicas que se utilizaron para el control de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca.

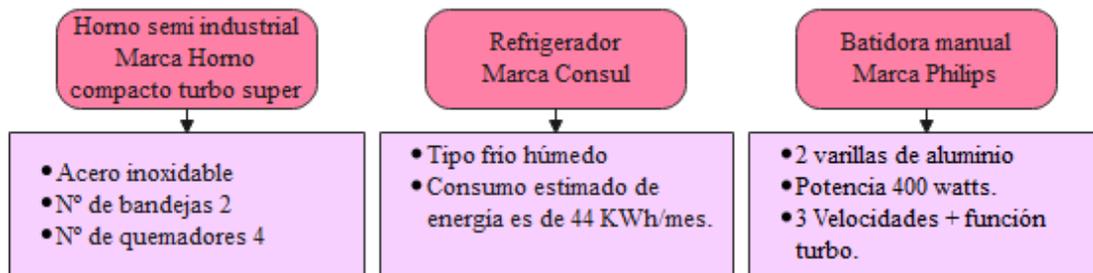


Fuente: CEANID, 2022

Figura 3.3 Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca.

3.6.4 Equipos de proceso utilizados en la elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

La figura 3.4, detalla las especificaciones técnicas de los equipos de proceso utilizados para la elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca. En la figura A.1 (Anexo A), se muestran los equipos de proceso utilizados.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.4 Equipos de proceso utilizados en la elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

3.6.5 Instrumentos de laboratorio utilizados en la elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

La figura 3.5, detalla las especificaciones técnicas de los instrumentos de laboratorio utilizados para la recopilación de datos en el proceso de elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca. En la figura A.2 (Anexo A), se muestran los instrumentos utilizados.

Balanza de precisión	Termobalanza	pH-metro digital
Marca: RADWAG PS: 4500.R2 Capacidad: máx 4500 g mín 0,5 g Error: 0,1 g	Modelo: PM 60.3Y.WH S/N: 579775 Capacidad: 60 g. T° Max: 250 °C Hecho en: Polonia	Modelo: LAQUA-PH1300 Modelo del electrodo: 9615S Rango: 0-14 Potencia: 0,7 W Hecho en: Japón
Bureta digital	Agitador magnético	
Modelo: Digitrate-PRO 50 Marca: JENCONS Capacidad: 0,01 – 50 ml Calibración: Digital Impresión: 0,1 % Exactitud \pm 0,2	Modelo: M57-H550-Pro Potencia: 1050 W Rpm: 0 – 1500 / min. T° Max: 550 °C / 1022 °F Frecuencia: 50/60 Hz Hecho en: China	

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.5 Instrumentos utilizados en el proceso de elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

3.6.6 Materiales de laboratorio utilizados en la elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

La figura A.3 (Anexo A), muestra los materiales de laboratorio utilizados y estos se detallan a continuación:

- **Termómetro de alcohol:** capacidad de 200° C de vidrio.
- **Probeta:** capacidad de 100 ml de vidrio.
- **Matraz aforado:** capacidad de 250 ml de vidrio.
- **Vasos de precipitado:** capacidad de 250 ml y 50 ml de vidrio.
- **Embudo:** tamaño pequeño de plástico.
- **Espátula:** tamaño mediano de acero inoxidable.
- **Mortero con mazo:** tamaño pequeño de porcelana.
- **Pizeta:** tamaño mediana con agua destilada.

3.6.7 Utensilios de cocina utilizados en la elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

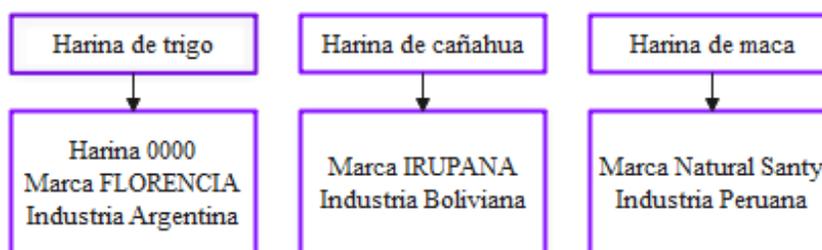
Los utensilios de cocina que se utilizaron para el proyecto de investigación son:

- **Cucharilla:** tamaño pequeña de acero inoxidable.

- **Cuchillo:** tamaño mediano de acero inoxidable.
- **Fuente:** tamaño mediano de plástico.
- **Platillo:** tamaño pequeño de porcelana.
- **Espátula:** tamaño mediana de plástico.
- **Papel mantequilla:** un rollo.
- **Colador:** tamaño mediano de plástico.

3.6.8 Materias primas utilizadas en la elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

La figura 3.6, se muestra las especificaciones de las materias primas utilizadas en la elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca (Anexo A; figura A.4).

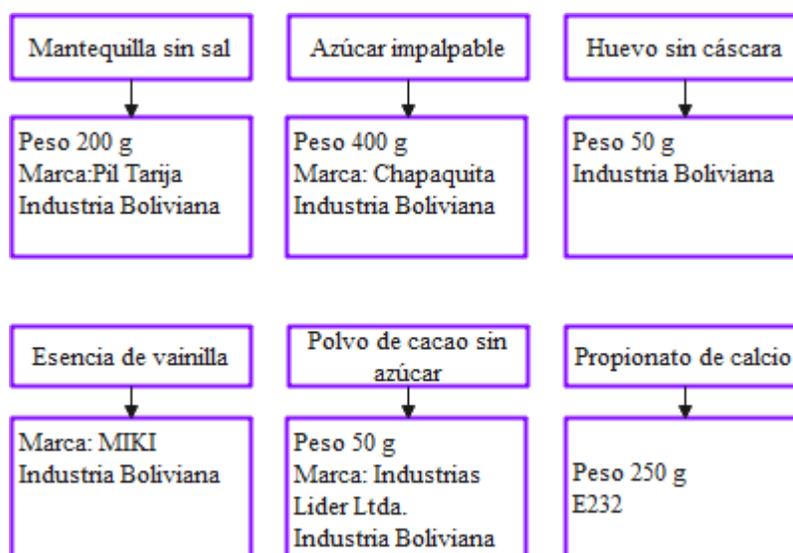


Fuente: Elaboración propia

Figura 3.6 Materias primas utilizadas en la elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

3.6.9 Insumos utilizados en la elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

La figura 3.7, indica las especificaciones de los insumos utilizados en la elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca (Anexo A; figura A.5).



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.7 Insumos utilizados en la elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

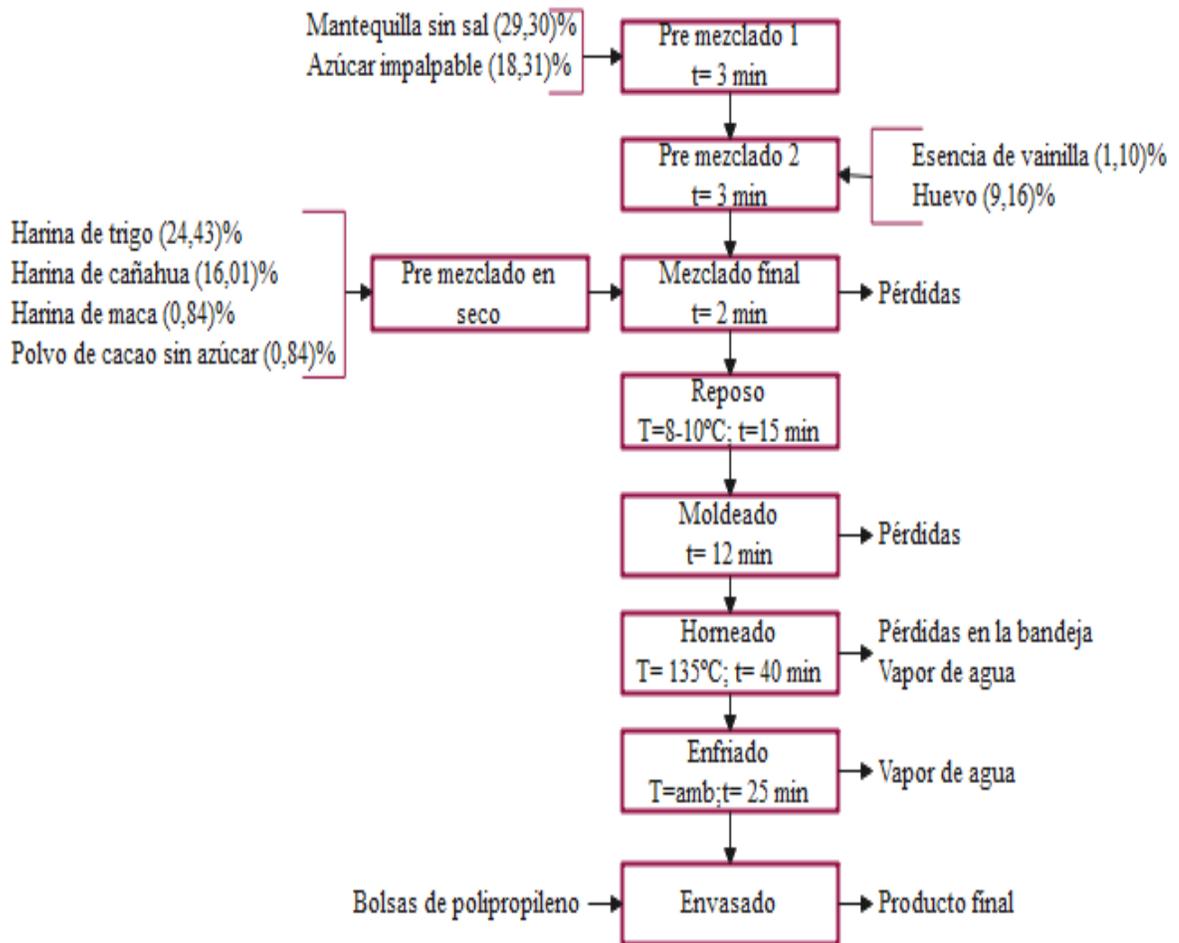
3.6.10 Reactivos químicos de laboratorio

Los reactivos químicos de laboratorio utilizados para la determinación de acidez y pH en la elaboración de galletas dulces se detallan a continuación:

- **Hidróxido de sodio (NaOH):** 0,1 N.
- **Azul de bromotimol:** 0,1 %

3.7 Diagrama de flujo para la elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

La figura 3.8, muestra el diagrama de flujo para la elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.8 Diagrama de flujo para la elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

3.7.1 Descripción del diagrama de flujo de la elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

Los pasos a seguir para la elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca son los siguientes:

3.7.1.1 Pre mezclado en seco



Se realiza el pesado de las harinas (trigo 24,43 %, cañahua 16,01 % y maca 0,84%), polvo de cacao sin azúcar (0,84 %) en una fuente de plástico para enseguida ser mezclados de forma homogénea.

Fuente: Elaboración propia
Figura 3.9 Pre mezclado en seco

3.7.1.2 Pre mezclado 1



En un bol con ayuda de una batidora manual se mezcla la mantequilla sin sal (29,30%) con el azúcar impalpable (18,31%) durante tres minutos.

Fuente: Elaboración propia
Figura 3.10 Pre mezclado 1

3.7.1.3 Pre mezclado 2



Obtenido el pre mezclado 1 se añade la esencia de vainilla (1,10%) y el huevo (9,16%), se mezcla con la batidora manual por un tiempo de 3 minutos.

Fuente: Elaboración propia
Figura 3.11 Pre mezclado 2

3.7.1.4 Mezclado final



Por último, se le añade el pre mezclado seco para seguir batiendo por un tiempo de 2 minutos y obtener una mezcla homogénea.

Fuente: Elaboración propia
Figura 3.12 Mezclado final

3.7.1.5 Reposo



Después del mezclado se lleva a refrigeración por un tiempo de 15 minutos a una temperatura entre 8 a 10° C para que adquiera una textura adecuada.

Fuente: Elaboración propia
Figura 3.13 Reposo

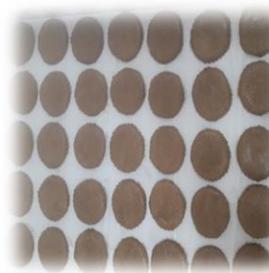
3.7.1.6 Moldeado



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.14 Moldeado

Rellenar los moldes con la mezcla y presionar para dar forma a las galletas colocándolas sobre una bandeja con papel mantequilla.

3.7.1.7 Horneado



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.15 Horneado

Precalentar el horno a una temperatura de 135°C, una vez colocado las galletas en el horno se hornean por un tiempo de 40 minutos.

3.7.1.8 Enfriado



Dejar enfriar las galletas a temperatura ambiente aproximadamente 25 minutos.

Fuente: Elaboración propia
Figura 3.16 Enfriado

3.7.1.9 Envasado



Envasar en bolsas de polipropileno de alta densidad, obteniendo el producto final con su empaque correspondiente.

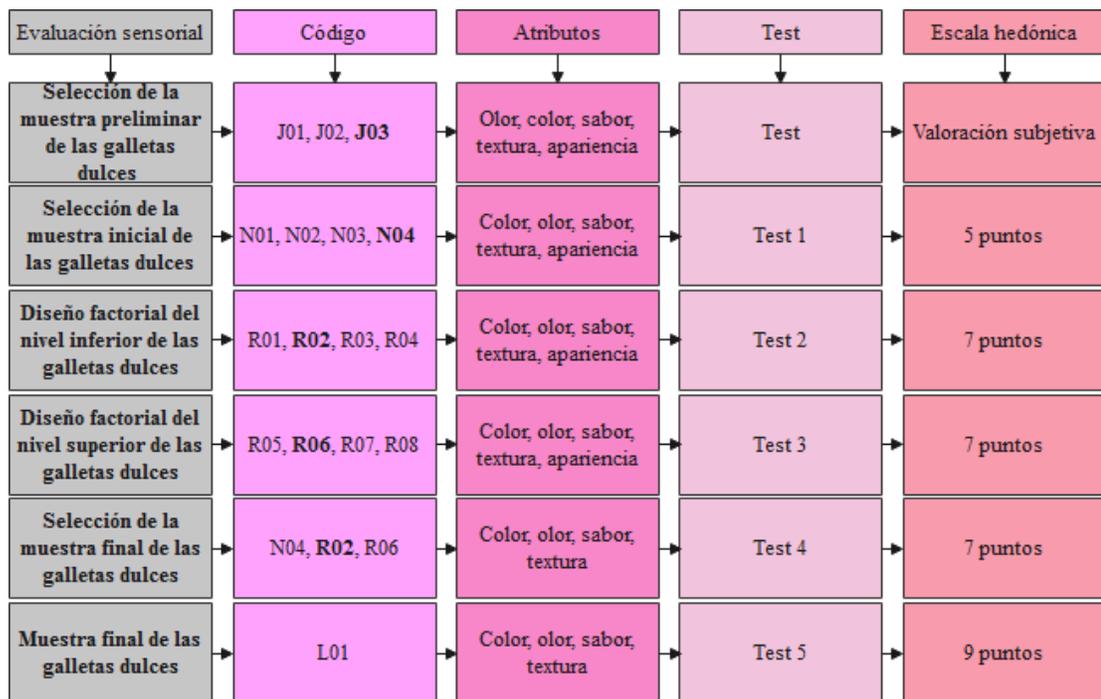
Fuente: Elaboración propia
Figura 3.17 Envasado

3.8 Evaluación sensorial

El análisis sensorial o evaluación sensorial es el análisis de los alimentos u otros materiales a través de los sentidos. Otro concepto que se le da a la evaluación sensorial es el de la caracterización y análisis de aceptación o rechazo de un alimento por parte del catador o consumidor, de acuerdo a las sensaciones experimentadas desde el mismo momento que lo observa y después que lo consume. Es necesario tener en cuenta que esas percepciones dependen del individuo, del espacio y del tiempo. También se considera simplemente como: el análisis de las propiedades sensoriales, se refiere a la medición y cuantificación de los productos alimenticios o materias primas evaluados por medio de los cinco sentidos (Hernández, 2005).

En el presente trabajo se realiza una evaluación sensorial a las muestras con el propósito de conocer el agrado o desagrado del producto, se utiliza escala hedónica de 5, 7 y 9 puntos para la recolección de datos a través de jueces no entrenados.

En la figura 3.18, se muestra las evaluaciones sensoriales realizadas de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca en todo el proceso de elaboración utilizando 15 a 21 jueces no entrenados.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.18 Evaluación sensorial de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

3.9 Diseño Experimental

Diseñar estadísticamente un experimento es realizar una prueba o una serie de pruebas buscando caracterizar las variables explicativas o factores (X_i) de mayor influencia en un ensayo de interés, evaluado a través de una o varias variables respuesta(s), tal que si deliberada o sistemáticamente se introducen cambios controlados en algunas de las variables explicativas del proceso, siempre sea posible observar o cuantificar los

cambios que estos generan en la(s) variable(s) respuesta(s). Adicionalmente, se busca minimizar el efecto de las variables no controlables (covariables), procurando con ello estabilizar y minimizar la variabilidad de las respuestas, identificando los factores que contribuyen a las mayores causas de variabilidad (Melo et al., 2020).

3.9.1 Diseño Factorial 2^k

Los diseños factoriales se usan ampliamente en experimentos que incluyen varios factores, buscando estudiar el efecto conjunto de los factores sobre la respuesta. Hay varios casos especiales del diseño factorial que son importantes debido a su uso generalizado en investigación. Se destacan los arreglos 2^k porque constituyen las bases de otros diseños de gran valor práctico. El más importante de estos arreglos se presenta cuando se ensayan k factores, cada uno con dos niveles. En este caso, se habla de arreglos factoriales 2^k . Los niveles de estos factores pueden ser cuantitativos o cualitativos (Melo et al., 2020).

Se describe a continuación la ecuación 3.1 que se utilizó para el presente trabajo de investigación.

$$2 \times 2 \times \dots \times 2 = 2^k \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

Donde:

k = factores o variables

2 = niveles o tratamientos

3.9.2 Diseño factorial 2^3 en la etapa de dosificación para la elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

El diseño factorial 2^3 , es aplicado en la etapa de dosificación, de las materias primas e insumos y el diseño factorial sería:

$$2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8 \text{ corridas/prueba} \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

Los niveles de los factores (nivel inferior y nivel superior), aplicados en la etapa de dosificación conformada por tres variables: harina de cañahua (a), harina de maca (b) y polvo de cacao sin azúcar (c) se describen en la siguiente tabla 3.1.

Tabla 3.1

Niveles de variación de los factores en la etapa de dosificación para la elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

Factores		Unidad	Nivel inferior	Nivel superior
(a)	Porcentaje de harina de cañahua	%	13,48	16,01
(b)	Porcentaje de harina de maca	%	0,84	3,37
(c)	Porcentaje de polvo de cacao sin azúcar	%	0,84	3,37

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 3.2, se presentan las combinaciones de tratamientos aplicados y las variables respuestas en la etapa de dosificación para la elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca.

Tabla 3.2

Matriz de diseño factorial 2³ aplicado en la etapa de dosificación para la elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca.

Pruebas	Tratamientos	Factores			Interacciones			Respuesta Humedad	Respuesta pH	Respuesta Acidez	
		a	b	c	ab	ac	bc				abc
1	(1)	-	-	-	+	+	+	-	Y ₁	Y ₁	Y ₁
2	a	+	-	-	-	-	+	+	Y ₂	Y ₂	Y ₂
3	b	-	+	-	-	+	-	+	Y ₃	Y ₃	Y ₃
4	ab	+	+	-	+	-	-	-	Y ₄	Y ₄	Y ₄
5	c	-	-	+	+	-	-	+	Y ₅	Y ₅	Y ₅
6	ac	+	-	+	-	+	-	-	Y ₆	Y ₆	Y ₆
7	bc	-	+	+	-	-	+	-	Y ₇	Y ₇	Y ₇
8	abc	+	+	+	+	+	+	+	Y ₈	Y ₈	Y ₈

Fuente: Elaboración propia.

Dónde:

Y_i = contenido de humedad de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

Y_i = pH de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

Y_i = porcentaje de acidez (ácido láctico) de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

3.9.3 Diseño factorial 2^2 en la etapa de horneado para la elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

En la etapa de horneado se aplica un diseño factorial 2^2 y el diseño factorial sería:

$$2^2 = 2 \times 2 = 4 \text{ corridas/prueba} \quad (\text{Ecuación 3.3})$$

Los niveles de los factores (nivel inferior y nivel superior), aplicados en la etapa de horneado conformado por dos variables: tiempo de horneado (t) y temperatura de horneado (T) se describen en la siguiente tabla 3.3.

Tabla 3.3

Niveles de variación de los factores en la etapa de horneado para la elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

Factores		Unidad	Nivel inferior	Nivel superior
(t)	Tiempo de horneado	min.	35	45
(T)	Temperatura de horneado	°C	135	145

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 3.4, presenta las combinaciones de tratamientos aplicados en la etapa de horneado para la elaboración de galletas dulce enriquecidas con harina de cañahua y maca.

Tabla 3.4

Matriz de diseño factorial 2^2 aplicado en la etapa de horneado para la elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca.

Pruebas	Tratamientos	Factores		Interacciones	Respuesta Humedad
		t	T	T*t	Y_{it}
1	(1)	-	-	+	Y_1
2	a	+	-	-	Y_2
3	b	-	+	-	Y_3
4	ab	+	+	+	Y_4

Fuente: Elaboración propia.

Dónde:

Y_i = contenido de humedad de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

3.10 Operacionalización de las variables en la elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

En la tabla 3.5, se muestra la operacionalización de las variables en la elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca.

Tabla 3.5

Operacionalización de las variables en la elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

Hipótesis	Variables	Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	
La tecnología de cereales a ser aplicada a nivel experimental permite obtener galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca de calidad nutricional para la provincia Cercado del departamento de Tarija	I N D E P E N D I E N T E	Tecnología de cereales	Tecnología utilizada en la elaboración de galletitas industriales, en sus diferentes variedades: dulces y saladas, se fabrican generalmente con harina de trigo y para conseguir sabores o propiedades estructurales especiales pueden tener añadidas pequeñas cantidades de otras harinas o almidones (Lezcano, 2012)	Porcentaje de harina de cañahua %	
			Porcentaje de harina de maca %		
			Porcentaje de polvo de cacao sin azúcar %		
	D E P E N D I E N T E	Galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca	“Se entiende por “galletas” los productos alimenticios elaborados, fundamentalmente, por una mezcla de harina, grasas comestibles y agua, adicionada o no de azúcares y otros productos alimenticios, sometida a proceso de amasado y posterior tratamiento térmico,	Análisis fisicoquímicos	Materia grasa, fibra, humedad, proteína, ceniza, etc. (%)
				Análisis microbiológicos	Coliformes totales, mohos y levaduras. UFC/g

			dando lugar a un producto de presentación muy variada, caracterizado por su bajo contenido en agua” (APROGA, 2009).	Evaluación sensorial	Sabor, olor, textura, color y apariencia.
--	--	--	---	----------------------	---

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización de las harinas de trigo, cañahua y maca

En la caracterización de las harinas de trigo, cañahua y maca, se tomaron en cuenta los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las harinas, los cuales se detallan a continuación:

4.1.1 Análisis fisicoquímico de la harina de trigo

En la tabla 4.1, se detallan los resultados del análisis fisicoquímico extraídos de la etiqueta de la harina de trigo con R.N.E. N^o: 04001818-R.N.P.A. N^o:04022677 ver (Anexo B; figura B.1).

Tabla 4.1

Análisis fisicoquímico de la harina de trigo

Parámetros	Unidad	Resultado
Valor energético	Kcal	169,00
Carbohidratos	g	36,00
Proteínas	g	4,50
Grasas totales	g	0,80
Grasas saturadas	-	No contiene
Grasas trans	-	No contiene
Fibra alimentaria	g	1,50
Sodio	-	No contiene
Hierro	mg	1,50
Niacina	mg	0,65
Tiamina	mg	0,32
Ácido fólico	µg	110,00
Riboflavina	mg	0,07

Fuente: Molinos FLORENCIA.

En la tabla 4.1, se puede observar los resultados del análisis fisicoquímico extraídos de la etiqueta de la harina de trigo que presenta: valor energético 169 Kcal, carbohidratos 36 g, proteínas 4,5 g, grasas totales 0,8 g, grasas saturadas no contiene, grasas trans no contiene, fibra alimentaria 1,5 g, sodio no contiene, hierro 1,5 mg, niacina 0,65 mg, tiamina 0,32 mg, ácido fólico 110 µg, Riboflavina 0,07 mg.

4.1.2 Análisis microbiológico de la harina de trigo

La tabla 4.2, detalla los resultados obtenidos del análisis microbiológico de la

harina de trigo de datos extraídos del (Anexo B).

Tabla 4.2

Análisis microbiológico de la harina de trigo

Microorganismos	Unidad	Resultado
Coliformes totales	UFC/g	$2,0 \times 10^1$
Mohos y Levaduras	UFC/g	$3,9 \times 10^2$

Fuente: CEANID, 2022

En la tabla 4.2 se puede observar los resultados del análisis microbiológico de la harina de trigo que presenta: Coliformes totales $2,0 \times 10^1$ UFC/g, Mohos y Levaduras $3,9 \times 10^2$ UFC/g.

4.1.3 Análisis fisicoquímico de la harina de cañahua

La tabla 4.3, detalla los resultados del análisis fisicoquímico extraído de la etiqueta de la harina de cañahua con R.S. SENASAG N⁰ 04-02-03-19-0003 ver (Anexo B; figura B.2).

Tabla 4.3

Análisis fisicoquímico de la harina de cañahua

Parámetros	Unidad	Resultado
Energía	Kcal	395,00
Proteínas	g	15,20
Grasas	g	7,69
Carbohidratos	g	67,78
Hierro	mg	25,30
Calcio	mg	195,00

Fuente: IRUPANA, 2022

En la tabla 4.3, se puede observar los resultados del análisis fisicoquímico extraído de la etiqueta de la harina de cañahua que presenta: energía 395 Kcal, proteínas 15,2 g, grasas 7,69 g, carbohidratos 67,78 g, hierro 25,3 mg, calcio 195 mg.

4.1.4 Análisis microbiológico de la harina de cañahua

La tabla 4.4, detalla los resultados obtenidos del análisis microbiológico de la harina de cañahua de datos extraídos del (Anexo B).

Tabla 4.4***Análisis microbiológico de la harina de cañahua***

Microorganismos	Unidad	Resultado
Coliformes totales	UFC/g	$3,0 \times 10^1$
Mohos y Levaduras	UFC/g	$1,6 \times 10^2$

Fuente: CEANID, 2022

En la tabla 4.4, se puede observar los resultados del análisis microbiológico de la harina de cañahua que presenta: Coliformes totales $3,0 \times 10^1$ UFC/g, Mohos y Levaduras $1,6 \times 10^2$ UFC/g.

4.1.5 Análisis fisicoquímico de la harina de maca

La tabla 4.5, detalla los resultados del análisis fisicoquímico extraído de la etiqueta de la harina de maca con R.U.C. 20522158977 ver (Anexo B; figura B.3).

Tabla 4.5***Análisis fisicoquímico de la harina de maca***

Parámetros	Unidad	Resultado
Proteínas	%	11,76
Carbohidratos	%	68,15
Fibras	%	5,19
Grasas	%	0,99
Acidez	%	0,93
Humedad	%	9,88
Potasio	mg	1.650,00
Calcio	mg	362,20
Fosforo	mg	359,90
Hierro	mg	11,00

Fuente: Natural Santy, 2022

En la tabla 4.5, se puede observar los resultados del análisis fisicoquímico extraído de la etiqueta de la harina de maca que presenta: proteínas 11,76 %, carbohidratos 68,15 %, fibras 5,19 %, grasas 0,99 %, acidez 0,93 %, humedad 9,88 %, potasio 1650 mg, calcio 362,2 mg, fosforo 359,9 mg, hierro 11,0 mg.

4.1.6 Análisis microbiológico de la harina de maca

La tabla 4.6, detalla los resultados obtenidos del análisis microbiológico de la

harina de maca de datos extraídos del (Anexo B).

Tabla 4.6

Análisis microbiológico de la harina de maca

Microorganismos	Unidad	Resultado
Coliformes totales	UFC/g	$3,0 \times 10^1$
Mohos y Levaduras	UFC/g	$2,1 \times 10^2$

Fuente: CEANID, 2022

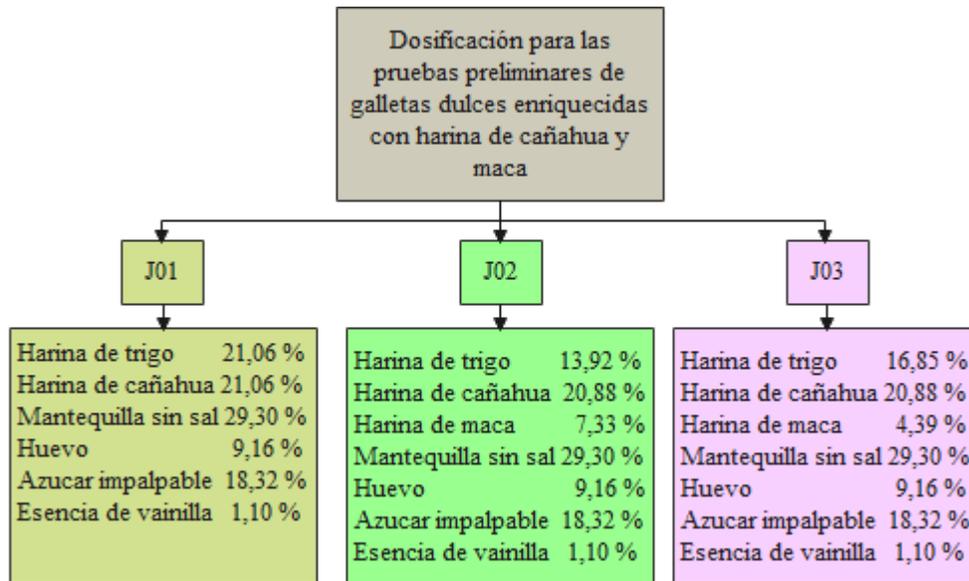
En la tabla 4.6, se observa los resultados del análisis microbiológico de la harina de maca que presenta: Coliformes totales $3,0 \times 10^1$ UFC/g, Mohos y Levaduras $2,1 \times 10^2$ UFC/g.

4.2 Caracterización de las variables del proceso de elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

Para la caracterización de las variables del proceso de elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca, se toma en cuenta pruebas preliminares e iniciales de elaboración de galletas dulces con el fin de obtener un porcentaje adecuado de las harinas incorporadas en dicha formulación de acuerdo a la palatabilidad de los jueces para obtener una muestra de galleta dulce enriquecida con harina de cañahua y maca ideal.

4.2.1 Pruebas preliminares para la elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

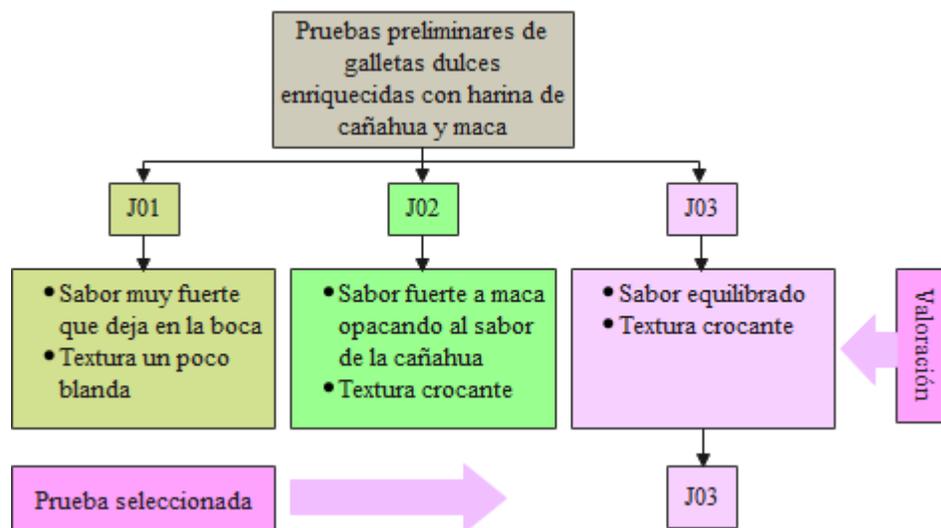
La figura 4.1, detalla las tres muestras de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca elaboradas variando los porcentajes de harinas para cada muestra obteniendo diferentes dosificaciones.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.1 Dosificación para las pruebas preliminares de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

Las tres muestras de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca elaboradas fueron evaluadas de manera subjetiva por el personal del Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos, la valoración se muestra en la figura 4.2.



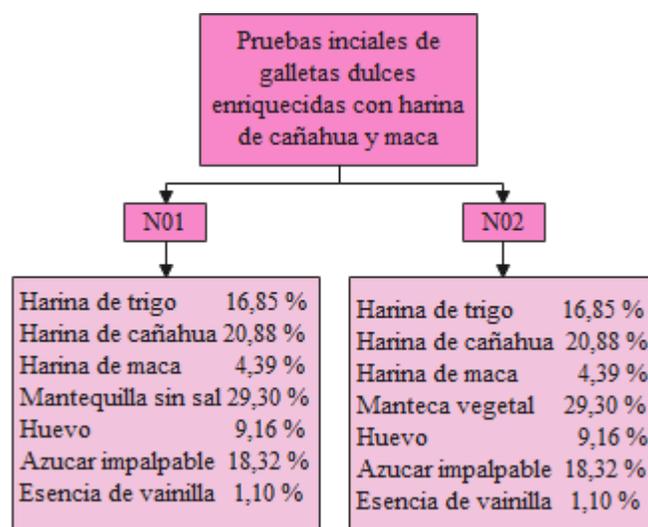
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.2 Valoración subjetiva para las pruebas preliminares de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

En la figura 4.2, se puede evidenciar la valoración subjetiva realizada a las muestras de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca la muestra J03 es de mayor preferencia porque presenta un sabor equilibrado, es decir se siente una mezcla de sabores entre la maca y cañahua, en cambio en las muestras J01 y J03 presenta un sabor muy pronunciado no agradable y la textura en la muestra J01 es un poco blanda mientras que la muestra J02 presento una textura crocante.

4.2.2 Pruebas iniciales para la elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca parte 1

Con la muestra elegida de las pruebas preliminares J03 se realiza las pruebas iniciales; la figura 4.3, detalla las dos muestras de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca elaboradas variando las muestras, una con mantequilla sin sal (N01) y la otra muestra con manteca vegetal (N02) manteniendo la misma dosificación de harinas para las dos muestras.



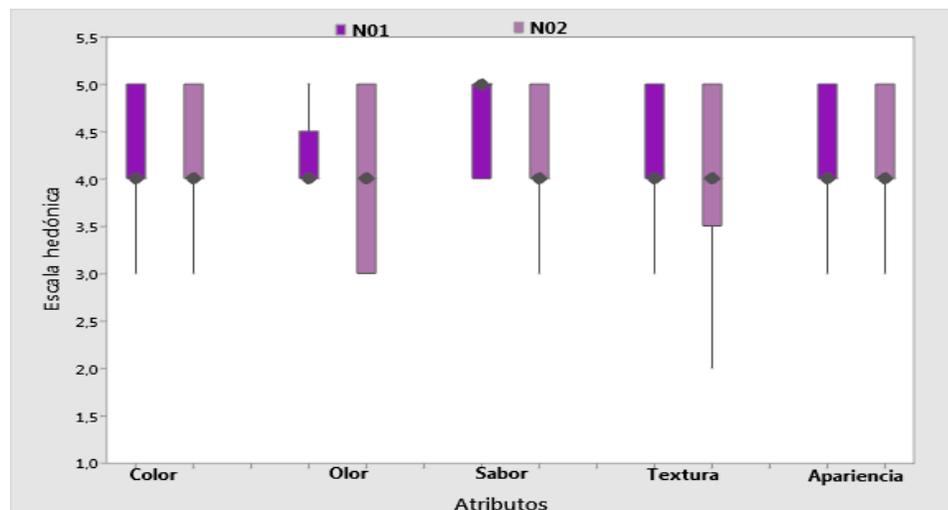
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3 Pruebas iniciales de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

Se realiza la evaluación sensorial de las muestras de la figura 4.3 con escala hedónica de cinco puntos valorando los atributos: color, olor, sabor, textura y apariencia.

4.2.2.1 Estadístico de caja y bigote para las pruebas iniciales de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca parte 1

La figura 4.4, muestra los estadísticos de caja y bigote de datos extraídos del Anexo D, para el atributo color (tabla D.1), olor (tabla D.4), sabor (tabla D.7), textura (tabla D.10) y apariencia (tabla D.13).



Fuente: Elaboración propia

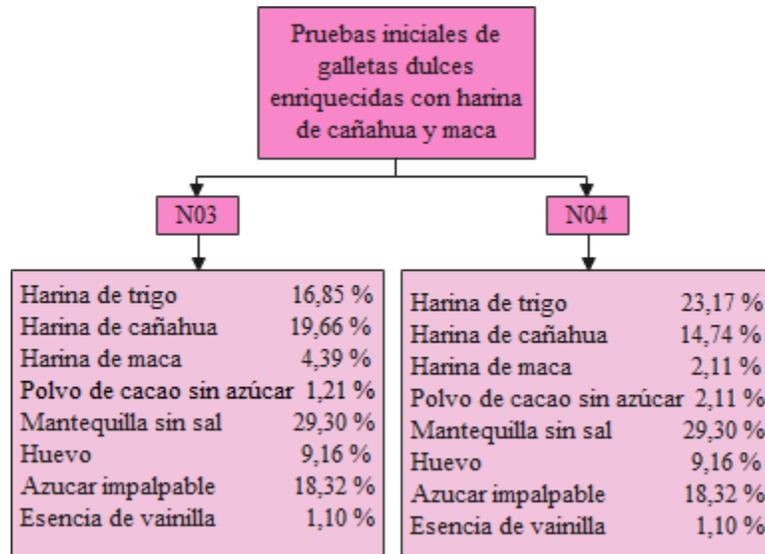
Figura 4.4 Caja y bigote para las pruebas iniciales de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

Según la figura 4.4, se puede observar que los resultados obtenidos de la mediana en función a los atributos de las muestras evaluadas son: color 4 (N01- N02), olor 4 (N01 – N02), sabor 5 (N01), textura 4 (N01 – N02) y en apariencia 4 (N01 – N02). Sin embargo, realizando el análisis estadístico de varianza se puede observar que no existe diferencia significativa entre los atributos de las muestras evaluadas, por lo tanto, cualquiera de las muestras puede ser la elegida para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

De acuerdo a la evaluación sensorial realizada a las pruebas iniciales de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca parte 1, según la preferencia de los jueces indican que la muestra (N01) presento un olor agradable, mejor sabor y textura.

4.2.3 Pruebas iniciales para la elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca parte 2

La muestra elegida (N01) anteriormente se la utiliza como base de dosificación para las muestras siguientes. En la figura 4.5, se detalla las dos muestras de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca elaboradas variando las muestras con diferentes porcentajes de harinas.



Fuente: Elaboración propia

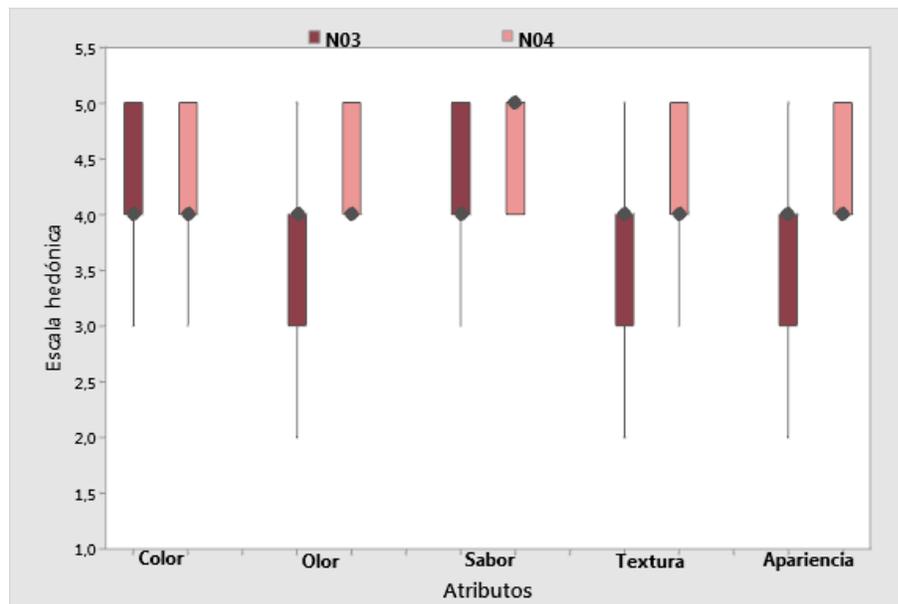
Figura 4.5 Pruebas iniciales de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

Se realiza la evaluación sensorial de las muestras de la figura 4.5 con escala hedónica de cinco puntos para valorar los atributos: color, olor, sabor, textura y apariencia.

4.2.3.1 Estadístico de caja y bigote para las pruebas iniciales de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca parte 2

En la figura 4.6, se muestran los estadísticos de caja y bigote de datos extraídos del

Anexo D, para el atributo color (tabla D.16), olor (tabla D.19), sabor (tabla D.22), textura (tabla D.25) y apariencia (tabla D.28).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.6 Caja y bigote para las pruebas iniciales de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

Según la figura 4.6, se puede observar que los resultados obtenidos de la mediana en función a los atributos de las muestras evaluadas son: color 4 (N01- N02), olor 4 (N01 – N02), sabor 5 (N01), textura 4 (N01 – N02) y en apariencia 4 (N01 – N02). Sin embargo, realizando el análisis estadístico de varianza se pudo observar que no existe diferencia significativa para los atributos color, sabor y textura, mientras tanto para los atributos olor y apariencia si existe diferencia significativa para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.2.3.1.1 Estadístico de Tukey para el atributo olor de las pruebas iniciales de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca parte 2

La tabla 4.7, muestra los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo olor de datos extraídos de la tabla D.21 (Anexo D).

Tabla 4.7

Estadístico de Tukey para el atributo olor de pruebas iniciales de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca parte 2

Factor	N	Media	Agrupación
OlorN04	15	4,467	A

OlorN03	15	3,733		B
---------	----	-------	--	---

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.7, se puede observar que existe diferencia significativa entre las muestras (N04 – N03) para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.2.3.1.2 Estadístico de Tukey para el atributo apariencia de las pruebas iniciales de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca parte 2

La tabla 4.8, muestra los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo apariencia de datos extraídos de la tabla D.30 (Anexo D).

Tabla 4.8

Estadístico de Tukey para el atributo apariencia de pruebas iniciales de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca parte 2

Factor	N	Media	Agrupación	
AparienciaN04	15	4,467	A	
AparienciaN03	15	3,800		B

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.8, se puede observar que existe diferencia significativa entre las muestras (N04 – N03) para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

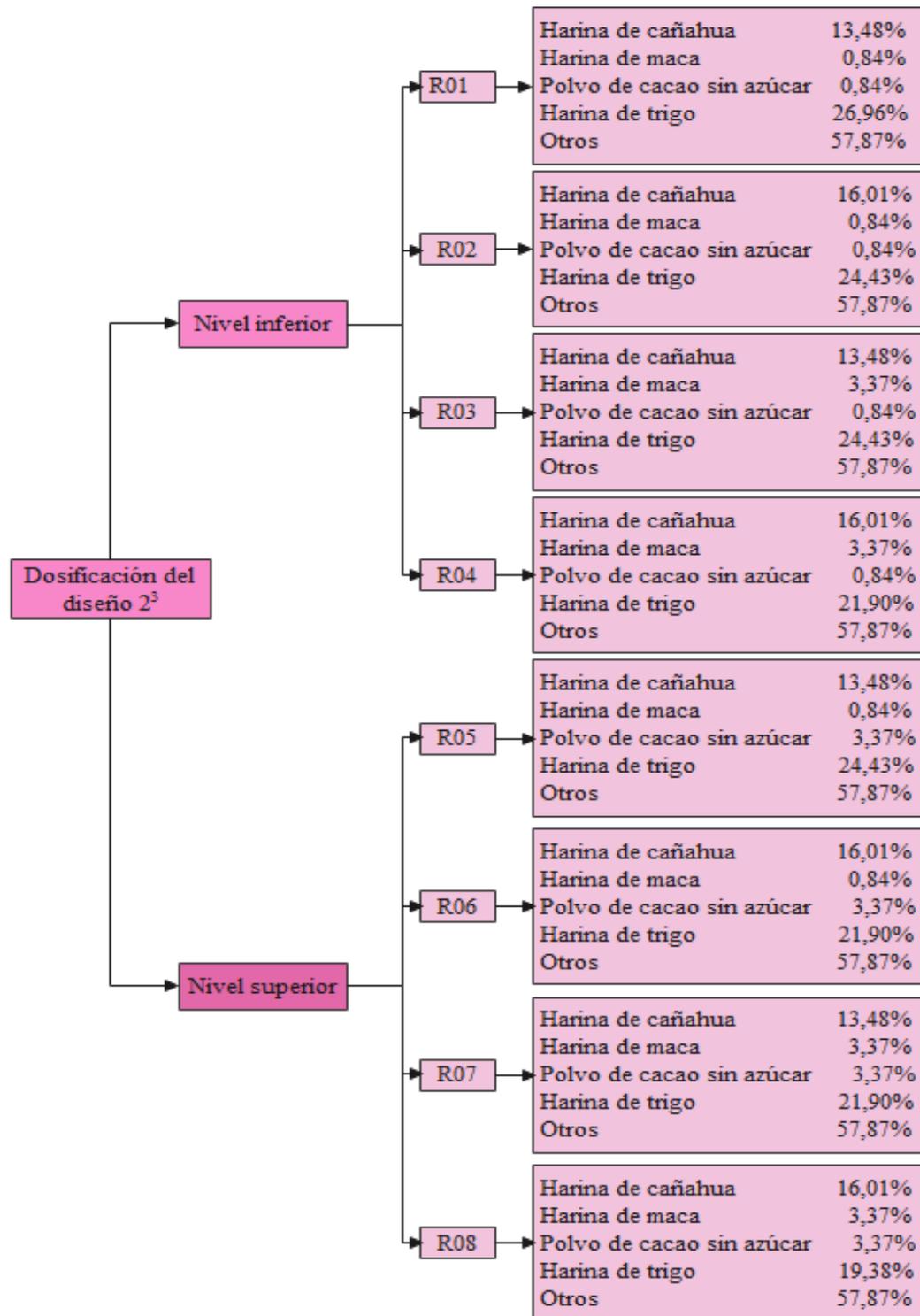
De acuerdo a la evaluación sensorial realizada a las pruebas preliminares de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca parte 2, según el análisis estadístico de varianza para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$, se observa que los jueces eligen la muestra (N04) por presentar un olor agradable, mejor sabor, textura crocante y una buena apariencia.

4.3 Diseño factorial 2^3 en la etapa de dosificación para la elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

En base a la muestra ideal (N04) se procede a realizar de manera experimental el

diseño factorial 2^3 (tabla 3.2) en la etapa de dosificación para la elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca, tomando como variables respuestas: contenido de humedad, pH y acidez (ácido láctico).

La figura 4.7, muestra las ocho muestras de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca con diferentes dosificaciones de acuerdo al diseño aplicado.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.7 Dosificaciones para el diseño experimental 2^3

4.3.1 Variable respuesta de contenido de humedad en la etapa de dosificación de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

Para aplicar el diseño experimental, se toma en cuenta las variables; el factor A (harina de cañahua), factor B (harina de maca), factor C (polvo de cacao sin azúcar) y como variable respuesta el contenido de humedad, se utiliza el método de la termobalanza y la metodología se expresa en el (Anexo F).

El diseño experimental aplicado en la etapa de dosificación se realiza un análisis estadístico de la variable respuesta contenido de humedad (tabla 4.9) con el programa estadístico Statgraphics (Centurión XVI.I) para Windows y los resultados obtenidos se detallan en el (Anexo H).

Tabla 4.9

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)	Fcal	Ftab
Factor A	0,36	1	0,36	2,17	0,18*
Factor B	0,36	1	0,36	2,14	0,18*
Factor C	1,02	1	1,02	6,07	0,04*
Interacción AB	0,01	1	0,01	0,07	0,79
Interacción AC	0,09	1	0,09	0,55	0,48*
Interacción BC	0,02	1	0,02	0,13	0,73
Interacción ABC	0,17	1	0,17	1,04	0,34*
Error total	1,34	8	0,17		
Total	3,37	15			

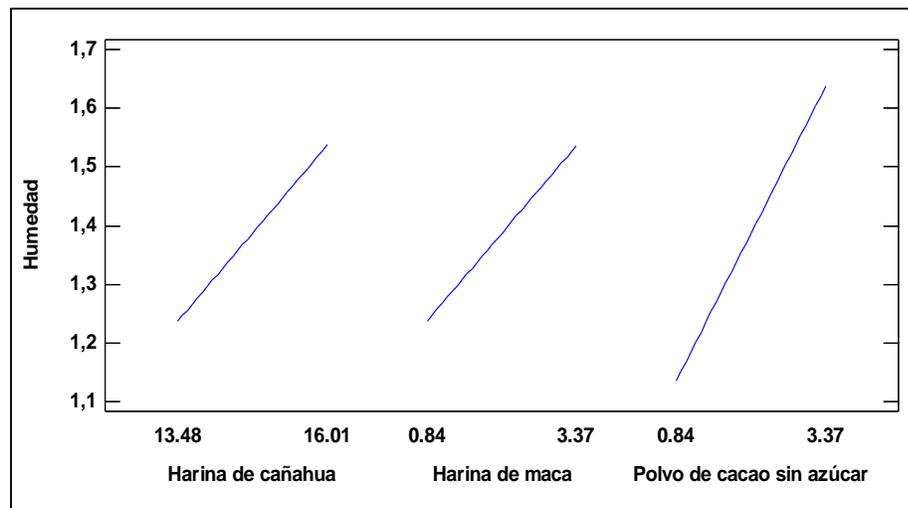
Fuente: Elaboración propia

***Significativo**

En la tabla 4.9, según el análisis de varianza se observa que para las interacciones; AB (harina de cañahua-harina de maca), BC (harina de maca-polvo de cacao sin azúcar); no existe diferencia significativa ya que el $F_{cal} < F_{tab}$, por tanto, se acepta la hipótesis planteada. Sin embargo para los factores; A (harina de cañahua), B (harina de maca), C (polvo de cacao sin azúcar), y las interacciones; AC (harina de cañahua-polvo de cacao sin azúcar), ABC (harina de cañahua-harina de maca-polvo de cacao sin azúcar), si existe diferencia significativa ya que $F_{cal} > F_{tab}$, se puede afirmar que para los factores A, B, C, y las interacciones AC, ABC, son significativos en la etapa de

dosificación, por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

La figura 4.8, muestra los efectos principales para los factores; factor A (harina de cañahua), factor B (harina de maca), factor C (polvo de cacao sin azúcar) con relación a la variable respuesta contenido de humedad (%).

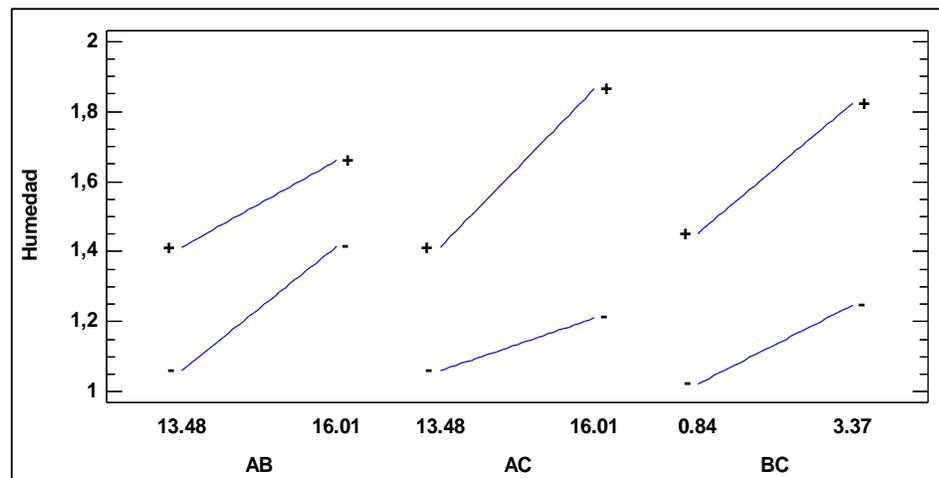


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.8 Efectos principales para el contenido de humedad

Según la figura 4.8, se puede observar que el factor C (polvo de cacao sin azúcar) influye significativamente sobre la variable respuesta contenido de humedad (%) para un rango de (0,84 - 3,37) %, mientras que en los factores: factor A (harina de cañahua), B (harina de maca) existe una leve significancia para los rangos; A (13,48 – 16,01) %, B (0,84 – 3,37) %.

La figura 4.9, muestra la interacción para los factores; AB (harina de cañahua-harina de maca), AC (harina de cañahua-polvo de cacao sin azúcar), BC (harina de maca-polvo de cacao sin azúcar), en función a la variable respuesta del contenido de humedad (%).

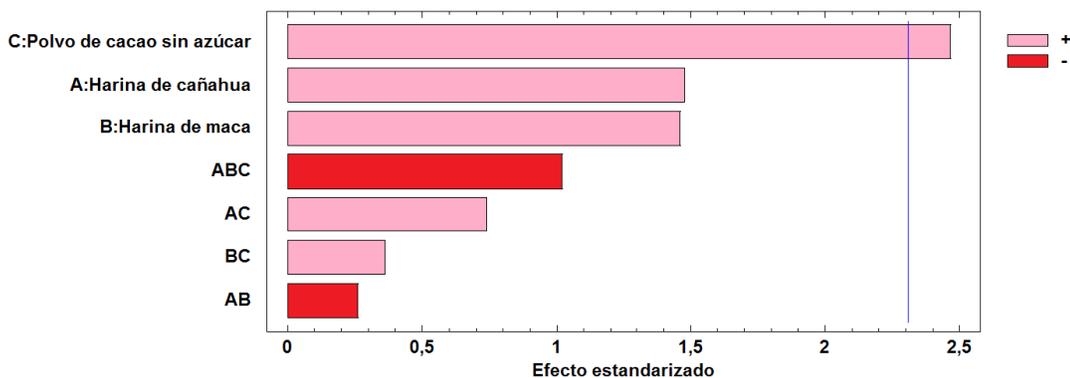


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.9 Interacción de factores para el contenido de humedad

Según la figura 4.9, se puede observar que las interacciones de los factores: AB (harina de cañahua-harina de maca), AC (harina de cañahua-polvo de cacao sin azúcar), BC (harina de maca-polvo de cacao sin azúcar), estando en su nivel alto y bajo no son significativas, ya que los factores no interactúan entre sí.

La figura 4.10, muestra el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en el diseño factorial. Para tal efecto, el nivel de significancia de los factores e interacciones se determina con la línea vertical de referencia indican que son significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.10 Diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de humedad

Según la figura 4.10, se puede observar que el factor C (polvo de cacao sin azúcar) sobrepasa la línea de referencia, por lo tanto es estadísticamente significativo para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$; en comparación a los factores, A (harina de cañahua), B (harina de maca) e interacciones ABC (harina de cañahua-harina de maca-polvo de cacao sin azúcar), AC (harina de cañahua-polvo de cacao sin azúcar), BC (harina de maca-polvo de cacao sin azúcar), AB (harina de cañahua-harina de maca) que no son significativos estadísticamente ya que no exceden la línea de referencia.

4.3.2 Variable respuesta de pH en la etapa de dosificación de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

Para aplicar el diseño experimental, se toma en cuenta las variables; el factor A (harina de cañahua), factor B (harina de maca), factor C (polvo de cacao sin azúcar) y como variable respuesta el pH, para lo cual se utilizó la norma INEN 0095, metodología que se expresa en el (Anexo F).

El diseño experimental aplicado en la etapa de dosificación se realiza el análisis estadístico de la variable respuesta pH (tabla 4.10) con el programa estadístico Statgraphics (Centurión XVI.I) para Windows y los resultados obtenidos se detallan en el (Anexo H).

Tabla 4.10

Análisis de varianza en función de la variable respuesta pH

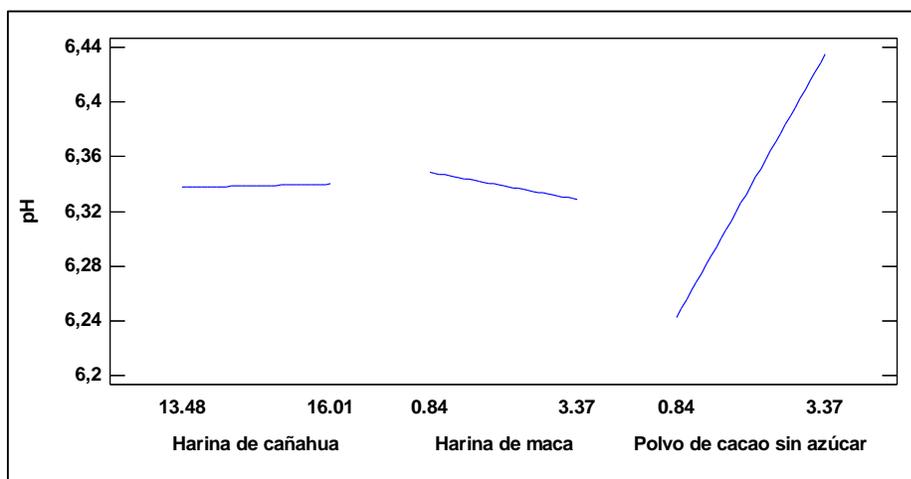
Fuente de Varianza (FV)	Suma de Cuadrados (SC)	Grados de libertad (Gl)	Cuadrados Medios (CM)	Fcal	Ftab
Factor A	0,00	1	0,00	0,00	0,9500
Factor B	0,00	1	0,00	0,25	0,6300
Factor C	0,15	1	0,15	23,39	0,0013*
Interacción AB	0,00	1	0,00	0,00	1,0000
Interacción AC	0,00	1	0,00	0,04	0,8550
Interacción BC	0,00	1	0,00	0,02	0,9000
Interacción ABC	0,04	1	0,04	5,70	0,0400*
Error total	0,05	8	0,01		
Total	0,24	15			

Fuente: Elaboración propia

*Significativo

En la tabla 4.10, según el análisis de varianza se observa que para los factores; A (harina de cañahua), B (harina de maca), y las interacciones AB (harina de cañahua-harina de maca), AC (harina de cañahua-polvo de cacao sin azúcar), BC (harina de maca-polvo de cacao sin azúcar), no existe diferencia significativa debido a que $F_{cal} < F_{tab}$, por tanto, se acepta la hipótesis planteada. Sin embargo, para el factor C (polvo de cacao sin azúcar) y la interacción ABC (harina de cañahua-harina de maca-polvo de cacao sin azúcar), si existe diferencia significativa ya que $F_{cal} > F_{tab}$, se puede afirmar que para el factor C y la interacción ABC, son significativos en la etapa de dosificación, por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

La figura 4.11, muestra los efectos principales para los factores: factor A (harina de cañahua), factor B (harina de maca), Factor C (polvo de cacao sin azúcar) con relación a la variable respuesta pH.

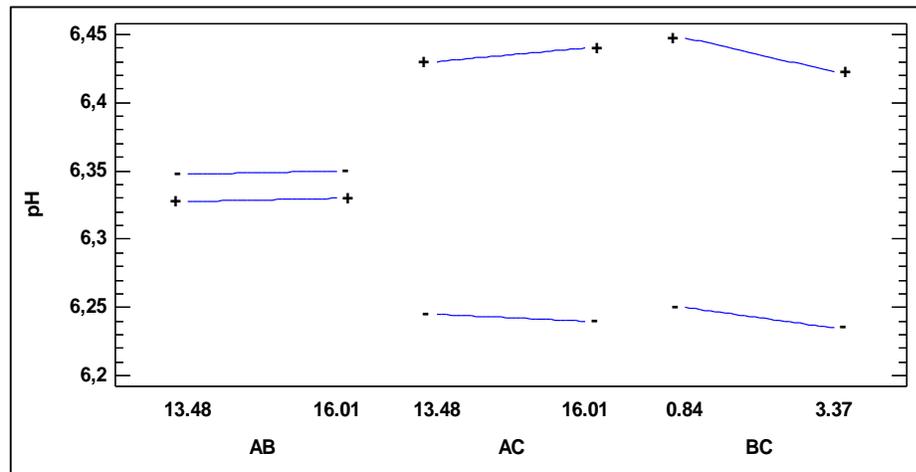


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.11 Efectos principales para el pH

Según la figura 4.11, se puede observar que el factor C (polvo de cacao sin azúcar) influye significativamente sobre la variable respuesta de pH para un rango de (0,84 – 3,3) % en comparación con los factores A (harina de cañahua) y B (harina de maca) no influyen significativamente para los rangos; A (13,48 – 16,01) %, B (0,84 – 3,37) %.

La figura 4.12, muestra la interacción para los factores: AB (harina de cañahua-harina de maca), AC (harina de cañahua-polvo de cacao sin azúcar), BC (harina de maca-polvo de cacao sin azúcar), en función a la variable respuesta de pH.

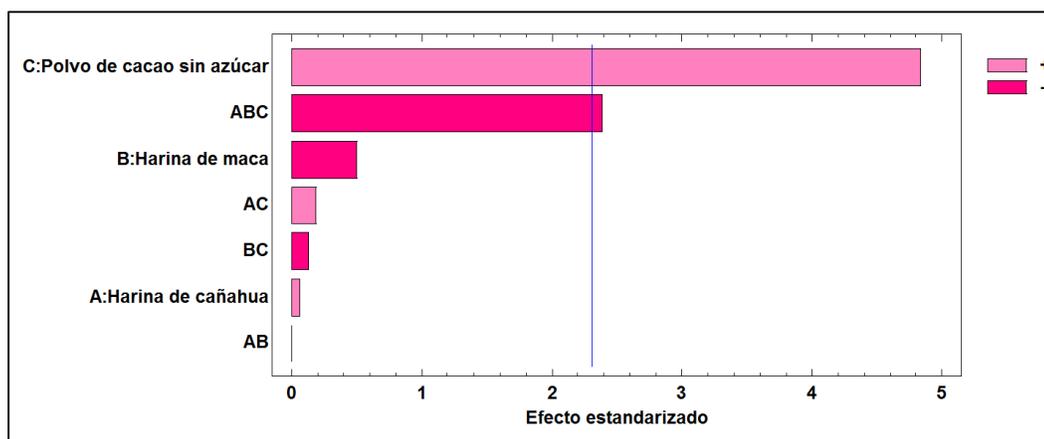


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.12 Interacción de factores para el pH

Según la figura 4.12, se puede observar que las interacciones de los factores: AB (harina de cañahua-harina de maca), AC (harina de cañahua-polvo de cacao sin azúcar), BC (harina de maca-polvo de cacao sin azúcar), estando en su nivel alto y bajo no son significativas, ya que los factores no interaccionan entre sí.

La figura 4.13, muestra el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en el diseño factorial. Para tal efecto, el nivel de significancia de los factores e interacciones se determina con la línea vertical de referencia indican que son significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.13 Diagrama de Pareto estandarizado para el pH

Según la figura 4.13, se puede observar que el factor C (polvo de cacao sin azúcar) y la interacción ABC (harina de cañahua-harina de maca-polvo de cacao sin azúcar) sobrepasan la línea de referencia, por lo tanto son estadísticamente significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$; en comparación a los factores, A (harina de cañahua), B (harina de maca) e interacciones AC (harina de cañahua-polvo de cacao sin azúcar), BC (harina de maca-polvo de cacao sin azúcar), AB (harina de cañahua-harina de maca) que no son significativos estadísticamente ya que no exceden la línea de referencia.

4.3.3 Variable respuesta de contenido de acidez (ácido láctico) en la etapa de dosificación de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

Para aplicar el diseño experimental, se toma en cuenta las variables; el factor A (Harina de cañahua), factor B (Harina de maca), factor C (polvo de cacao sin azúcar) y como variable respuesta la acidez (ácido láctico), para lo cual se utilizó la norma INEN 0095, metodología que se expresa en el (Anexo F).

El diseño experimental aplicado en la etapa de dosificación se realiza el análisis estadístico de la variable respuesta acidez (ácido láctico); (tabla 4.11) con el programa estadístico Statgraphics (Centurión XVI.I) para Windows y los resultados obtenidos se detallan en el (Anexo H).

Tabla 4.11
Análisis de varianza en función de la variable respuesta acidez (ácido láctico)

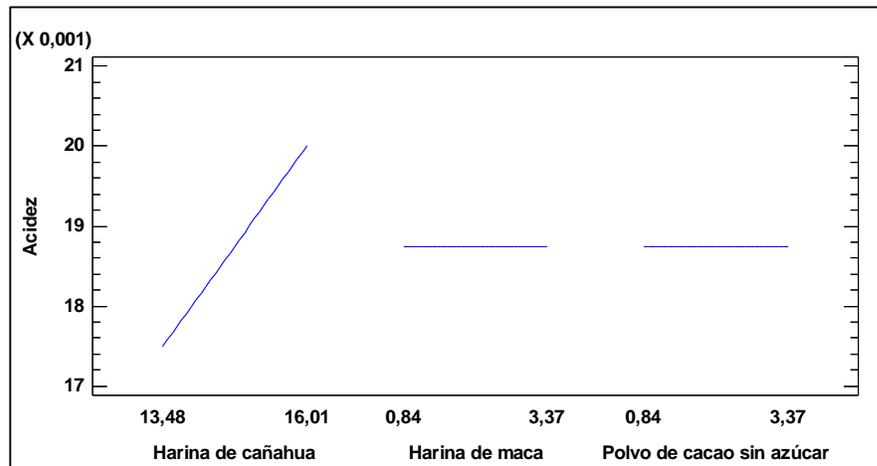
Fuente de varianza (FV)	Suma de Cuadrados (SC)	Grados de libertad (Gl)	Cuadrados Medios (CM)	Fcal	Ftab
Factor A	0,000025	1	0,000025	1,00	0,35*
Factor B	0,000000	1	0,000000	0,00	1,00
Factor C	0,000000	1	0,000000	0,00	1,00
Interacción AB	0,000100	1	0,000100	4,00	0,08*
Interacción AC	0,000000	1	0,000000	0,00	1,00
Interacción BC	0,000025	1	0,000025	1,00	0,35*
Interacción ABC	0,000025	1	0,000025	1,00	0,35*
Error total	0,000200	8	0,000025		
Total	0,000375	15			

Fuente: Elaboración propia

***Significativo**

En la tabla 4.11, según el análisis de varianza se observa que para los factores: B (harina de maca), C (polvo de cacao sin azúcar) y la interacción AC (harina de cañahua-polvo de cacao sin azúcar), no existe diferencia significativa ya que el $F_{cal} < F_{tab}$, por tanto, se acepta la hipótesis planteada. Sin embargo para el factor A (harina de cañahua) y las interacciones: AB (harina de cañahua-harina de maca), BC (harina de maca-polvo de cacao sin azúcar) ABC (harina de cañahua-harina de maca-polvo de cacao sin azúcar), si existe diferencia significativa ya que $F_{cal} > F_{tab}$, se puede afirmar que para el factor A y las interacciones AB, BC, ABC, son significativos en la etapa de dosificación, por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

La figura 4.14, muestra los efectos principales para los factores: factor A (harina de cañahua, factor B (harina de maca), Factor C (polvo de cacao sin azúcar) con relación a la variable respuesta contenido de acidez (ácido láctico) %.

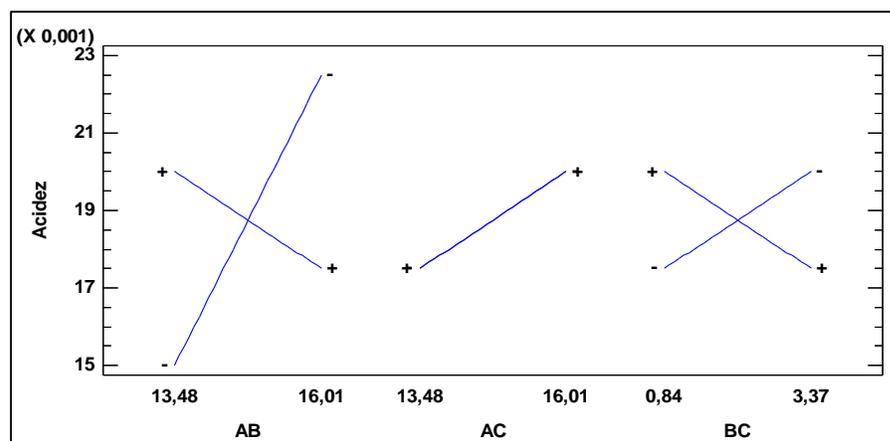


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.14 Efectos principales para el contenido de acidez (ácido láctico)

Según la figura 4.14, se puede observar que el factor A (harina de cañahua) influye significativamente sobre la variable respuesta de contenido de acidez (ácido láctico) para un rango de (13,48 – 16,01) % en comparación con los factores B (harina de maca) y C (polvo de cacao sin azúcar) para sus rangos (0,84 – 3,37) %.

La figura 4.15, muestra la interacción para los factores: AB (harina de cañahua-harina de maca), AC (harina de cañahua-polvo de cacao sin azúcar), BC (harina de maca-polvo de cacao sin azúcar), en función a la variable respuesta del contenido de acidez (ácido láctico).

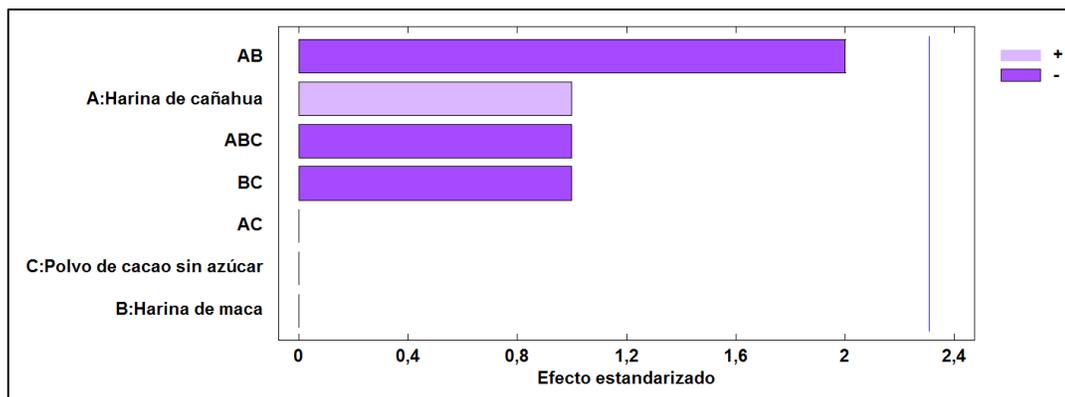


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.15 Interacción de los factores para el contenido de acidez (ácido láctico)

Según la figura 4.15, se puede observar que las interacciones de los factores: AB (harina de cañahua-harina de maca) y BC (harina de maca-polvo de cacao sin azúcar), estando en su nivel alto y bajo son significativas, ya que los factores interactúan entre sí; mientras que en la interacción AC (harina de cañahua-polvo de cacao sin azúcar) no es significativa

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



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.16 Diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de acidez (ácido láctico)

Según la figura 4.16, se puede observar que los factores: A (harina de cañahua), B (harina de maca), C (polvo de cacao sin azúcar) ni las interacciones: AB (harina de cañahua-harina de maca), AC (harina de cañahua-polvo de cacao sin azúcar), BC (harina de maca-polvo de cacao sin azúcar), ABC (harina de cañahua-harina de maca-polvo de cacao sin azúcar), no sobrepasan la línea de referencia, por lo tanto no son estadísticamente significativos, para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.3.4 Control de contenido de humedad, pH y acidez en la etapa de dosificación del diseño factorial de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

Para determinar el contenido de humedad, pH y acidez de las muestras de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca en el diseño factorial se toma en cuenta el factor C (polvo de cacao sin azúcar) para realizar el control por separado de los ocho tratamientos; realizando análisis en la masa húmeda y en la galleta horneada.

4.3.4.1 Control de contenido de humedad en muestras de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

Para el análisis de humedad se utiliza la termobalanza mediante la medición (%) contenido de humedad, realizando un control en la masa húmeda y en la galleta horneada.

4.3.4.1.1 Control de contenido de humedad en las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca para el nivel inferior

La tabla 4.12, muestra los resultados obtenidos del contenido de humedad realizado a cuatro tratamientos del nivel inferior en la etapa de dosificación del diseño en las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca donde se utiliza el método de la termobalanza y los datos son extraídos del (Anexo G).

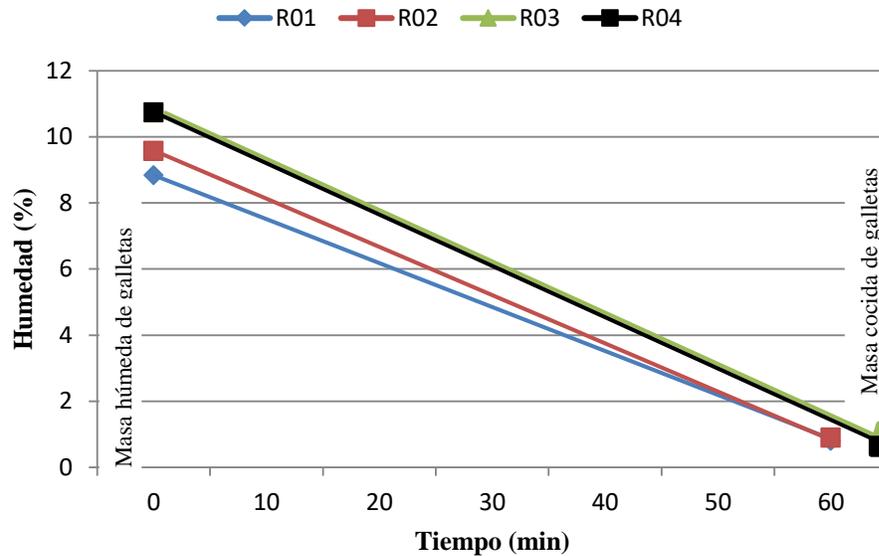
Tabla 4.12

Variación de contenido de humedad en muestras de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca del nivel inferior

Control	Muestras							
	R01		R02		R03		R04	
	Tiempo (min)	Humedad (%)						
Masa húmeda	0	8,84	0	9,57	0	10,74	0	10,75
Galleta	60	0,81	60	0,90	65	0,64	65	0,77

Fuente: Elaboración propia

La figura 4.17, muestra los resultados del contenido de humedad del diseño experimental en el nivel inferior en base a las muestras realizadas en la tabla 4.12.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.17 Control de contenido de humedad en las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca del nivel inferior en el diseño experimental

Según la figura 4.17, se puede observar que el contenido de humedad inicial en la masa húmeda de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca de las muestras R03 (10,74) % y R04 (10,75) % en comparación a las muestras R01 (8,84) % y R02 (9,57) %, estas últimas tienen menor porcentaje de contenido de humedad, sin embargo, después de (60 – 65) min; que finaliza el proceso de horneado de la galleta dulce enriquecida con harina de cañahua y maca, disminuye el contenido de humedad presentando un valor final para las muestras de: R03 (0,64) %, R04 (0,77) %, R01 (0,81) % y R02 (0,90) %.

4.3.4.1.2 Control de contenido de humedad en las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca para el nivel superior

La tabla 4.13, muestra los resultados obtenidos del contenido de humedad realizado a los cuatro tratamientos del nivel superior de la etapa de dosificación de las galletas

dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca, se utiliza el método de la termobalanza y los datos son extraídos del (Anexo G).

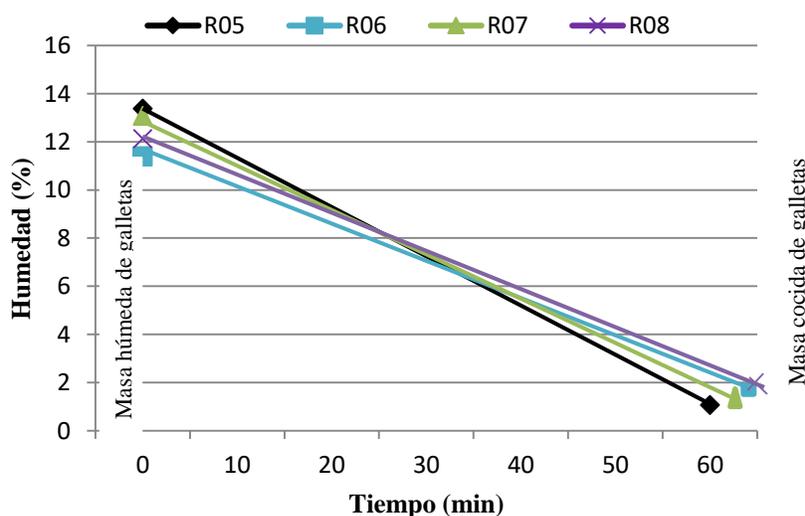
Tabla 4.13

Variación de contenido de humedad en muestras de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca del nivel superior

Control	Muestras							
	R05		R06		R07		R08	
	Tiempo (min)	Humedad (%)						
Masa húmeda	0	13,38	0	11,39	0	13,07	0	12,13
Galleta	60	1,06	65	1,80	63	1,74	67	1,87

Fuente: Elaboración propia

La figura 4.18, muestra los resultados del contenido de humedad del diseño experimental en el nivel superior en base a las muestras realizadas en la tabla 4.13.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.18 Control de contenido de humedad en las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca del nivel superior en el diseño experimental

Según la figura 4.18, se puede observar que el contenido de humedad inicial en la masa húmeda de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca en las muestras R08 (12,13) % y R05 (13,38) % en comparación a las muestras R06 (11,39)

% y R07 (13,07) %, estas últimas tienen menor porcentaje de contenido de humedad, sin embargo, después de (60 – 67) min; se finaliza el proceso de horneado de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca, disminuye el contenido de humedad presentando un valor final de: R05 (1,06) %, R07 (1,74) %, R06 (1,80) % y R08 (1,87) %.

4.3.4.2 Control de pH en muestras de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

Para el análisis de pH, se realiza la medición en pH-metro, realizando un control en la masa húmeda y en la galleta horneada.

4.3.4.2.1 Control de pH en las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca para el nivel inferior

En la tabla 4.14, se muestra los resultados obtenidos de la medición de pH de los cuatro tratamientos del nivel inferior en la etapa de dosificación de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca, los datos son extraídos del (Anexo G).

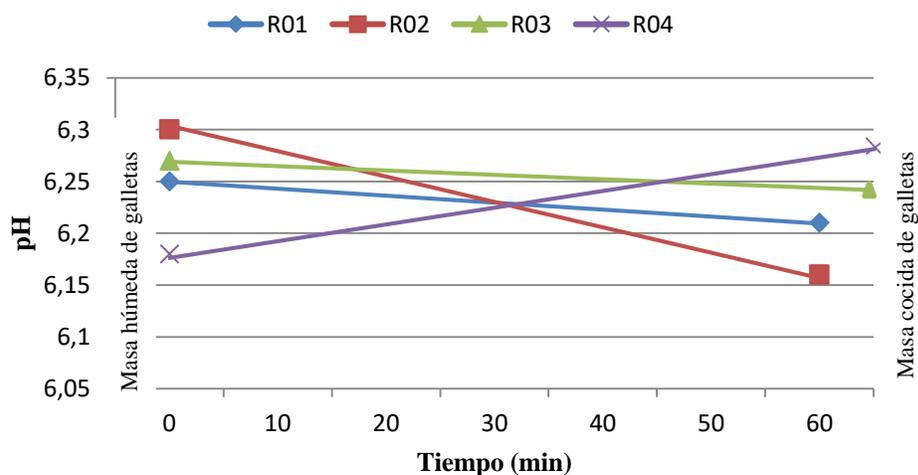
Tabla 4.14

Variación de pH en muestras de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca del nivel inferior

Control	Muestras							
	R01		R02		R03		R04	
	Tiempo (min)	pH						
Masa húmeda	0	6,25	0	6,30	0	6,27	0	6,18
Galleta	60	6,21	60	6,16	65	6,24	65	6,27

Fuente: Elaboración propia

La figura 4.19, muestra los resultados del pH del diseño experimental en el nivel inferior en base a las muestras realizadas en la tabla 4.14.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.19 Control de pH en las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca del nivel inferior en el diseño experimental

Según la figura 4.19, se puede observar que el pH inicial en la masa húmeda de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca en las muestras R03 (6,27) y R02 (6,30) en comparación a las muestras R04 (6,18) y R01 (6,25), que tienen un valor de pH más bajo, sin embargo, después de (60 – 65) min; se finaliza el proceso de horneado de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca, presenta un valor final para las muestras: R02 (6,16), R01 (6,21), R03 (6,24) y R04 (6,27).

4.3.4.2.2 Control de pH en las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca para el nivel superior

La tabla 4.15, muestra los resultados obtenidos de la medición de pH, realizado a cuatro tratamientos del nivel superior en la etapa de dosificación del diseño en las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca, los datos son extraídos del (Anexo G).

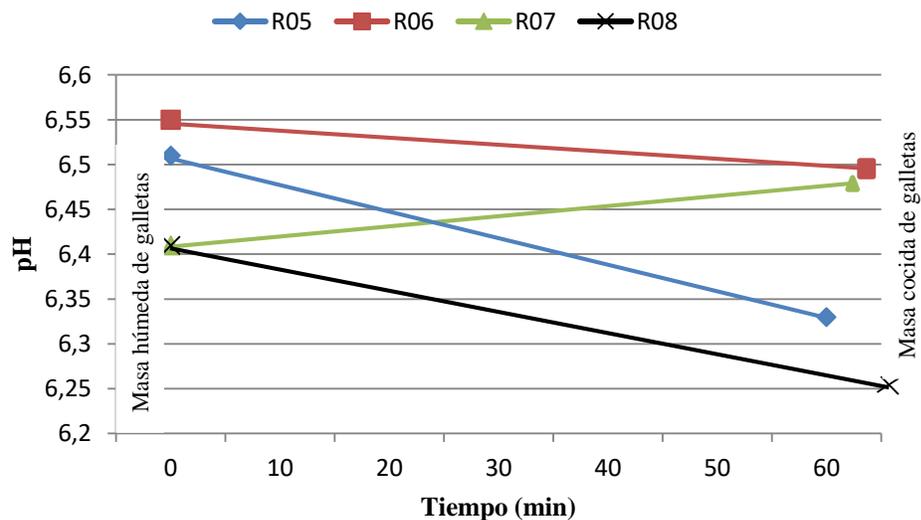
Tabla 4.15

Variación de pH en muestras de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca del nivel superior

Control	Muestras							
	R05		R06		R07		R08	
	Tiempo (min)	pH						
Masa húmeda	0	6,51	0	6,55	0	6,41	0	6,41
Galleta	60	6,33	65	6,51	63	6,49	67	6,29

Fuente: Elaboración propia

La figura 4.20, muestra los resultados del pH del diseño experimental en el nivel superior en base a las muestras realizadas en la tabla 4.15.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.20 Control de pH en las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca del nivel superior en el diseño experimental

Según la figura 4.20, se puede observar que el pH inicial en la masa húmeda de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca en las muestras R05 (6,51) y R06 (6,55) en comparación a las muestras R07 (6,41) y R08 (6,41), que tienen un valor de pH más bajo, sin embargo, después de (60 – 67) min; se finaliza el proceso de horneado de la galleta, presentando un valor final para las muestras: R08 (6,29), R05 (6,33), R07 (6,49) y R06 (6,51).

4.3.4.3 Control de contenido de acidez (ácido láctico) en muestras de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

El análisis de acidez se lleva a cabo por titulación, realizado la medición (%) acidez se expresa en ácido láctico; control realizado en la masa húmeda y en la galleta horneada.

4.3.4.3.1 Control de contenido de acidez (ácido láctico) en las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca para el nivel inferior

La tabla 4.16, muestra los resultados obtenidos del contenido de la acidez (ácido láctico) realizado a cuatro tratamientos del nivel inferior en la etapa de dosificación del diseño en las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca por el método de titulación, los datos son extraídos del (Anexo G).

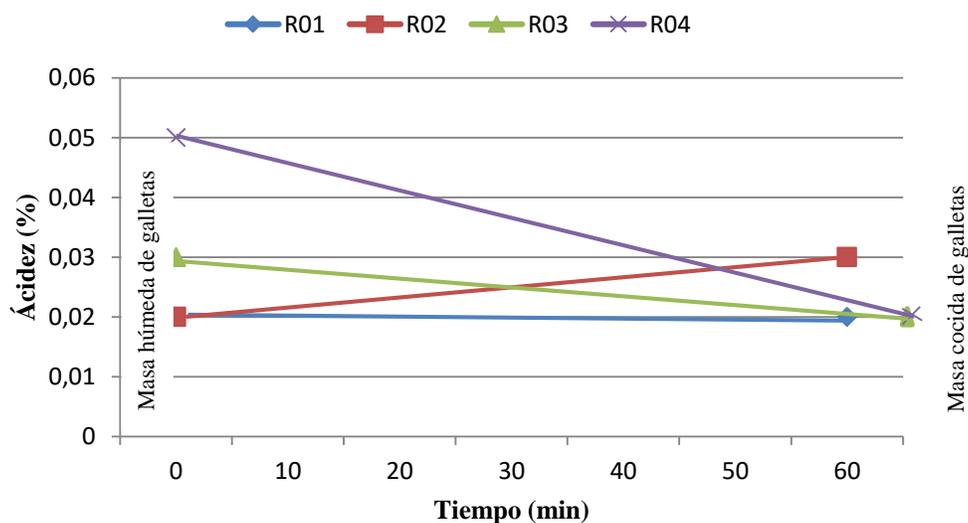
Tabla 4.16

Variación de contenido de acidez en muestras de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca del nivel inferior

Control	Muestras							
	R01		R02		R03		R04	
	Tiempo (min)	Acidez (%)						
Masa húmeda	0	0,02	0	0,02	0	0,03	0	0,05
Galleta	60	0,02	60	0,03	65	0,02	65	0,02

Fuente: Elaboración propia

La figura 4.21, muestra los resultados del contenido de acidez (ácido láctico) del diseño experimental en el nivel inferior en base a las muestras realizadas en la tabla 4.16.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.21 Control de contenido de acidez en las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca del nivel inferior en el diseño experimental

Según la figura 4.21, se puede observar que el contenido de acidez inicial en la masa húmeda de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca en las muestras R03 (0,03) % y R05 (0,05) % en comparación a las muestras R01 (0,02) % y R02 (0,02) % tiene menor contenido de acidez, sin embargo, después de (60 – 65) min; se finaliza el proceso de horneado de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca, presenta un valor final para las muestras R01 (0,02) %, R03 (0,02) %, R04 (0,02) % y R02 (0,03) %.

4.3.4.3.2 Control de contenido de acidez (ácido láctico) en las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca para el nivel superior

La tabla 4.17, muestra los resultados obtenidos del contenido de la acidez (ácido láctico) realizado a cuatro tratamientos del nivel superior en la etapa de dosificación del diseño en las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca por el método de titulación los datos son extraídos del (Anexo G).

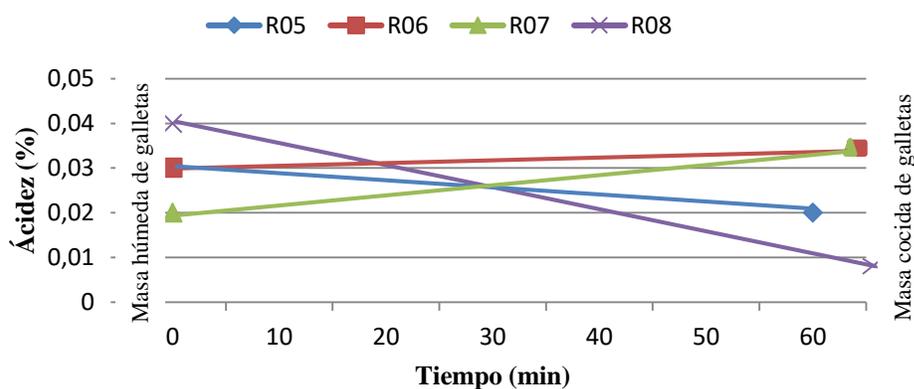
Tabla 4.17

Variación de contenido de acidez en muestras de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y naca del nivel superior

Control	Muestras							
	R05		R06		R07		R08	
	Tiempo (min)	Acidez (%)						
Masa húmeda	0	0,03	0	0,03	0	0,02	0	0,04
Galleta	60	0,02	65	0,03	63	0,03	67	0,01

Fuente: Elaboración propia

La figura 4.22, se muestran los resultados del contenido de acidez (ácido láctico) del diseño experimental en el nivel superior en base a las muestras de la tabla 4.17.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.22 Control de contenido de acidez en las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca del nivel superior en el diseño experimental

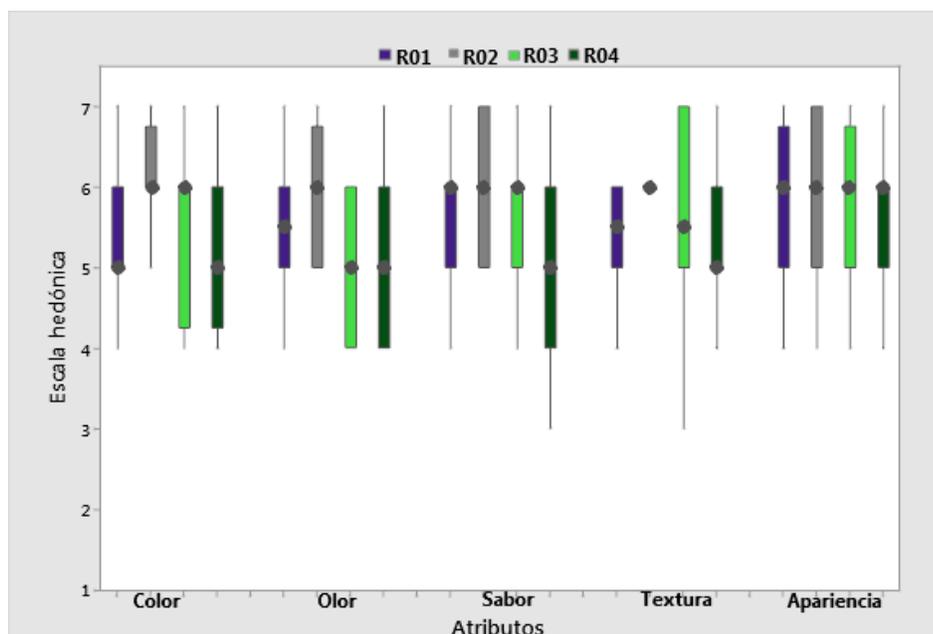
Según la figura 4.22, se puede observar que el contenido de acidez inicial en la masa húmeda de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca en las muestras R05 (0,03) %, R06 (0,03) % y R08 (0,04)% en comparación a la muestra R07 (0,02) % tiene menor contenido de acidez, sin embargo, después de (60 – 67) min; se finaliza el proceso de cocción de la galleta, presentando un valor final para las muestras R07 (0,02) %, R05 (0,03) %, R06 (0,03) % y R08 (0,04) %.

4.3.5 Evaluación sensorial en el diseño factorial 2^3 en la etapa de dosificación en las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

Se realizó la evaluación sensorial en el diseño experimental 2^3 en la etapa de dosificación separando los ocho tratamientos de las muestras en dos grupos, cuatro niveles inferiores y cuatro niveles superiores; con el fin de poder observar la variación en la formulación de las galletas.

4.3.5.1 Estadístico de caja y bigote para el nivel inferior de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

La figura 4.23, muestra los estadísticos de la caja y bigote de los datos extraídos del Anexo D, para el atributo color (tabla D.31), olor (tabla D.34), sabor (tabla D.37), textura (tabla D.40) y apariencia (tabla D.43) para el nivel inferior.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.23 Caja y bigote del diseño factorial para el nivel inferior

Según la figura 4.23, se puede observar que los resultados obtenidos de la mediana en función a los atributos de las muestras evaluadas son: color 6 (R02 – R03), olor 6 (R04), sabor 6 (R01 – R02 – R03), textura 6 (R02) y en apariencia 6 (R01 – R02 – R03 – R04). Sin embargo realizando el análisis estadístico de varianza se pudo observar que no existe diferencia significativa para los atributos sabor, textura y apariencia, mientras tanto para los atributos color y olor si existe diferencia significativa para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.3.5.1.1 Estadístico de Tukey para el atributo color del nivel inferior de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

La tabla 4.18, muestra los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo color de datos extraídos de la tabla D.33 (Anexo D).

Tabla 4.18

Estadístico de Tukey para el atributo color para las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca del nivel inferior

Factor	N	Media	Agrupación	
ColorR02	20	6,1	A	
ColorR03	20	5,5	A	B
ColorR01	20	5,5	A	B
ColorR04	20	5,2		B

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.18, se puede observar que existe diferencia significativa entre las muestras R02 – R04. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes, para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.3.5.1.2 Estadístico de Tukey para el atributo olor del nivel inferior de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

La tabla 4.19, muestra los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo olor de datos extraídos de la tabla D.36 (Anexo D).

Tabla 4.19

Estadístico de Tukey para el atributo olor para las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca del nivel inferior

Factor	N	Media	Agrupación	
OlorR02	20	5,95	A	
OlorR01	20	5,35	A	B
OlorR04	20	5,10		B
OlorR03	20	5,10		B

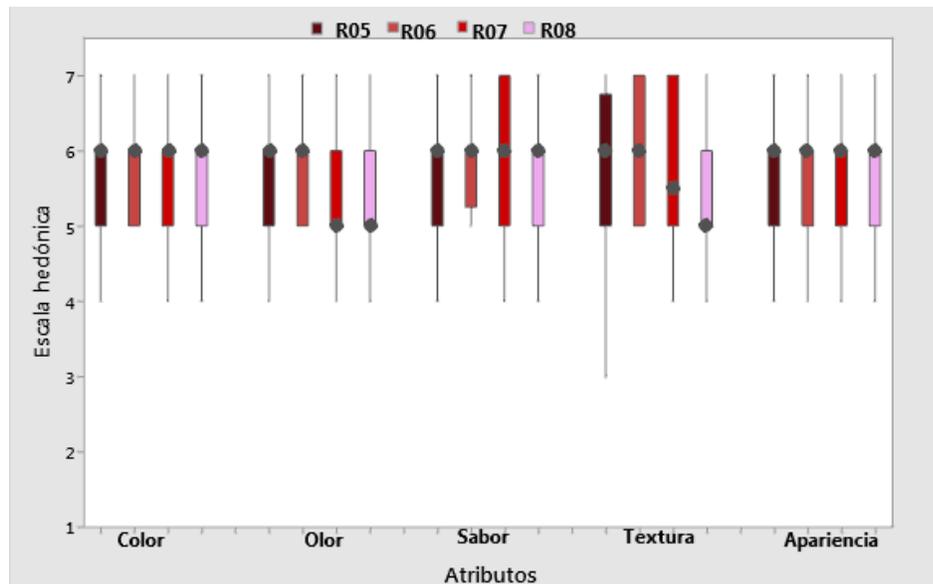
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.19, se puede observar que existe diferencia significativa entre las muestras R02 – R03, mientras que no existe diferencia entre las muestras R04 y R03 ya que comparten la misma media para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

De acuerdo a la evaluación sensorial realizada a las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca del nivel inferior, según el análisis estadístico de varianza para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$, se observa que los jueces eligen la prueba R02 por su textura crocante, sabor, color y olor agradable.

4.3.5.2 Estadístico de caja y bigote para el nivel superior de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

La figura 4.24, muestra los estadísticos de la caja y bigote de los datos extraídos del Anexo D, para el atributo color (tabla D.46), olor (tabla D.49), sabor (tabla D.52), textura (tabla D.55) y apariencia (tabla D.58) para el nivel superior.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.24 Caja y bigote del diseño factorial para el nivel superior

Según la figura 4.24, se puede observar que los resultados obtenidos de la mediana en función a los atributos de las muestras evaluadas son: color 6 (R05 – R06 – R07 – R08), olor 6 (R05 – R06), sabor 6 (R05 – R06 – R07 – R08), textura 6 (R05 – R06) y en apariencia 6 (R05 – R06 – R07 – R08). Sin embargo realizando el análisis estadístico de varianza se pudo observar que no existe diferencia significativa para los atributos de las muestras evaluadas, por lo tanto, cualquiera puede ser la elegida para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

De acuerdo a la evaluación sensorial realizada a las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca del nivel inferior, según la preferencia de los jueces indican que la muestra (R06) presento un olor agradable, un buen color, mejor sabor y textura crocante.

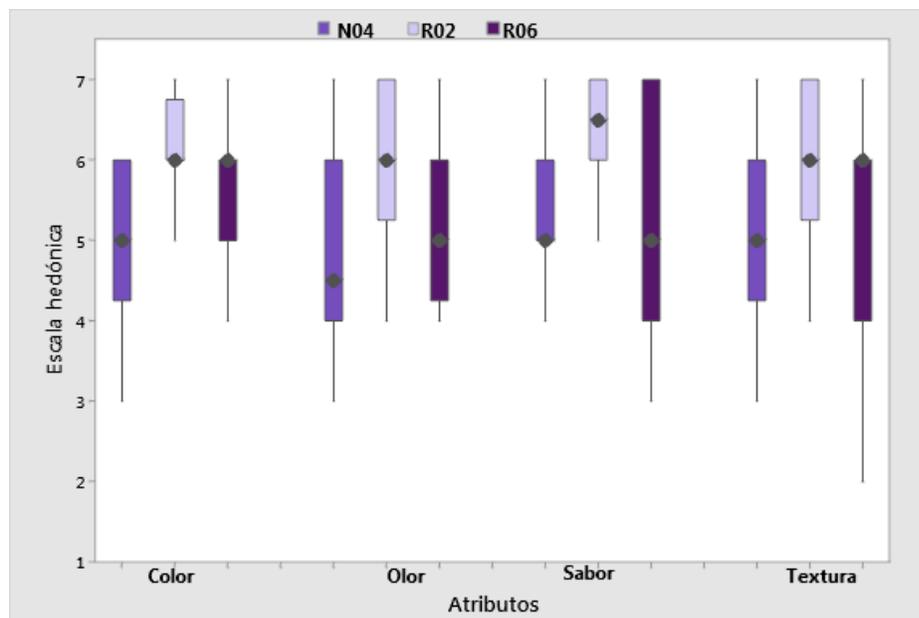
4.3.6 Evaluación sensorial del diseño y muestra ideal de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

Se realiza la evaluación sensorial a las muestras del diseño (R02 – R06) junto con la muestra que se entra al diseño (N04) para seleccionar la muestra final, para ser tomada

en cuenta en el diseño experimental de la etapa de horneado del proceso de elaboración de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca.

4.3.6.1 Estadístico de caja y bigote del diseño y muestra ideal para las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

La figura 4.25, muestra los estadísticos de la caja y bigote de los datos extraídos del Anexo D, para el atributo color (tabla D.61), olor (tabla D.64), sabor (tabla D.67) y textura (tabla D.70).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.25 Caja y bigote del diseño experimental y muestra ideal

Según la figura 4.25, se puede observar que los resultados obtenidos de la mediana en función a los atributos de las muestras evaluadas son: color 6 (R02 – R06), olor 6 (R02), sabor 6,5 (R02) y en textura 6 (R02 – R06). Sin embargo realizado el análisis estadístico de varianza se puede observar que si existe diferencia significativa para los atributos de las muestras evaluadas para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.3.6.1.1 Estadístico de Tukey para el atributo color para seleccionar la muestra final de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

La tabla 4.20, muestra los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo color de datos extraídos de la tabla D.63 (Anexo D).

Tabla 4.20

Estadístico de Tukey para el atributo color para seleccionar la muestra final de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

Factor	N	Media	Agrupación	
ColorR02	20	5,95	A	
ColorR06	20	5,40	A	B
ColorN04	20	5,10		B

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.20, se puede observar que existe diferencia significativa entre las muestras R02 – N04. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes, para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.3.6.1.2 Estadístico de Tukey para el atributo olor para seleccionar la muestra final de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

La tabla 4.21, muestra los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo olor de datos extraídos de la tabla D.66 (Anexo D).

Tabla 4.21

Estadístico de Tukey para el atributo olor para seleccionar la muestra final de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

Factor	N	Media	Agrupación	
OlorR02	20	5,95	A	
OlorR06	20	5,25	A	B
OlorN04	20	4,80		B

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.21, se puede observar que existe diferencia significativa entre las muestras R02 – N04. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes, para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.3.6.1.3 Estadístico de Tukey para el atributo sabor para seleccionar la muestra final de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

La tabla 4.22, muestra los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo sabor de datos extraídos de la tabla D.69 (Anexo D).

Tabla 4.22

Estadístico de Tukey para el atributo sabor para seleccionar la muestra final de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

Factor	N	Media	Agrupación	
SaborR02	20	6,30	A	
SaborR06	20	5,20		B
SaborN04	20	5,15		B

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.22, se puede observar que existe diferencia significativa entre las muestras R02 – N04. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes, para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.3.6.1.4 Estadístico de Tukey para el atributo textura para seleccionar la muestra final de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

La tabla 4.23, muestra los resultados del análisis estadístico de Tukey para el atributo textura de datos extraídos de la tabla D.72 (Anexo D).

Tabla 4.23

Estadístico de Tukey para el atributo textura para seleccionar la muestra final de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

Factor	N	Media	Agrupación	
TexturaR02	20	6,10	A	
TexturaR06	20	5,15		B
TexturaN04	20	5,05		B

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.23, se puede observar que existe diferencia significativa entre las muestras R02 – N04. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes, para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

De acuerdo a la evaluación sensorial realizada a las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca para seleccionar la muestra final, según el análisis estadístico de varianza para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$, se observa que los jueces eligen la prueba R02 por su textura crocante, sabor equilibrado, color y olor agradable.

4.4 Diseño factorial 2^2 en la etapa de horneado para las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

En base a la muestra R02 seleccionada después de realizar el diseño de dosificación, se procede a aplicar el diseño factorial (tabla 3.8) en la etapa de horneado para elaborar las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca, se toma como variable respuesta la humedad de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca.

4.4.1 Variable respuesta de contenido de humedad en la etapa de horneado en la elaboración de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

Aplicando el diseño experimental se toma en cuenta las variables independientes, Factor A (tiempo), Factor B (temperatura) y como variable respuesta el contenido de humedad de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca, se utiliza la norma INEN0095; la metodología utilizada se encuentra expresada en el Anexo F.

El contenido de humedad para la variable respuesta se aplica el diseño experimental en la etapa de horneado, se realiza un análisis estadístico (tabla 4.24) en el programa estadístico Statgraphics (Centurión XVI.I) para Windows y los resultados se detallan en el (Anexo H).

Tabla 4.24

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

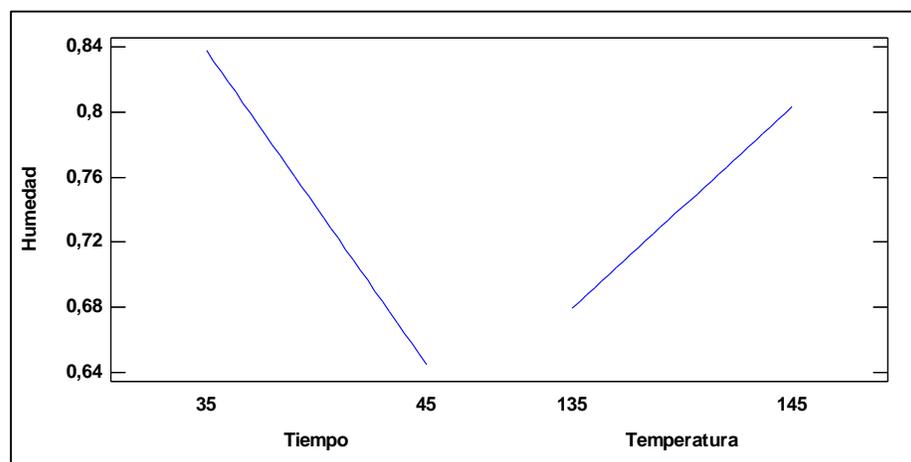
Fuente de varianza (FV)	Suma de Cuadrados (SC)	Grados de libertad (Gl)	Cuadrado Medio (CM)	F cal	Ftab
Factor A	0,07	1	0,07	33,35	0,00*
Factor B	0,03	1	0,03	13,85	0,02*
Interacción AB	0,23	1	0,22	101,42	0,00*
Error total	0,00	4	0,00		
Total	0,34	7			

Fuente: Elaboración propia

* Significativo

En la tabla 4.24, según el análisis de varianza se observa que para los factores A (tiempo), B (temperatura) e interacción AB (tiempo-temperatura), si existe diferencia significativa ya que $F_{cal} > F_{tab}$, se puede afirmar que para los factores A, B y la interacción AB, son significativos en la etapa de horneado, por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

La figura 4.26, muestra los efectos principales para los factores; factor A (tiempo), factor B (temperatura) en relación a la variable respuesta contenido de humedad (%).

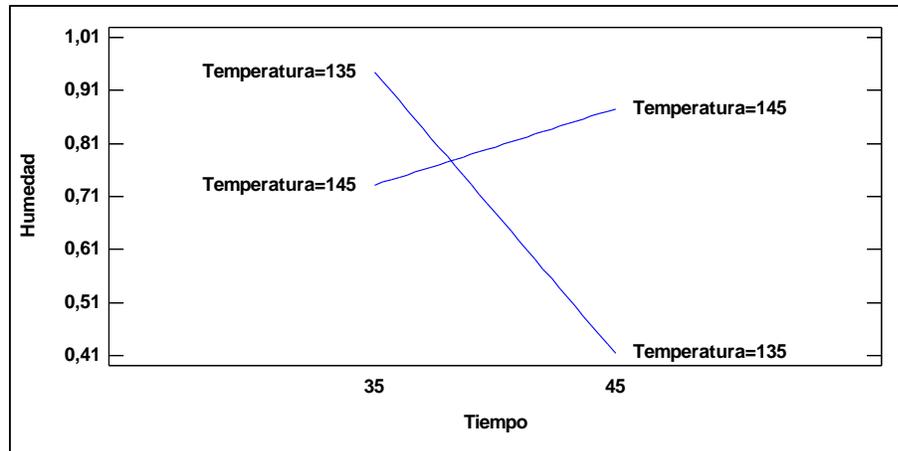


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.26 Efectos principales para el contenido de humedad

Según la figura 4.26, se puede observar que el factor A (tiempo) influye significativamente sobre la variable respuesta contenido de humedad (%) para un rango de (35 - 45) min. El factor B (temperatura), también influye significativamente para un rango de (135 - 145) °C.

La figura 4.27, muestra la interacción para los factores; AB (tiempo-temperatura), en función a la variable respuesta del contenido de humedad (%).

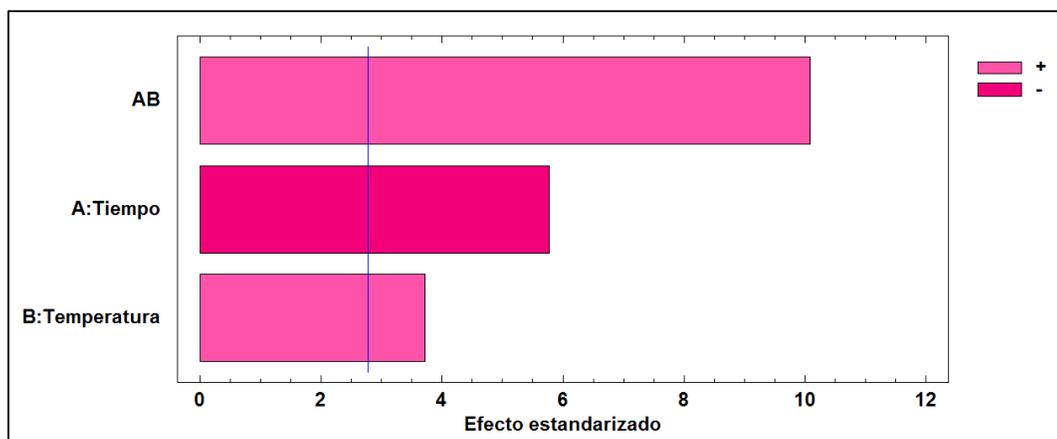


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.27 Interacción de factores para el contenido de humedad

Según la figura 4.27, se puede observar que la interacción de los factores: AB (tiempo-temperatura), para un nivel alto y bajo son significativas, ya que los factores interaccionan entre sí.

La figura 4.28, 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 interacción se determina con la línea vertical de referencia indican que son significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.28 Diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de humedad

Según la figura 4.28, se puede observar que los factores A (tiempo), B (temperatura) y la interacción AB (tiempo-temperatura) sobrepasan la línea de referencia, por lo tanto son estadísticamente significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.5 Caracterización del producto terminado

En la caracterización del producto terminado, se toma en cuenta los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca, que se detallan a continuación:

4.5.1 Análisis fisicoquímico de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

La tabla 4.25, indica los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca de datos extraídos del Anexo B).

Tabla 4.25

Análisis fisicoquímicos de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

Parámetros	Unidad	Resultado
Ceniza	%	1,02
Fibra	%	1,28
Materia grasa	%	31,00
Hidratos de carbono	%	57,75
Humedad	%	1,47
Proteína total (Nx6,25)	%	7,48
Valor energético	Kcal/100 g	516,88
Hierro	mg/100g	3,60

Calcio	mg/100g	80,30
--------	---------	-------

Fuente: CEANID, 2022

En la tabla 4.25, se puede observar los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca que presenta: ceniza 1,02 %, fibra 1,28 %, materia grasa 31,00 %, hidratos de carbono 57,75 %, humedad 1,74 %, proteína total (Nx6,25) 7,48 %, valor energético 516,88 Kcal/100 g, hierro 3,6 mg/100g y calcio 80,3 mg/100g.

4.5.2 Análisis microbiológico de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

La tabla 4.26, detalla los resultados obtenidos del análisis microbiológico de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca de datos extraídos del (Anexo B).

Tabla 4.26

Análisis microbiológico de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

Microorganismos	Unidad	Resultado
Coliformes totales	UFC/g	<1,0 x 10 ¹ (*)
Mohos y Levaduras	UFC/g	<1,0 x 10 ¹ (*)

Fuente: CEANID, 2022

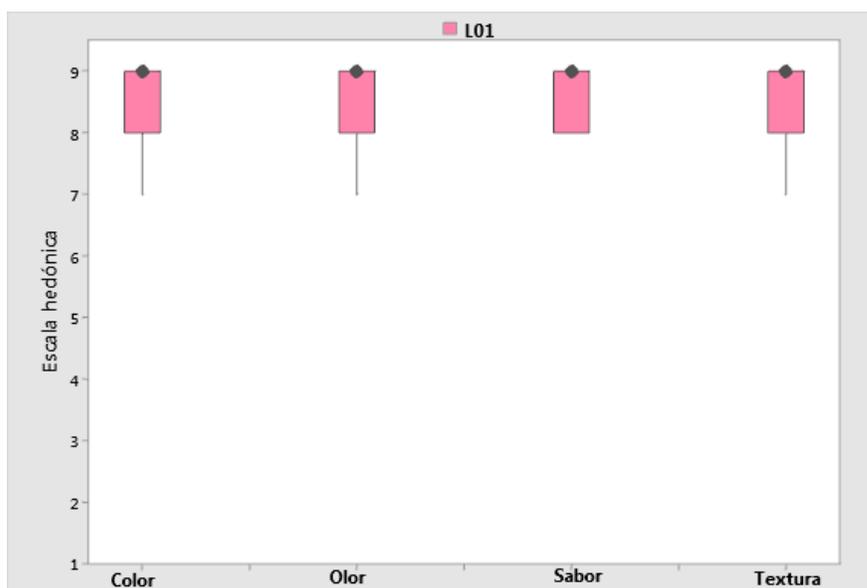
(*) = No se observa desarrollo de colonias

En la tabla 4.26, se pueden observar los resultados obtenidos del análisis microbiológico de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca que presenta: Coliformes totales <1,0 x 10¹ (*) UFC/g, Mohos y Levaduras <1,0 x 10¹ (*) UFC/g.

4.5.3 Evaluación sensorial para la muestra final de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

Se realiza la evaluación sensorial con una escala hedónica de nueve puntos a la muestra L01 de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca con el fin de ver el grado de aceptación que presenta ante 15 jueces no entrenados,

La figura 4.29, muestran los estadísticos de caja y bigote de los datos extraídos del Anexo D, para el atributo color (tabla D.73), olor (tabla D.73), sabor (tabla D.73) y textura (tabla D.73).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.29 Caja y bigote para la muestra final de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

Según la figura 4.29, se observó que los resultados de las medianas en función de los atributos de la muestra final evaluada son: color 9 (L01), olor 9 (L01), sabor 9 (L01) y textura 9 (L01).

4.6 Control de contenido de humedad, pH y acidez en las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca durante el almacenamiento

Se lleva a cabo el control de contenido de humedad, pH y acidez (ácido láctico) durante el almacenamiento en base a la muestra final de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca (L01), para tal efecto donde se elabora dos muestras con la misma dosificación; (L01S) sin conservante y (L01C) con conservante (propionato de calcio) envasadas en bolsas de polipropileno de alta densidad, se realiza un control de tres veces por semana cada dos días.

El control de contenido de humedad, pH y acidez (ácido láctico) durante el almacenamiento se realiza con el fin de establecer el tiempo de vida útil del producto, para controlar la estabilidad o variación que presenta durante un determinado tiempo, a través de análisis realizados a las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca.

4.6.1 Control de contenido de humedad en las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca durante el almacenamiento

La tabla 4.27, muestra los resultados obtenidos de la variación del contenido de humedad de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca sin conservante (L01S) y con conservante (L01C); en función del tiempo de almacenamiento de datos extraídos del Anexo I.

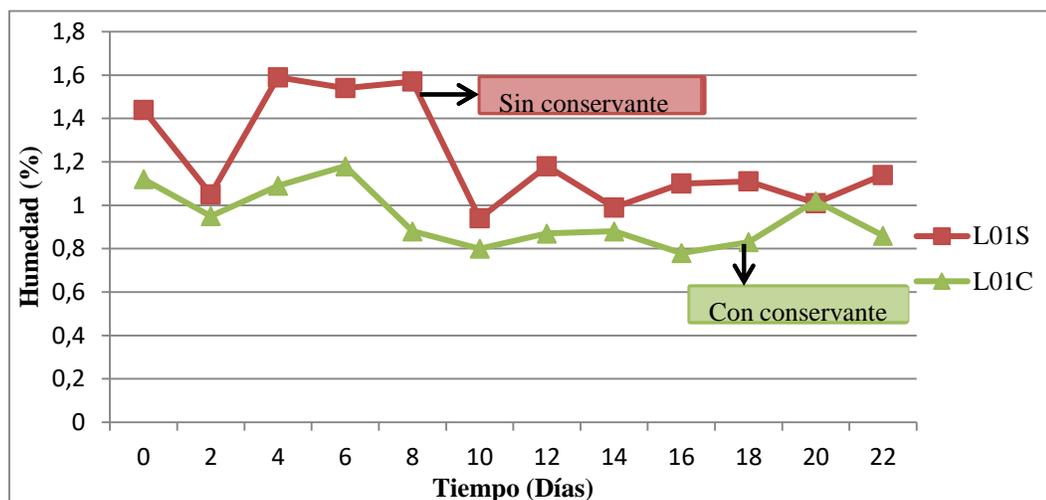
Tabla 4.27

Variación de contenido de humedad en las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca durante el almacenamiento

Tiempo (días)	Contenido de humedad	
	L01S	L01C
0	1,44	1,12
2	1,05	0,95
4	1,59	1,09
6	1,54	1,18
8	1,57	0,88
10	0,94	0,80
12	1,18	0,87
14	0,99	0,88
16	1,10	0,78
18	1,11	0,83
20	1,01	1,02
22	1,14	0,86

Fuente: Elaboración propia

La figura 4.30, se muestra el control de contenido de humedad en las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca durante el almacenamiento en base a la tabla 4.27.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.30 Control de contenido de humedad en las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca durante el almacenamiento

Según la figura 4.30, se observa que el contenido de humedad al inicio 1,44 % (L01S) y 1,12 % (L01C), sin embargo, los días (2 – 10) presenta una pérdida de contenido de humedad en el segundo día 1,05 % y antes de llegar al octavo día presenta un aumento de contenido de humedad para luego bajar al 1,57 % la muestra (L01S), mientras que el contenido de humedad de la muestra (L01C) disminuye al 0,80 % hasta el décimo día. Desde los días (12 – 22) la muestra L01S presenta una variación de (1,18 – 1,14) %, mientras que la muestra L01C presenta una estabilidad de (0,87 – 0,86) %.

De acuerdo al control realizado en las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca, el contenido de humedad de la muestra L01C adicionada con conservante (propionato de calcio), se puede evidenciar que presenta mayor estabilidad, por tanto, la adición de conservante si afecta al contenido de humedad en las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca de forma favorable.

4.6.2 Control de pH en las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca durante el almacenamiento

La tabla 4.28, muestra los resultados obtenidos de la variación del pH de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca sin conservante (L01S) y con conservante (L01C); en función del tiempo de almacenamiento de los datos extraídos del Anexo I.

Tabla 4.28

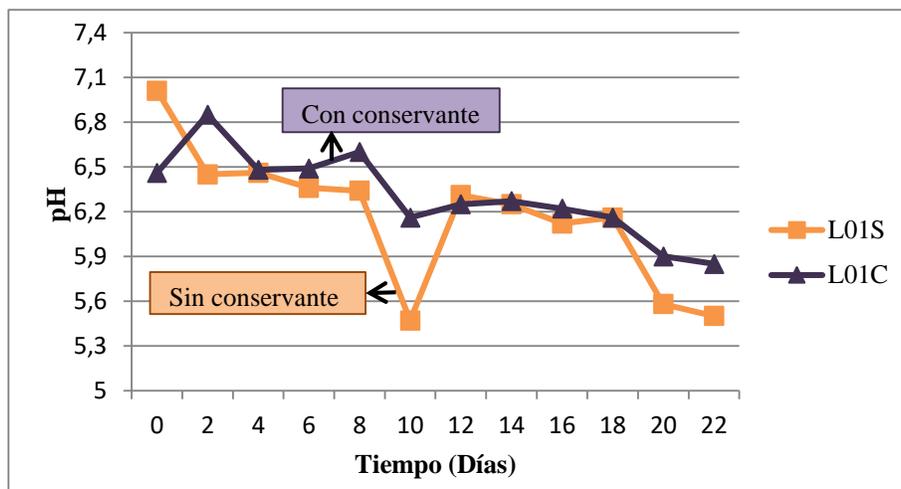
Variación del pH en las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca durante el almacenamiento

Tiempo (días)	pH	
	L01S	L01C
0	7,01	6,46
2	6,45	6,85
4	6,46	6,48
6	6,36	6,49
8	6,34	6,60
10	5,47	6,16
12	6,31	6,25
14	6,25	6,27
16	6,12	6,22
18	6,16	6,16
20	5,58	5,90

22	5,50	5,85
----	------	------

Fuente: Elaboración propia

La figura 4.31, muestra el control de pH en las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca durante el almacenamiento en base a la tabla 4.28.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.31 Control de pH en las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca durante el almacenamiento

Según la figura 4.31, se observa que en el día (0; 0) las muestras L01S y L01C presentan un pH inicial de (7,01; 6,46). En los días (2 – 10) la muestra L01S disminuye su pH de (6,45 – 5,47), como también en la muestra L01C su pH disminuye de (6,85 – 6,16). A partir del día (12 -22) la muestra L01S aumenta y disminuye su pH (6,31 – 5,50), sin embargo en la muestra L01C disminuye de (6,25 – 5,85).

De acuerdo al control realizado en las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca, el pH en la muestra L01C (6,46 – 5,85) presenta menor variación, por lo tanto, la adicción del conservante (propionato de calcio) afecta directamente al pH de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca.

4.6.3 Control de acidez (ácido láctico) en las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca durante el almacenamiento

La tabla 4.29, muestra los resultados obtenidos de la variación de acidez en las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca sin conservante (L01S) y con conservante (L01C); en función del tiempo de almacenamiento de los datos extraídos del Anexo I.

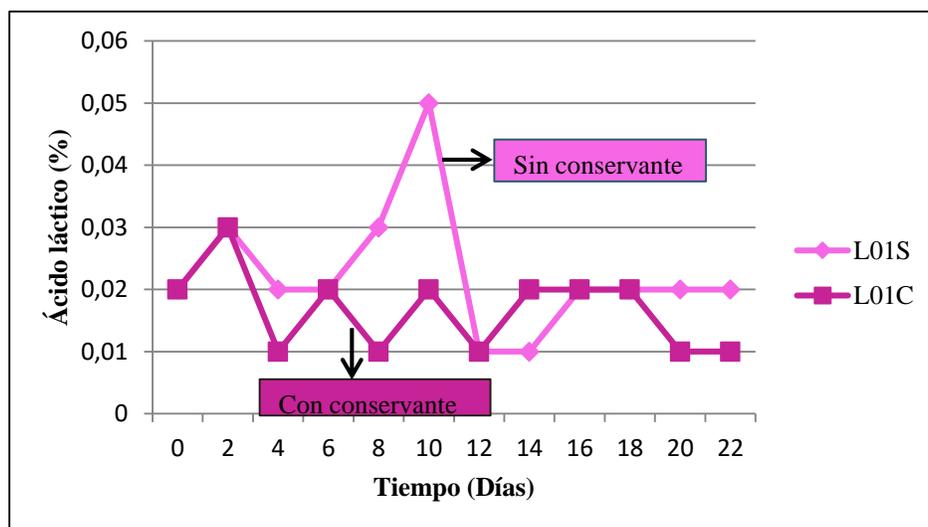
Tabla 4.29

Variación de acidez en las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca durante el almacenamiento

Tiempo (días)	Acidez (ácido láctico)	
	L01S	L01C
0	0,02	0,02
2	0,03	0,03
4	0,02	0,01
6	0,02	0,02
8	0,03	0,01
10	0,05	0,02
12	0,01	0,01
14	0,01	0,02
16	0,02	0,02
18	0,02	0,02
20	0,02	0,01
22	0,02	0,01

Fuente: Elaboración propia

La figura 4.32, muestra el control de acidez (ácido láctico) en las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca durante el almacenamiento en base a la tabla 4.29.



Fuente: Elaboración propia

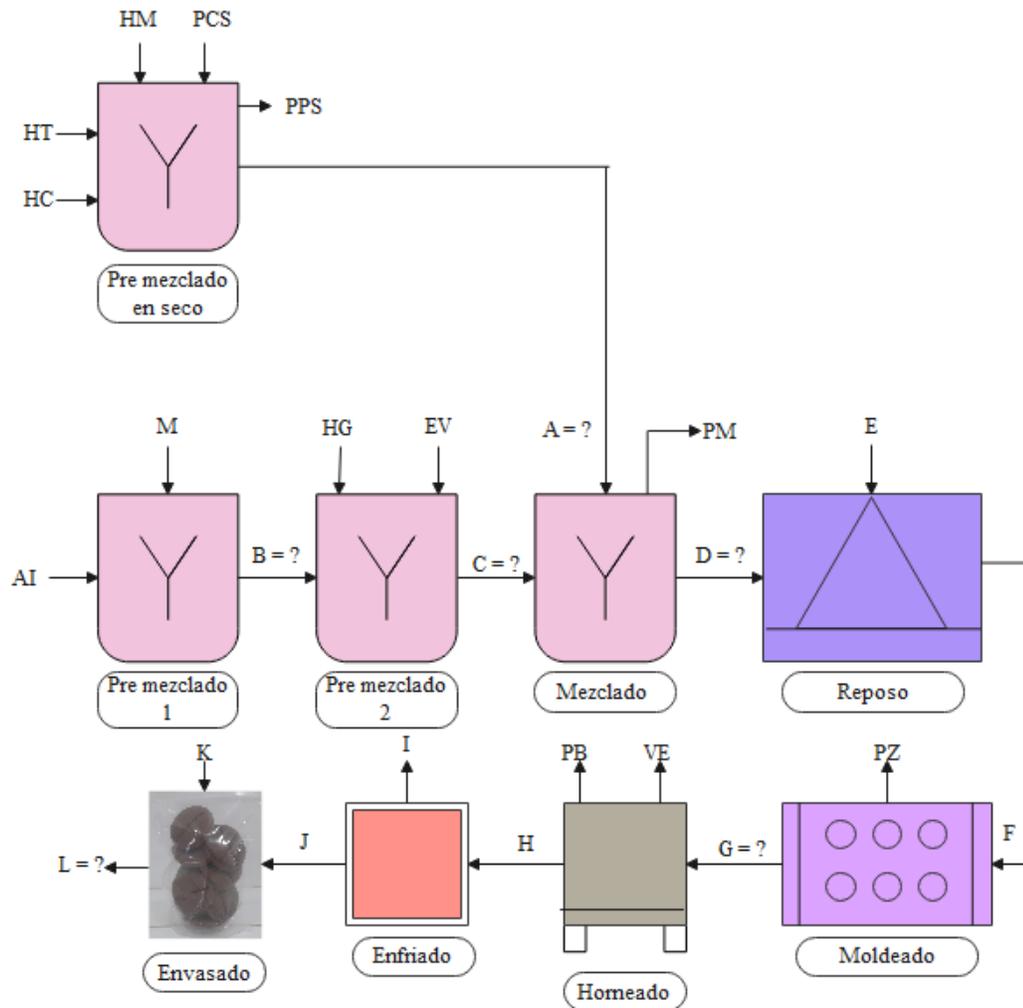
Figura 4.32 Control de contenido de acidez (ácido láctico) en las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca durante el almacenamiento

Según la figura 4.32, las muestras L01S y L01C en el día (0,0) presentan el mismo contenido de acidez de 0,02 %. En los siguientes días del (2 - 10) la muestra L01S presenta un aumento de acidez de (0,03 – 0,05) %, mientras que la muestra L01C disminuye levemente del (0,03 – 0,02) %. A partir de los días (12 – 22) la muestra L01S disminuye y aumenta su contenido de acidez del (0,01 – 0,02) %, mientras que la muestra L01C aumenta un poco pero disminuye llegando al mismo contenido de acidez del doceavo día (0,01 – 0,01) %.

De acuerdo al control de acidez realizado en las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca, se puede evidenciar que la muestra L01C presenta menor variación del contenido de acidez del (0,02 – 0,01) %, por lo tanto, la adición del conservante (propionato de calcio) si afecta de forma favorable al contenido de acidez (ácido láctico) en las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca.

4.7 Balance de materia en el proceso de elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

En la figura 4.33, se muestra el balance de materia general realizado para el proceso de elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca para un cálculo en base a 1092 g de masa de galletas.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.33 Balance de materia general en el proceso de elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

Donde:

HT = Harina de trigo (g)

HC = Harina de cañahua (g)

HM = Harina de maca (g)

AI = Azúcar impalpable (g)

M = Mantequilla (g)

HG = Huevo (g)

EV = Esencia de vainilla (g)

PCS = Polvo de cacao sin azúcar (g)

PPS = Pérdidas en el pre mezclado en seco (g)

A = Mezclas de harinas (g)

B = Pre mezcla 1 (g)

C = Pre mezcla 2 (g)

D = Mezcla emulsionada (g)

PM = Pérdidas en el mezclado final (g)

E = Frío absorbido (g)

F = Masa fría (g)

PZ = Pérdidas en el moldeado (g)

G = Masa moldeada (g)

PB = Pérdidas en la bandeja (g)

VE = Vapor evaporado en el horneado (g)

H = Galletas recién salidas del horno (g)

I = Vapor perdido en la etapa de enfriamiento (g)

J = Galleta fría (g)

K = Bolsas (g)

L = Producto final (g)

X^{HT} = Fracción contenido de humedad de la harina de trigo

X^{HC} = Fracción contenido de humedad de la harina de cañahua

X^{HM} = Fracción contenido de humedad de la harina de maca

X^{HPCS} = Fracción contenido de humedad del polvo de cacao sin azúcar

X^{HA} = Fracción contenido de humedad de la mezcla de harinas

X^{HC} = Fracción contenido de humedad de la pre mezcla 2

X^{HD} = Fracción contenido de humedad de la mezcla emulsionada

X^{HF} = Fracción contenido de humedad de la masa fría

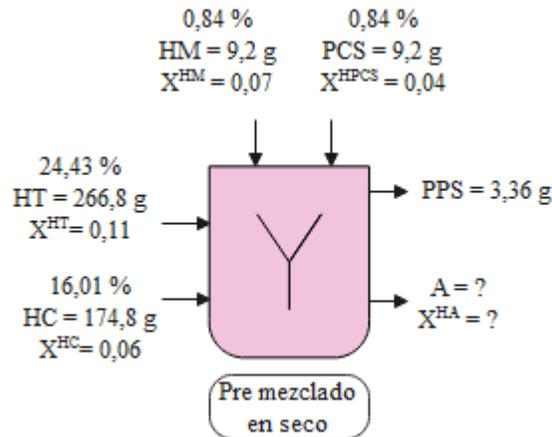
X^{HG} = Fracción contenido de humedad de la masa moldeada

X^{HH} = Fracción contenido de humedad de la galleta caliente

X^{HVE} = Fracción contenido de humedad de agua evaporada en el horneado

4.7.1 Balance de materia para la etapa de pre mezclado en seco

En la figura 4.34, se muestra un diagrama de la etapa de pre mezclado en seco de las harinas utilizadas en el proceso, como también la perdida en el pre mezclado en seco (PPS) que queda adherido en el recipiente; para realizar el balance de materia correspondiente.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.34 Etapa de pre mezclado en seco

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

$$HT + HC + HM + PCS = PPS + A \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Despejar A (mezclas de harinas), de la ecuación 4.1, reemplazando los datos:

$$A = HT + HC + HM + PCS - PPS \quad \text{Ecuación 4.2}$$

$$A = (266,8 + 174,8 + 9,2 + 9,2 - 3,36) \text{ g}$$

$$A = 456,64 \text{ g}$$

Balance de materia parcial por contenido de humedad del proceso de pre mezclado en seco:

$$HT * X^{HT} + HC * X^{HC} + HM * X^{HM} + PCS * X^{HPCS} = PPS * X^{HA} + A * X^{HA} \quad \text{Ecuación 4.3}$$

De la ecuación 4.3, despejamos contenido de humedad en mezclas secas X^{HA}

$$PPS * X^{HA} + A * X^{HA} = HT * X^{HT} + HC * X^{HC} + HM * X^{HM} + PCS * X^{HPCS}$$

$$X^{HA} * (PPS + A) = HT * X^{HT} + HC * X^{HC} + HM * X^{HM} + PCS * X^{HPCS}$$

$$X^{HA} = \frac{HT * X^{HT} + HC * X^{HC} + HM * X^{HM} + PCS * X^{HPCS}}{(PPS + A)} \quad \text{Ecuación 4.4}$$

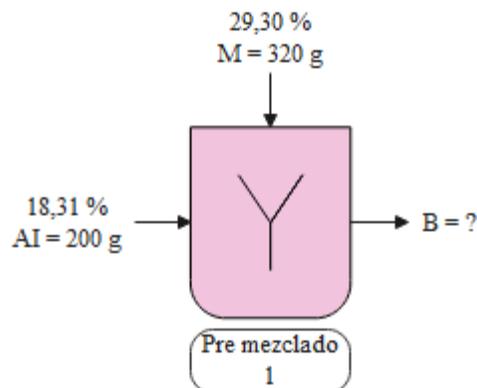
Reemplazando los datos a la ecuación 4.4

$$X^{HA} = \frac{(266,8 * 0,11 + 174,8 * 0,06 + 9,2 * 0,07 + 9,2 * 0,04)g}{(3,36 + 456,64)g}$$

$$X^{HA} = 0,09$$

4.7.2 Balance de materia para la etapa de pre mezclado 1

En la figura 4.35, se muestra un diagrama en la etapa de pre mezclado 1 para realizar la mezcla entre la mantequilla y el azúcar impalpable utilizados en el proceso para realizar el balance de materia correspondiente.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.35 Etapa de pre mezclado 1

Balance de materia general en la etapa de pre mezclado 1:

$$AI + M = B \quad \text{Ecuación 4.5}$$

Despejo B (pre mezcla 1) de la ecuación 4.5, reemplazando los datos:

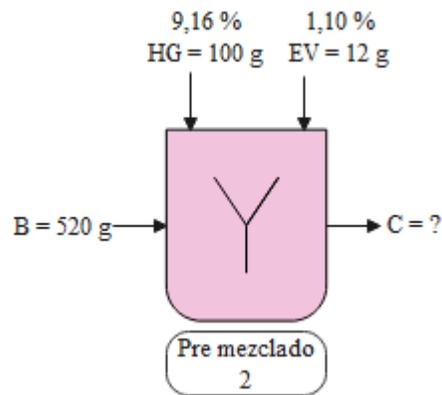
$$B = AI + M$$

$$B = (200 + 320) g$$

$$B = 520 \text{ g}$$

4.7.3 Balance de materia para la etapa de pre mezclado 2

En la figura 4.36, se muestra un diagrama en la etapa de pre mezclado 2 que ya contiene la pre mezcla 1 y a esta se le añade la esencia de vainilla y el huevo utilizados en el proceso para realizar el balance de materia correspondiente.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.36 Etapa de pre mezclado 2

Balance de materia general en la etapa de pre mezclado 2:

$$B + EV + HG = C$$

Ecuación 4.6

Despejando C (pre mezcla 2) de la ecuación 4.6, reemplazando los datos:

$$C = B + EV + HG$$

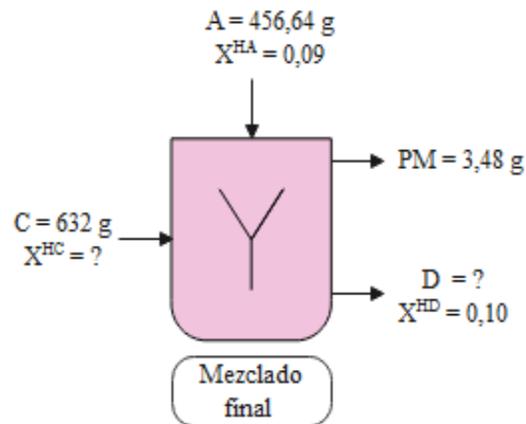
$$C = (520 + 12 + 100) \text{ g}$$

$$C = 632 \text{ g}$$

4.7.4 Balance de materia para la etapa de mezclado final

En la figura 4.37, se muestra un diagrama en la etapa de mezclado final que ya contiene la pre mezcla 2 y a esta se le añade el pre mezclado en seco utilizados en el proceso, como también la pérdida en el mezclado final (PM) que queda adherido al recipiente y

a las varillas de la batidora de mano; para realizar el balance de materia correspondiente.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.37 Etapa de mezclado final

Balance general de materia en la etapa de mezclado final:

$$C + A = D + PM \quad \text{Ecuación 4.7}$$

Despejo D (mezcla emulsionada) de la ecuación 4.7, reemplazando los datos:

$$D = C + A - PM \quad \text{Ecuación 4.8}$$

$$D = (632 + 456,64 - 3,48) \text{ g}$$

$$D = 1085,16 \text{ g}$$

Balance de materia parcial por contenido de humedad del proceso de mezclado final:

$$C * X^{HC} + A * X^{HA} = D * X^{HD} + PM * X^{HD} \quad \text{Ecuación 4.9}$$

De la ecuación 4.9, despejamos contenido de humedad del mezclado final X^{HC}

$$C * X^{HC} = D * X^{HD} + PM * X^{HD} - A * X^{HA}$$

$$X^{HC} = \frac{X^{HD} * (D + PM) - A * X^{HA}}{C} \quad \text{Ecuación 4.10}$$

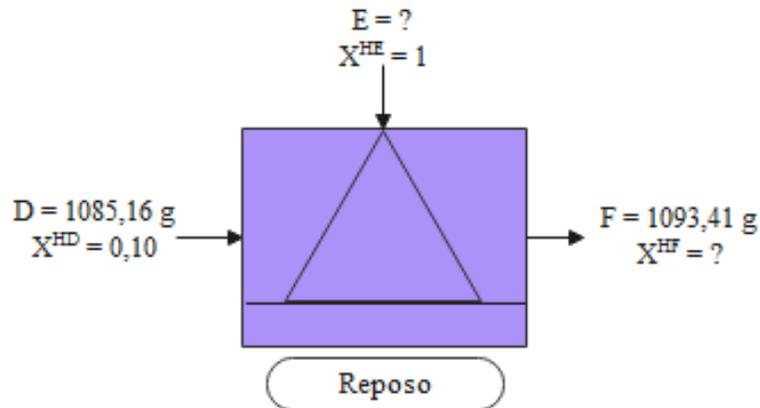
Reemplazar datos en la ecuación 4.10

$$X^{HC} = \frac{0,10 * (1085,16 + 3,48) \text{ g} - 456,64 \text{ g} * 0,09}{632 \text{ g}}$$

$$X^{HC} = 0,11$$

4.7.5 Balance de materia para la etapa de reposo

En la figura 4.38, se muestra un diagrama en la etapa de reposo utilizado en el proceso para realizar el balance de materia correspondiente.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.38 Etapa de reposo

Balance general de materia en la etapa de reposo:

$$D + E = F \quad \text{Ecuación 4.11}$$

Para calcular E (frío absorbido) se despeja de la ecuación 4.11, reemplazando los datos:

$$E = F - D \quad \text{Ecuación 4.12}$$

$$E = (1093,41 - 1085,16) \text{ g}$$

$$E = 8,25 \text{ g}$$

Para calcular el X^{HF} (contenido de humedad en la masa fría) después del reposo se tomó en cuenta el contenido de humedad de la masa en la entrada, se realizó un balance por componentes.

$$D * X^{HD} + E * X^{HE} = F * X^{HF} \quad \text{Ecuación 4.13}$$

Despejando X^{HF} de la ecuación 4.13, reemplazando los datos:

$$F * X^{HF} = D * X^{HD} + E * X^{HE}$$

$$X^{HF} = \frac{D * X^{HD} + E * X^{HE}}{F}$$

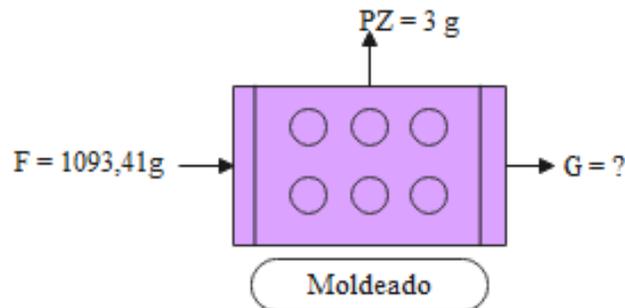
Ecuación 4.14

$$X^{HF} = \frac{1085,16 * 0,10 + 8,25 * 1}{1093,41}$$

$$X^{HF} = 0,11$$

4.7.6 Balance de materia para la etapa de moldeo

En la figura 4.39, se muestra un diagrama en la etapa de moldeo utilizado en el proceso, como también la perdida en el moldeo (PZ) que queda adherido al molde; para realizar el balance de materia correspondiente.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.39 Etapa de moldeo

Balance general de materia en la etapa de moldeo:

$$F = PZ + G$$

Ecuación 4.15

Despejando G de la ecuación 4.15, reemplazando los datos:

$$G = F - PZ$$

Ecuación 4.16

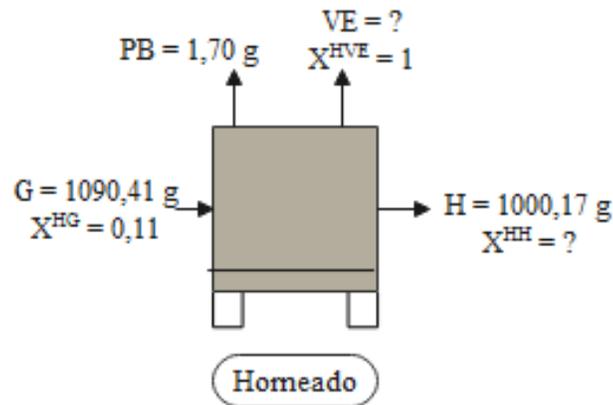
$$G = (1093,41 - 3) \text{ g}$$

$$G = 1090,41 \text{ g}$$

4.7.7 Balance de materia para la etapa de horneado

En la figura 4.40, se muestra un diagrama en la etapa de horneado utilizado en el

proceso, como también la pérdida en la bandeja (PB) que son las migajas de las galletas cocidas que se quedan en la bandeja; para realizar el balance de materia correspondiente.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.40 Etapa de horneado

Balance general de materia en la etapa de horneado:

$$G = PB + VE + H \quad \text{Ecuación 4.17}$$

Despejando VE (vapor evaporado en el horneado) de la ecuación 4.17, reemplazando los datos:

$$VE = G - H - PB \quad \text{Ecuación 4.18}$$

$$VE = (1090,41 - 1000,17 - 1,70) \text{ g}$$

$$VE = 88,54 \text{ g}$$

Balance de materia parcial por contenido de humedad del proceso de horneado:

$$G * X^{HG} = \cancel{PB * X^{HPB}} + VE * X^{HVE} + H * X^{HH} \quad \text{Ecuación 4.19}$$

Despejamos X^{HH} de la ecuación 4.19, reemplazando los datos:

$$X^{HH} = \frac{G * X^{HG} - VE * X^{HVE}}{H} \quad \text{Ecuación 4.20}$$

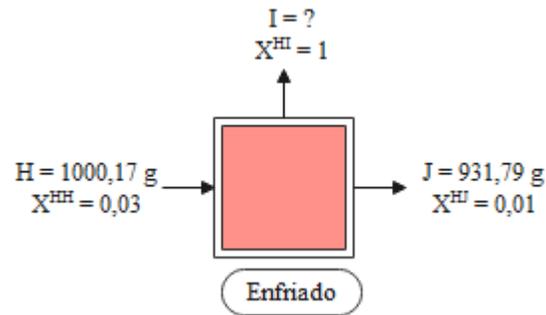
$$X^{HH} = \frac{1090,41 * 0,11 - 88,54 * 1}{1000,17}$$

$$X^{HH} = 0,03$$

El porcentaje de contenido de humedad en la galleta recién horneada es de 3 %.

4.7.8 Balance de materia para la etapa de enfriado

En la figura 4.41, se muestra un diagrama en la etapa de enfriado utilizado en el proceso para realizar el balance de materia correspondiente.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.41 Etapa de enfriado

Balance general de materia en la etapa de enfriado:

$$H = I + J$$

Ecuación 4.21

Despejando I (vapor perdido en la etapa de enfriamiento) de la ecuación 4.21, reemplazando los datos:

$$I = H - J$$

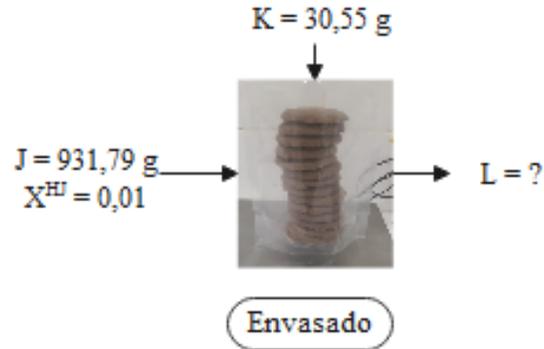
Ecuación 4.22

$$I = (1000,17 - 931,79) \text{ g}$$

$$I = 68,38 \text{ g}$$

4.7.9 Balance de materia para la etapa de envasado

En la figura 4.42, se muestra un diagrama en la etapa de envasado utilizado en el proceso, como también el peso total de las cinco bolsas (K) utilizadas para envasar las galletas enriquecidas con harina de cañahua y maca; para realizar el balance de materia correspondiente.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.42 Etapa de envasado

Balance general de materia en la etapa de envasado:

$$J + K = L$$

Ecuación 4.23

Para el cálculo de L (galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca envasadas), se tomó en cuenta el peso total de los envases

$$L = J + K$$

$$L = (931,79 + 30,55) \text{ g}$$

$$L = 962,34 \text{ g}$$

El rendimiento del proceso (% R) de elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca se calcula con la ecuación 4.24.

$$\%R = \frac{\text{Peso final del proceso}}{\text{Peso inicial del proceso}} * 100$$

Ecuación 4.24

$$\% R = \frac{931,79 \text{ g}}{1092 \text{ g}} * 100$$

$$\% R = 85,33 \%$$

Se calculó la cantidad de galletas que se obtuvo con el peso final obtenido de galletas.

$$1 \text{ bolsa} \longrightarrow 14 \text{ galletas} \longrightarrow 200,08 \text{ g de galletas}$$

$$14 \text{ galletas} \longrightarrow 200,08 \text{ g}$$

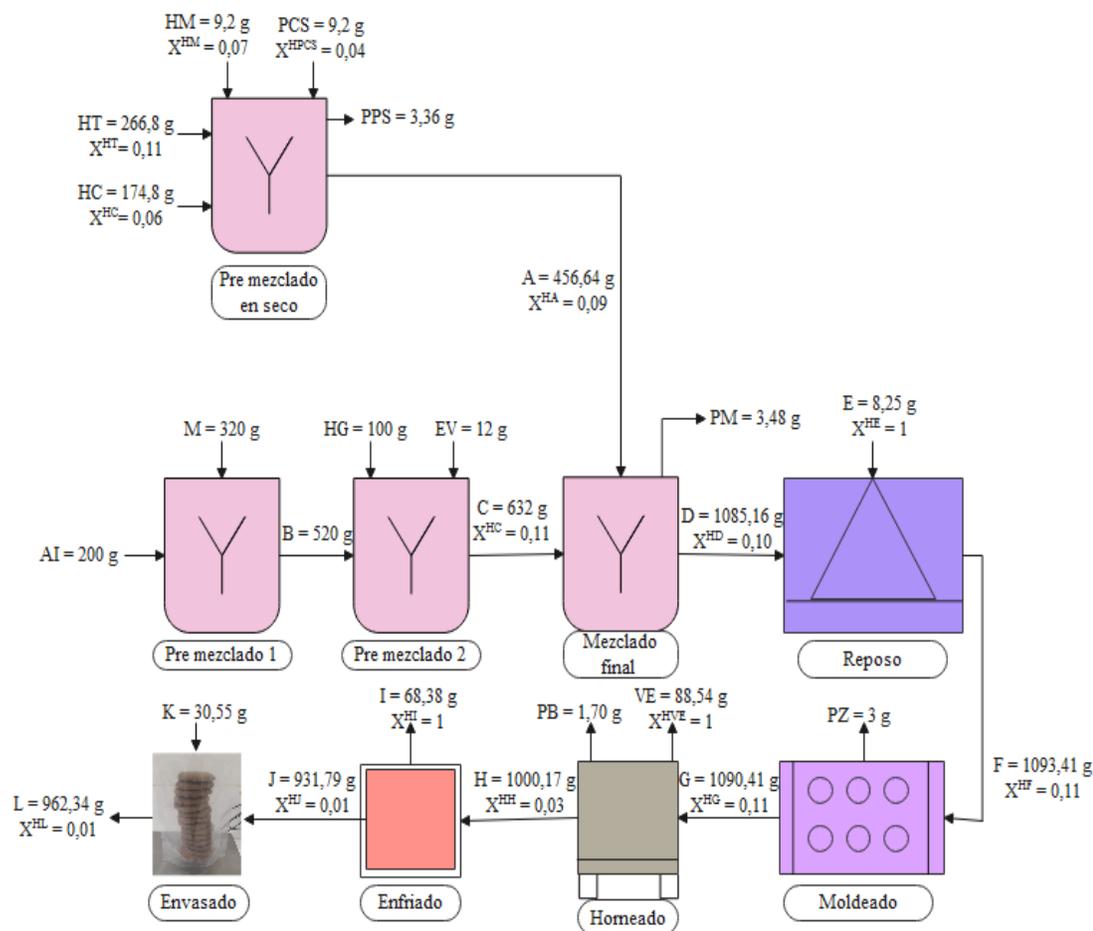
X galletas ——— 931,79 g

$$X = \frac{14 * 931,79 \text{ g}}{200,08 \text{ g}}$$

X = 65, 20 = 65 unidades de galletas

4.8 Resumen general del balance de materia en el proceso de elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

En la figura 4.43, se muestra el resumen de los resultados obtenidos del balance de materia general realizado para el proceso de elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca.

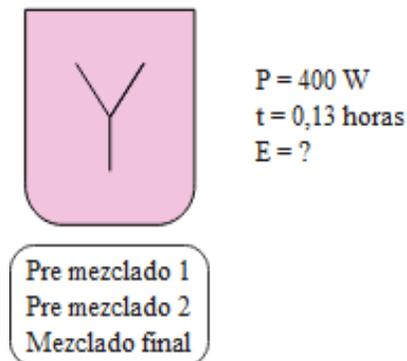


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.43 Balance general de materia para el proceso de elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

4.9 Balance de energía para las siguientes etapas: pre mezclado 1, pre mezclado 2 y mezclado final

Para las etapas de pre mezclado 1, pre mezclado 2 y mezclado final se utilizó una batidora de mano con una potencia de 400 W durante 0,13 horas. En la figura 4.44, se muestra el diagrama para determinar la energía eléctrica requerida para la batidora de mano.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.44 Pre mezclado 1, pre mezclado 2 y mezclado final

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

$$E = P * \Theta$$

Ecuación 4.25

Donde:

E = Energía eléctrica (W/h)

P = Potencia (W)

Θ = Tiempo (horas)

$$\text{Así mismo: } 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} = 1,163 \text{ W}$$

$$\text{Por tanto: } 400 \text{ W} = 343,94 \text{ Kcal/h}$$

Reemplazando datos en la ecuación 4.25, para hallar la energía eléctrica:

$$E = 343,94 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} * 0,13 \text{ h}$$

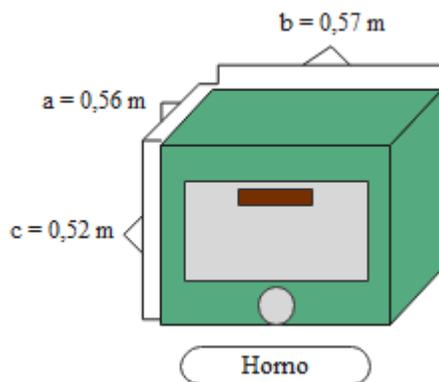
$$E = 44,71 \text{ Kcal}$$

La energía eléctrica requerida en la batidora de mano para realizar el pre mezclado 1, pre mezclado 2 y mezclado durante 0,13 horas es de 44,71 Kcal para 1092 g de masa para galletas.

4.10 Balance de energía para la etapa de horneado de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

El balance de energía para el horneado se realizó para 1092 g de masa para galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca y para lo cual los cálculos se detallan en base a las condiciones de la ciudad de Tarija de 1866 msnm y presión atmosférica de 609 mmHg.

Para realizar el balance de energía en el horneado de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca se tomó en cuenta la cantidad de calor necesario para calentar el aire dentro del horno, el calor necesario para calentar la bandeja y el calor necesario para la cocción de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca. En la figura 4.45, se muestra el horno para el balance de energía del horneado de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.45 Horno

Donde:

a = Ancho del horno (m)

b = Base del horno (m)

c = Altura del horno (m)

4.10.1 Balance de energía para calentar el horno

Para determinar el calor necesario para calentar el aire dentro del horno, inicialmente se determinó el volumen del horno (ecuación 4.26) y posteriormente la masa del aire en base a la densidad (ecuación 4.27).

$$V = a * b * c \quad \text{Ecuación 4.26}$$

a = Ancho del horno (m)

b = Base del horno (m)

c = Altura del horno (m)

V = Volumen del aire (m³)

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

$$V = (0,56 * 0,57 * 0,52) \text{ m}^3$$

$$V = 0,17 \text{ m}^3 \text{ volumen del horno}$$

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

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

Donde:

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

m = masa del aire (Kg)

v = volumen del aire (m³)

Despejando m_{aire} y reemplazando en la ecuación 4.28

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

$$m_{\text{aire}} = 1,2 \text{ Kg/m}^3 * 0,17 \text{ m}^3$$

$$m_{\text{aire}} = 0,20 \text{ Kg}$$

Habiéndose hallado la masa del aire dentro del horno, en base a la ecuación 4.29, según (Lewis, 1993), se determinó el calor necesario para calentar el aire dentro del horno que inicia a temperatura de 20 °C y alcanza una temperatura final de 145 °C.

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

Donde:

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

m_{aire} = masa del aire (0,20 Kg)

C_{paire} = capacidad calorífica del aire (0,24 Kcal/Kg°C)

$\Delta T = (T_f - T_i)$ variación de la temperatura en el horno (145 – 20) °C

Reemplazando datos en la ecuación 4.29

$$Q_{\text{aire}} = 0,20 \text{ Kg} * 0,24 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C} * (145 - 20) ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{aire}} = 6 \text{ Kcal}$$

4.10.2 Balance de energía para calentar la bandeja de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

Se tomó en cuenta el calor requerido para calentar la bandeja, en el cual se utilizó la ecuación 4.30.

$$Q_B = m_B * C_{pB} * (T_f - T_i) \quad \text{Ecuación 4.30}$$

Donde:

Q_B = calor necesario para calentar el molde para las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

m_B = masa de bandeja para las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca (0,79 Kg)

C_{pB} = calor específico de la bandeja (0,22 Kcal/Kg°C)

$\Delta T = (T_f - T_i)$ variación de temperatura en el horno (145 – 20) °C

Reemplazando datos en la ecuación 4.30:

$$Q_B = 0,79 \text{ Kg} * 0,22 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C} * (145 - 20) \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_B = 21,73 \text{ Kcal}$$

4.10.3 Balance de energía para la cocción de la masa de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

Para determinar el calor necesario para la cocción de la masa de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca, primero se determinó el C_p de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca en base a la ecuación 4.31:

$$C_{p\text{galleta}} = \underbrace{M_a * C_a}_{\text{agua}} + \underbrace{M_c * C_c}_{\text{carbohidrato}} + \underbrace{M_p * C_p}_{\text{proteína}} + \underbrace{M_g * C_g}_{\text{grasa}} + \underbrace{M_z * C_z}_{\text{ceniza}} \quad \text{Ecuación 4.31}$$

Donde:

M_a, M_c, M_p, M_g y M_z = fracciones de masa de los componentes del alimento

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

Para el valor de los calores específicos de cada componente alimentario se tomó en cuenta la tabla 4.30 (Lewis, 1993):

Tabla 4.30*Calores específicos de componentes alimentarios*

Componente	Calor específico Kcal/Kg°C
C _a	0,9990
C _c	0,2916
C _p	0,4541
C _g	0,4541
C _z	0,4302

Fuente: Lewis, 1993

Para el valor de las fracciones de la masa de cada componente, se tomó en cuenta los resultados de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca obtenidos según (CEANID, 2022 (Anexo B), en base a estos datos se convierte a fracción obteniendo:

$$M_a = 0,0147 \text{ (fracción de masa del componente agua)}$$

$$M_c = 0,5775 \text{ (fracción de masa del componente carbohidrato)}$$

$$M_p = 0,0748 \text{ (fracción de masa del componente proteína)}$$

$$M_g = 0,31 \text{ (fracción de masa del componente graso)}$$

$$M_z = 0,0102 \text{ (fracción de masa del componente ceniza)}$$

Obtenido los datos de fracciones de masa y datos C_p se reemplazaron en la ecuación 4.31 para hallar el C_p de la masa de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca.

$$C_{p_{\text{galleta}}} = 0,0147 * 0,9990 + 0,5775 * 0,2916 + 0,0748 * 0,4541 + 0,31 * 0,4541 + 0,0102 * 0,4302$$

$$C_{p_{\text{galleta}}} = 0,36 \text{ Kcal/Kg°C}$$

Habiéndose determinado el C_p de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca se determinó el calor necesario para la cocción de la masa en base a la ecuación 4.32.

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

Donde:

Q_{galleta} = calor necesario para la cocción de la masa de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca (Kcal)

m_{galleta} = masa de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca (1,09041 Kg)

$C_{p\text{galleta}}$ = calor específico de las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca (0,36 Kcal/Kg°C)

$m_{\text{agua evap}}$ = masa de agua evaporada (0,08854 Kg)

λ = landa de evaporización del agua (538,86 Kcal/Kg) (Perry, 1991)

T_f = temperatura final (145 °C)

T_i = temperatura inicial (20 °C)

Reemplazar datos en la ecuación 4.32:

$$Q_{\text{galleta}} = 1,09041 \text{ Kg} * 0,36 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C} * (145 - 20) ^\circ\text{C} + 0,08854 \text{ Kg} * 538,86 \text{ Kcal/Kg}$$

$$Q_{\text{galleta}} = 96,78 \text{ Kcal}$$

4.11 Balance de energía para determinar la cantidad de calor total necesario para elaborar las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca

Para determinar la cantidad total de calor necesario para llevar a cabo los procesos de pre mezclado 1, pre mezclado 2, mezclado final y horneado de la masa de galletas, se utilizó la ecuación simplificada 4.34 (Valiente, 1986):

$$Q_T = \Sigma Q_i \quad \text{Ecuación 4.34}$$

Donde:

Q_T = calor total necesario para llevar a cabo el proceso

ΣQ_i = suma de los calores involucrados

Reemplazando datos en la ecuación 4.34:

$$Q_T = Q_B + Q_{\text{aire}} + Q_g$$

Ecuación 4.35

$$Q_T = (21,73 + 6 + 96,78) \text{ Kcal}$$

$$Q_T = 124,51 \text{ Kcal}$$

La energía eléctrica necesaria fue de 44,71 Kcal y la cantidad de calor necesario para el proceso de elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca fue de 124,51 Kcal.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Según el análisis fisicoquímico extraído de la etiqueta de harina de trigo muestra que contiene: valor energético 169 Kcal, carbohidratos 36 g, proteínas 4,5 g, grasas totales 0,8 g, grasas saturadas no contiene, grasas trans no contiene, fibra alimentaria 1,5 g, sodio no contiene, hierro 1,5 mg, niacina 0,65 mg, tiamina 0,32 mg, ácido fólico 110 µg, Riboflavina 0,07 mg.
- El análisis microbiológico de la harina de trigo presenta: Coliformes totales $2,0 \times 10^1$ UFC/g, Mohos y Levaduras $3,9 \times 10^2$ UFC/g.
- Según el análisis fisicoquímico extraído de la etiqueta de harina de cañahua muestra que contiene: energía 395 Kcal, proteínas 15,2 g, grasas 7,69 g, carbohidratos 67,78 g, hierro 25,3 mg, calcio 195 mg.
- El análisis microbiológicos de la harina de cañahua presentó: Coliformes totales $3,0 \times 10^1$ UFC/g, Mohos y Levaduras $1,6 \times 10^2$ UFC/g.
- Según el análisis extraído de la etiqueta de harina de maca muestra que contiene: proteínas 11,76 %, carbohidratos 68,15 %, fibras 5,19 %, grasas 0,99 %, acidez 0,93 %, humedad 9,88 %, potasio 1650 mg, calcio 362,2 mg, fosforo 359,9 mg, hierro 11,0 mg.
- El análisis microbiológicos de la harina de maca presentó: Coliformes totales $3,0 \times 10^1$ UFC/g, Mohos y Levaduras $2,1 \times 10^2$ UFC/g.
- De acuerdo a la evaluación sensorial realizada a las pruebas preliminares de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca parte 2, según el análisis estadístico de varianza para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$, se observa que los jueces eligen la muestra (N04) por presentar un olor agradable, mejor sabor, textura crocante y una buena apariencia.

- Aplicando el diseño experimental 2^3 en la etapa de dosificación en la elaboración de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca, se puede establecer que los factores de variación: (A) harina de cañahua, (B) harina de maca y (C) polvo de cacao sin azúcar, existe evidencia significativa debido a que $F_{cal} > F_{tab}$, por tanto, se rechaza la hipótesis planteada para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.
- Sus variables respuesta (contenido de humedad, pH y contenido de acidez (ácido láctico)); para el contenido de humedad los factores, interacciones y de acuerdo a sus F_{cal} se menciona de forma decreciente: C (polvo de cacao sin azúcar), A (harina de cañahua), B (harina de maca), ABC (harina de cañahua-harina de maca-polvo de cacao sin azúcar) y AC (harina de cañahua-polvo de cacao sin azúcar), son significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.
- Para el pH el factor, interacción y de acuerdo a sus F_{cal} se menciona de forma decreciente: C (polvo de cacao sin azúcar) y ABC (harina de cañahua-harina de maca-polvo de cacao sin azúcar), son significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.
- Para el contenido de acidez (ácido láctico) las interacciones, factor y de acuerdo a sus F_{cal} se menciona de forma decreciente: AB (harina de cañahua-harina de maca), BC (harina de maca-polvo de cacao sin azúcar), ABC (harina de cañahua-harina de maca-polvo de cacao sin azúcar) y A (harina de cañahua), son significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.
- La incidencia de los factores e interacciones en el proceso; para el contenido de humedad el factor C (polvo de cacao sin azúcar); contenido de pH el factor C (polvo de cacao sin azúcar) y la interacción ABC (harina de cañahua-harina de maca-polvo de cacao sin azúcar); sobrepasan la línea de referencia en el diagrama de Pareto y por lo tanto son estadísticamente significativos, para un

nivel de significancia $\alpha = 0,05$, mientras para el contenido de acidez (ácido láctico) ningún factor e interacción sobrepasan la línea de referencia en el diagrama de Pareto por lo tanto no son estadísticamente significativos, para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

- El análisis estadístico del diseño experimental 2^2 aplicado en la etapa de horneado, indica que las interacciones de los factores (tiempo-temperatura) son estadísticamente significativo para un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$, debido que $F_{cal} > F_{tab}$, por lo tanto se rechaza la hipótesis planteada.
- El control del proceso se realiza tomando en cuenta la variable respuesta el contenido de humedad, mediante el uso del software de statgraphics donde el análisis estadístico indica que la interacción, factores y de acuerdo a sus F_{cal} se menciona de forma decreciente: interacción AB (tiempo-temperatura), A (tiempo) y B (temperatura) son significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.
- La incidencia de los factores e interacciones en el proceso; para el contenido de humedad la interacción AB (tiempo-temperatura) y los factores A (tiempo), B (temperatura); sobrepasan la línea de referencia en el diagrama de Pareto y por lo tanto son estadísticamente significativos, para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.
- El control de contenido de humedad, pH y acidez (ácido láctico) en el producto final durante el almacenamiento durante 22 días indica que en función del tiempo la muestra con conservante (L01C) presenta mejor estabilidad y menor variación: el contenido de humedad indica una variación de (1,12 – 0,86) %, el pH presenta una variación de (6,46 – 5,85) y por último el contenido de acidez (ácido láctico) en las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca tiene un margen de variación de (0,02 – 0,01) %.

- El análisis fisicoquímico en el producto final indica: ceniza 1,02 %, fibra 1,28 %, materia grasa 31,00 %, hidratos de carbono 57,75 %, humedad 1,74 %, proteína total (Nx6,25) 7,48 %, valor energético 516,88 Kcal/100 g, hierro 3,6 mg/100g y calcio 80,3 mg/100g. Los resultados del análisis microbiológico realizado a las galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca presenta: Coliformes totales $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g, Mohos y Levaduras $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g. (*) = No se observa desarrollo de colonias.
- El balance de materia indica que a partir de 1092 g de masa de galletas duces enriquecidas con harina de cañahua y maca se obtiene 853,37 g de galletas dulces enriquecidas con harina de cañahua y maca comprende 65 unidades de galletas con peso aproximado de 14,32 g x unidad; con un rendimiento del proceso del 85,33 %. Así mismo, la cantidad de energía eléctrica que se utilizó en las etapas de pre mezclado 1, pre mezclado 2 y mezclado final es de 44,71 Kcal y la cantidad de calor total que se utiliza para el proceso de horneado es de 124,51 Kcal.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda elaborar más productos alimenticios a base de harinas como: amaranto, quinua, soja, maíz u otros, con la finalidad de enriquecerlos para brindar a la población Tarijeña variedad de productos de calidad nutricional.
- Se recomienda elaborar galletas a base de harinas sin gluten como: avena, haba, coco, entre otras, con la finalidad de incluir al mercado local galletas exclusivamente para personas celiacas.
- Se recomienda hacer más investigaciones de nuevos productos utilizando alimentos que se venden en el mercado local, para poder elaborar productos nutritivos y saludables como también beneficiando a los productores incrementando su comercialización.

- Se recomienda que los equipos del laboratorio que se necesiten reactivos cuenten con estos para poder llevar a cabo nuestro proyecto de investigación sin ningún problema.