

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La quinua, kiuna o jupa (*Chenopodium quinoa Wild*) es una de las numerosas especies que han domesticado los antepasados pertenecientes a culturas como la Incaica, Tiahuanacota y otras (Bonifacio et al., 2012). La quinua de granos negros registra más propiedades alimentarias y medicinales que las blancas y amarillas, incluso porque contiene litio, sustancia recomendada para personas que sufren depresión, cabe destacar que la Organización Mundial de la Salud (OMS) considera que la proteína de la quinua es tan completa como la de la leche; virtud que se ve repotenciada por los aminoácidos de la variedad negra (Agronoticias, 2019).

Los granos malteados ofrecen una alternativa interesante para aumentar el contenido de energía y también de nutrientes en los alimentos destinados a la alimentación infantil (Frías & Tapia, 1985). El malteado es la germinación controlada de la semilla, seguida por secado igualmente controlado. Durante la germinación se activan las enzimas y se realizan cambios físicos y químicos en el grano produciéndose la liberación de gránulos de almidón a partir de las células del endospermo (Hough, 1990).

La harina de malta de quinua puede sustituir parcialmente a la harina de trigo en productos de panificación, galletería y pastas, incrementado su valor nutritivo. El grano no contiene gluten, lo que faculta su utilización en la preparación de alimentos dietéticos apropiados para personas celiacas, con problemas de sobrepeso o enfermos convalecientes (Villacrés et al., 2011). Los niveles de sustitución adecuados en la elaboración de pan y otros productos es variable entre (10 a 50) % (León & Rosell, 2007).

En la actualidad, la quinua se cultiva en Bolivia (46%), Perú (42%), EUA (6%), Ecuador (3%) y en algunas zonas de Colombia, Chile y Argentina (0,5%) (Repo-Carrasco et al., 2007). La principal zona de producción en el país es el altiplano, particularmente el altiplano sur, donde se cultivan grandes extensiones destinadas a la exportación y que por sus condiciones agroecológicas no es posible desarrollar otro cultivo (Risi et al., 2015). Entre la diversidad genética de la quinua, destaca la quinua real que se cultiva en la zona del intersalar (salar de Uyuni y Coipasa) y en las áreas de influencia de los salares, se caracteriza por la presencia de saponina y el tamaño grande del grano, adaptándose específicamente en el altiplano sur de Bolivia (Bonifacio et al., 2012).

La transformación del grano permite un mejor aprovechamiento de sus cualidades nutritivas, mejora la disponibilidad de nutrientes, la facilidad de preparación y la presentación de los productos, potenciando su valor como alimento (Villacrés et al., 2011). Aproximadamente el 80% de la malta es usada en la industria cervecera 14% en productos alcohólicos destilados y 6% en jarabes de malta, leches malteadas concentradas, alimentos para el desayuno sustitutos del café (Espinoza & Quispe, 2013).

1.2 Justificación

- ❖ El presente trabajo tiene como finalidad elaborar harina malteada a base de quinua negra, que pueda ser incorporado en la dieta alimentaria como alimento, en las industrias como materia prima para la elaboración de nuevos productos alimenticios mejorando la calidad nutricional.
- ❖ La quinua es un grano con alto valor proteico y vitaminas, recientemente popularizado en mercados internacionales sobre todo por sus propiedades, beneficios y usos en la cocina, por lo cual el proceso de malteado de quinua negra mejora la calidad nutricional de la quinua negra obteniendo harina malteada de quinua negra de calidad.
- ❖ La malta es un alimento nutritivo y elevado en energía, favorece la digestión de los hidratos de carbono, aporta proteínas vegetales con aminoácidos como la lisina o el ácido glutámico, aporta minerales como el hierro o el calcio. Debido a su alto contenido energético, el consumo del cereal malteado de manera directa puede ser empleado como fuente de energía, para individuos con elevadas demandas energéticas.
- ❖ Los cereales constituyen un producto básico en la alimentación de la población, por sus características nutritivas, un sustituto parcial de la harina de trigo es la quinua, por lo tanto se obtendrá un producto con una calidad nutritiva que se pueda utilizar como materia prima para la elaboración de productos de panificación, galletería, pastas y otros.

1.3 Objetivos

Los objetivos del presente trabajo de investigación, son los siguientes.

1.3.1 Objetivo general

Obtener harina malteada a base de quinua negra, mediante la metodología de secado por estufa y vacío; con el fin de obtener un producto de calidad nutricional en la provincia Cercado del departamento de Tarija.

1.3.2 Objetivos específicos

- Elaborar malta de quinua negra, utilizando el método de secado por estufa y vacío para obtener un producto de calidad nutricional.
- Realizar pruebas preliminares de humedad, tiempo y temperatura en la etapa de germinación y secado para analizar el comportamiento de los granos de quinua negra durante el proceso de malteado.
- Aplicar un diseño factorial en el proceso de germinación del grano de quinua negra, con la finalidad de controlar las variables específicas que puedan afectar a la variable respuesta.
- Realizar análisis fisicoquímicos, minerales y microbiológicos al grano de quinua negra y en el proceso de germinación del grano, con el fin de observar el cambio de las propiedades nutricionales, determinando el tiempo óptimo de germinación.
- Evaluar la calidad nutricional de la harina malteada entera y fina de quinua negra, clasificando el tipo de harina de acuerdo a la cantidad de proteína presente.
- Realizar el balance de materia y energía utilizando diagrama de proceso para la determinar las variables entrada y salida del proceso.
- Elaborar galletas utilizando harina de quinua negra malteada con la finalidad de demostrar la aplicabilidad del producto final.

1.4 Objeto de estudio

La metodología de secado en estufa y vacío en la elaboración de harina malteada a base de quinua negra.

1.5 Campo de acción

El campo de acción que se aplica en el presente trabajo se detalla a continuación.

- **Espacial:** El presente trabajo se realiza en la provincia Cercado del departamento de Tarija.
- **Temporal:** El presente trabajo se realiza en la gestión (2021 – 2022).
- **Institución:** El presente trabajo se realiza en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos y Laboratorio Taller de Alimentos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

1.6 Planteamiento del problema

Actualmente los granos malteados son empleados en su mayoría para la elaboración de bebidas alcohólicas, la poca información que se tiene acerca de las propiedades nutricionales y beneficios de la quinua negra y de los granos malteados, hace que el consumo de éste sea exiguo. La malta es un alimento nutritivo y energético, por lo tanto, la transformación de la quinua negra en harina malteada permitirá un mejor aprovechamiento de la calidad nutricional, la facilidad de preparación y la presentación de los productos, potenciando su valor como alimento.

1.7 Formulación de problema

¿Se logrará obtener harina malteada a base de quinua negra, aplicando la metodología de secado en estufa y vacío a nivel experimental en el proceso de transformación del cereal, con la finalidad de obtener un producto de calidad nutricional en la provincia Cercado del departamento de Tarija?.

1.8 Hipótesis

La metodología de secado en estufa y vacío a ser aplicado en la obtención de harina malteada de quinua negra, permitirá obtener un producto con calidad nutricional en la provincia Cercado del departamento de Tarija.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Origen de la harina de granos germinados

Las primeras evidencias de molienda de granos datan de 8000 años a. C. En estos primeros intentos el hombre trituraba los granos en algo similar a un mortero. Posteriormente se empezó a triturar el grano con piedras cilíndricas que se movían contra otra piedra más aplanada. Sobre el año 6000 a. C. comienzan a utilizarse tamices para separar las fracciones más groseras de la harina, más ricas en salvado y germen. Uno de los avances más importantes se produjo entre el 500 y el 300 a. C., al aparecer los primeros molinos de piedras, consistentes en una piedra circular fija, sobre la que rotaba otra piedra circular que trituraba el grano. Los avances en la molienda no fueron muy significativos hasta el siglo XVIII, cuando se aplicó la energía mecánica a la molienda con molinos de piedra (León & Rosell, 2007). El estudio del fraccionamiento del grano de quinua se podría abordar en principio con la adaptación de los procesos actualmente utilizados en la industria de primera transformación de los cereales (Ballester, 2020. Pág. 19).

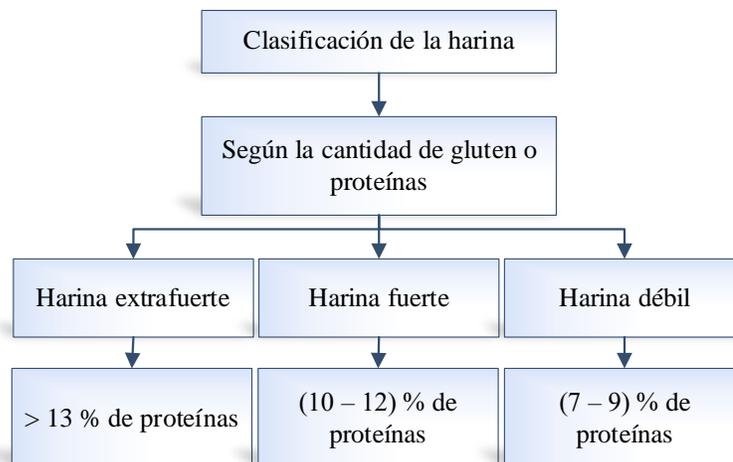
2.2 Definición de harina de quinua negra

Según (Sifre et al., 2019), define que harina es el polvo más o menos fino que se obtiene de la molienda de un cereal o leguminosa seca. La harina se obtiene de la molienda de los granos a través de molinos de rodillos. La molienda o molturación, es la operación mediante la cual los granos son triturados y reducidos a partículas de diversos tamaños, separables entre sí por medios mecánicos.

La harina de quinua, es elaborada a través de un proceso de secado inicial, hasta que el grano tenga una humedad menor o igual a 11%. La quinua es entonces molida hasta lograr un producto “panificable” (Risi et al., 2015). Se ha investigado la adición de hasta 40 % de harina de quinua en formulaciones de pan, 40 % en pastas, 60 % en bizcochos y 70 % en galletas (Mujica & Jacobsen, 2006). Sin embargo, estudios realizados más recientemente, sugieren un mejor comportamiento tecnológico y sensorial de productos elaborados con 20% de harina de quinua y 80% de harina de trigo (Reynaga et al., 2013).

2.3 Clasificación de la harina malteada

La clasificación más utilizada en Europa según (Sifre et al., 2019), “se basa en la cantidad de gluten o proteínas que tiene la harina, también en los tipos de denominaciones o preparaciones comerciales” (Pág. 6). En la Figura 2.1, se muestra la clasificación de la harina según la cantidad de contenido de proteínas.



Fuente: Sifre et al., 2019

Figura 2.1: Clasificación de la harina según el contenido de proteínas

2.3.1 Harina extrafuerte

Se caracteriza por tener un alto porcentaje de proteínas (sobre el 13%). Se obtiene a partir de trigo duro y se utiliza fundamentalmente para la elaboración de pastas alimenticias (Sifre et al., 2019. Pág. 6).

2.3.2 Harina fuerte

El porcentaje de proteína esta entre (10 – 12) %, y se utiliza para la elaboración de pan (Sifre et al., 2019. Pág. 6).

2.3.3 Harina débil

Tiene un porcentaje entre (7 – 9) %. Se usan para la elaboración de repostería y galletas, y no es apta para la elaboración del pan porque no mantiene estructura firme (Sifre et al., 2019. Pág. 6).

2.4 Aplicaciones de la harina malteada de quinua negra en el ser humano

La harina malteada de quinua negra según (Villacrés et al., 2011), puede sustituir parcialmente a la harina de trigo en productos de panificación, galletería y pastas, incrementado su valor nutritivo. El grano no contiene gluten, lo que facilita su utilización en la preparación de alimentos dietéticos apropiados para personas celiacas, con problemas de sobrepeso o enfermos convalecientes. Estos derivados encajan dentro de la tendencia mundial de consumo de productos naturales, constituyendo un interesante potencial de mercado. La transformación del grano permite un mejor aprovechamiento de sus cualidades nutritivas, mejora la disponibilidad de nutrientes, la facilidad de preparación y la presentación de los productos, potenciando su valor como alimento.

2.5 Características generales de la quinua negra

Este pequeño y milenario grano andino se agiganta como alimento del futuro. Pues ningún otro producto de su género tiene su riqueza proteica (16%). Dentro de este marco, la quinua de granos negros registra más propiedades alimentarias y medicinales que las blancas y amarillas, incluso porque contiene litio, sustancia recomendada para personas que sufren depresión (Agronoticias, 2019). La quinua negra posee la siguiente clasificación taxonómica:

2.5.1 Clasificación botánica de la quinua negra

Los botánicos que han estudiado la taxonomía de la quinua están de acuerdo en considerar que se trata de una sola especie, no obstante de la amplia variación observada ya sea en el color de la planta, color de grano, color de tallos, tipo de panoja o inflorescencia, hábito de crecimiento (Lascano, 1994). En la tabla 2.1, se puede observar la clasificación taxonómica de la quinua.

Tabla 2.1

Posición taxonómica de la quinua negra

Reino	Vegetal
División	Fanerógamas
Clase	Dicotiledóneas
Sub clase	Angiospermas
Orden	Centrospermales
Familia	Chenopodiaceae
Genero	Chenopodium
Sección	Chenopodia
Subsección	Cellulata
Especie	<i>Chenopodium quinoa Willdenow</i>

Fuente: Apaza et al., 2013

2.5.2 Características morfológicas de la quinua negra

Según (Bonifacio et al., 2012), afirma que “la planta de la quinua negra en fase de grano lechoso, presenta las siguientes características morfológicas” (Pág. 50) y se detallan en la tabla 2.2.

Tabla 2.2

Arquitectura y color de la planta en fase de grano lechoso

Habito de crecimiento	Ramificada
Tipo de panoja	Amarantiforme
Color de hoja	Verde
Color de tallo	Verde
Color de panoja	Verde

Fuente: Bonifacio et al., 2012

Según (Bonifacio et al., 2012), afirma que “la planta de la quinua negra en madurez fisiológica, presenta las siguientes características morfológicas” (Pág. 50) y se detallan en la tabla 2.3.

Tabla 2.3*Arquitectura y color de la planta en madures fisiológica*

Características	Unidad	Condiciones
Altura de planta	cm	101,00
Color de hoja	-	Pajizo
Color de tallo	-	Pajizo
Diámetro de tallo	cm	1,03
Longitud de panoja	cm	32,00
Diámetro de panoja	cm	4,72
Color de panoja	-	Negro
Densidad de panoja	-	Compacta

Fuente: Bonifacio et al., 2012

En la tabla 2.4, se detalla las dimensiones que presenta el grano de quinua negra y la forma de ella (Bonifacio et al., 2012. Pág. 50).

Tabla 2.4*Dimensiones y forma del grano de quinua negra*

Diámetro del grano	Espesor del grano	Forma del grano
2,02 mm	1,10 mm	Cilindro biconvexo

Fuente: Bonifacio et al., 2012

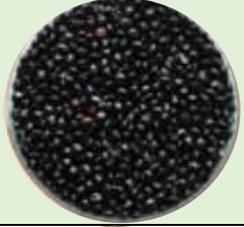
En la tabla 2.5, se detalla el porcentaje de tamaño del grano (calibrador) de la quinua negra (Bonifacio et al., 2012. Pág. 50).

Tabla 2.5*Porcentaje tamaño del grano de quinua negra*

Diámetro en (mm)	Tamaño de grano en (%)
> 2,5	0,19
2,4 a 2,0	30,78
1,9 a 1,5	68,83
< 1,5	0,19

Fuente: Bonifacio et al., 2012

En la figura 2.2, se muestra el color del grano entero de la quinua negra y del grano beneficiado (Bonifacio et al., 2012. Pág. 50).

Producto	Color	Imagen
Grano entero	Negro	
Grano perlado	Negro	
Sub producto de beneficiado	Gris	

Fuente: Bonifacio et al., 2012

Figura 2.2: Color del grano entero y grano beneficiado de la quinua negra

2.5.3 Propiedades nutricionales de la quinua negra

Las bondades peculiares del cultivo de la quinua están dadas por su alto valor nutricional. El contenido de proteína de la quinua varía entre (13,81 - 21,9) % dependiendo de la variedad. Debido al elevado contenido de aminoácidos esenciales de su proteína, la quinua es considerada como el único alimento del reino vegetal que provee todos los aminoácidos esenciales, que se encuentran extremadamente cerca de los estándares de nutrición humana establecidos por la FAO (PROINPA, 2011).

La excepcional riqueza en aminoácidos que tiene la quinua le confiere propiedades terapéuticas muy interesantes. Y ello porque la biodisponibilidad de la lisina de la quinua, el aminoácido esencial más abundante en sus semillas, es muy alta, mientras en el trigo, el arroz, la avena, el mijo o el sésamo es notablemente más bajo (Risi, 1991). Además, la quinua es rica fuente de vitaminas, minerales, carbohidratos, fibra y omega 3, 6 y 9; un alimento de gran versatilidad alimentaria e industrial y de fácil digestión, incluso ideal para personas que no toleran al gluten del trigo (Agronoticias, 2019).

La quinua de granos negros registra más propiedades alimentarias y medicinales que las blancas y amarillas, incluso porque contiene litio, sustancia recomendada para personas que sufren depresión. Igualmente, la quinua negra posee antocianina, elemento que retarda el envejecimiento y previene ciertos tipos de cáncer, así como varios aminoácidos esenciales, entre ellos: Triptófano, que ayuda a mantener niveles adecuados de serotonina en el cerebro; lisina, estimulante de las células cerebrales, y cisteína, que previene la formación de tumores malignos en los senos (Agronoticias, 2019). En la tabla 2.6, se muestra la composición de los nutrientes de la quinua negra.

Tabla 2.6

Composición de nutrientes de la quinua negra

Componentes	Unidades	Contenido
Humedad	%	10,00
Proteínas	%	17,85 N x 6,25
Fibra	%	1,89
Cenizas	%	2,20
Grasa	%	9,82
Energía	Kcal/100 g	385,46
Acidez	%	0,00
Saponina	%	0,015

Fuente: INIA, 2013

Las proteínas de los granos andinos difieren de la contenida en los cereales no sólo en cantidad, sino también en calidad representada por la presencia balanceada de aminoácidos esenciales. El contenido de los principales aminoácidos limitantes es claramente mayor en la quinua frente al del trigo (Bonifacio et al., 2006). En la tabla 2.7, se puede observar el contenido de aminoácidos en granos andinos y el trigo en mg de aminoácidos/g de proteínas.

Tabla 2.7

Contenido de aminoácidos en granos andinos y el trigo

Aminoácidos	Unidades	Quinua	Qañiwa	Amaranto	Trigo
Lisina	mg	68	59	67	29
Metionina	aminoácidos / g de proteínas	21	16	23	15
Treonina		45	47	51	29
Triptófano		13	8	11	11

Fuente: Tapia, 2000

2.5.4 Factores anti nutricionales de la quinua negra

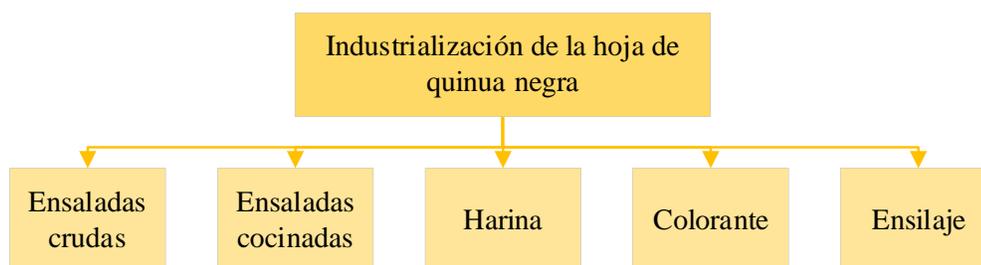
La quinua presenta factores anti nutricionales que pueden afectar la biodisponibilidad de ciertos nutrientes esenciales, como proteínas y minerales. Estos anti nutrientes son: Saponinas, fitatos, taninos e inhibidores de proteasa; de los cuales la saponina es el principal anti nutriente de la quinua (Ruales & Nair, 1994). La saponina, que es un subproducto del beneficiado, tiene usos en la producción de controladores de plagas y detergentes, e incluso se han hecho pruebas en el rubro de la construcción, para homogeneizar las mezclas de concreto, con resultados muy alentadores. La saponina es probablemente el único subproducto relativamente bien aprovechado, y se han realizado exportaciones más o menos regulares de saponina, principalmente a Chile, donde se integra en productos de limpieza e insecticidas (Aroni et al., 2009).

2.5.5 Usos reales y potenciales de la quinua negra

Según (Restrepo et al., 2005), para establecer las posibilidades de desarrollo de la cadena es necesario identificar cada uno de los productos y subproductos que se pueden obtener de las hojas, el tallo y el grano de la planta de quinua, y sus usos reales y potenciales.

2.5.5.1 Hoja de la quina negra

En la figura 2.3, se puede observar la industrialización de la hoja de quinua negra.



Fuente: Restrepo et al., 2005

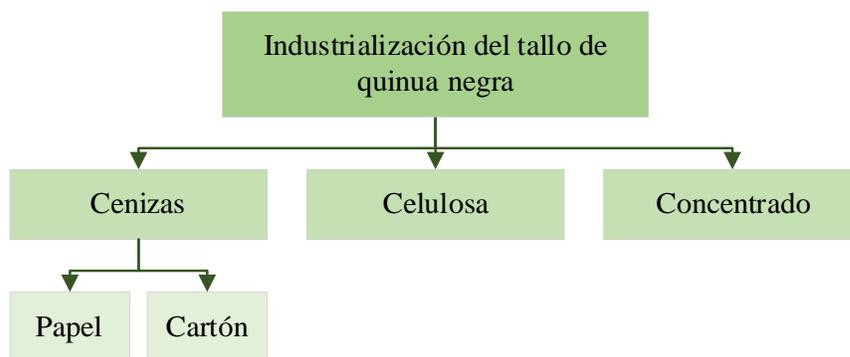
Figura 2.3: Industrialización de la hoja de quinua negra

De las hojas se puede obtener harina, colorante, ensilaje, ensaladas crudas y ensaladas cocidas. Los colores de la planta y de las semillas, dados por la pigmentación de

betacinina, se pueden utilizar en la elaboración de colorantes vegetales, por la facilidad de solubilizarse en agua e industrializarse (Restrepo et al., 2005).

2.5.5.2 Tallo de la quinua negra

En la figura 2.4, se puede observar la industrialización del tallo de quinua negra.



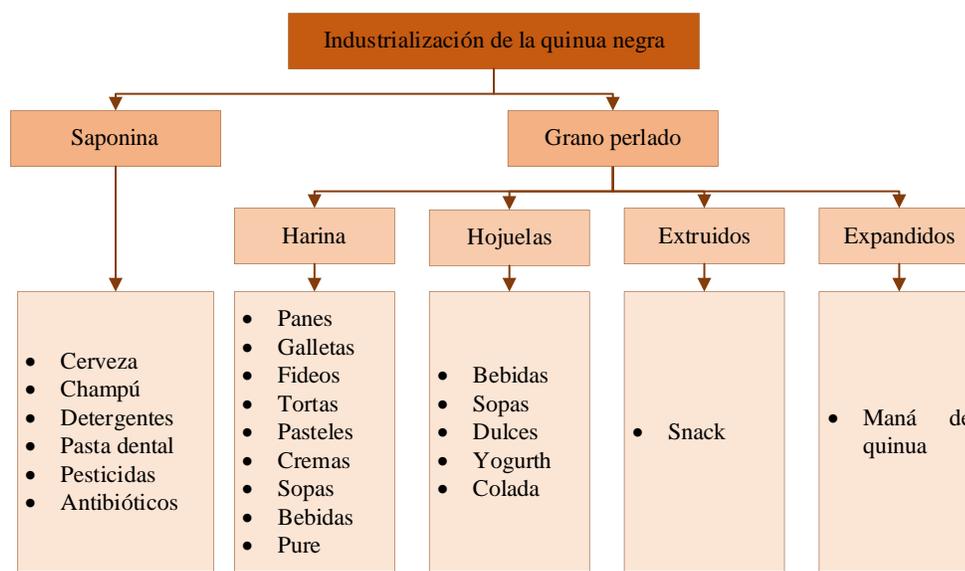
Fuente: Restrepo et al., 2005

Figura 2.4: Industrialización del tallo de quinua negra

Del tallo de la planta de quinua se obtiene ceniza, concentrado para animales y celulosa (Restrepo et al., 2005). El tallo de quinua tiene un gran contenido de proteínas, vitaminas, minerales, agua, entre otros, que permiten que después de un proceso de enriquecimiento proteico pueda incorporarse a la alimentación animal (bovinos, porcinos, aves), obteniéndose así un concentrado de alto valor nutritivo (Pulgar, 1952,). Una fuente de fibra natural para la producción de celulosa es el tallo de la planta de quinua; ésta se usa como materia prima para la fabricación de papel y cartón (Restrepo et al., 2005).

2.5.5.3 Grano de la quinua negra

En la figura 2.5, se puede observar la industrialización de la quinua negra.



Fuente: Restrepo et al., 2005

Figura 2.4: Industrialización de la quinua negra

Del grano de quinua se obtiene la saponina y el grano perlado. Las saponinas de la quinua poseen excepcionales propiedades detergentes, forman espuma estable en soluciones acuosas y presentan actividad hemolítica y sabor amargo (Restrepo et al., 2005, Pág. 3).

A partir de la molienda de las semillas de quinua, desecadas, sanas y limpias, privadas mecánicamente o por acción de álcalis de sus tegumentos, se obtiene harina con la cual es posible hacer una mezcla de vegetales para la fabricación de panes, galletas, albóndigas, salsas, fideos, postres, dulces, tortas, pasteles, cremas, sopas, bebidas y puré (Restrepo et al., 2005).

La quinua también es una fuente importante de carbohidratos. El contenido de almidón es de 54 % en base seca, el gránulo tiene forma poligonal con un tamaño entre 0,6 y 2,0 μm y se encuentra localizado en el perisperma como entidades individuales o agregados compuestos con forma esférica u ovalada y tamaño entre 16 y 34 μm (Ruales & Nair 1994).

Los granos de quinua perlada pueden ser sometidos a un proceso de laminado a presión en el cual se les da una forma aplanada. Este producto se conoce en el mercado como hojuela y se caracteriza porque no contiene gluten, también es utilizada para la obtención de alimentos extruidos, elaborados mediante una técnica industrial de alta temperatura en corto tiempo, que combina humedad, presión y temperatura (Restrepo et al., 2005).

2.6 Factores principales que intervienen en la germinación del grano de quinua negra (Romero, 1989) afirma que: “La germinación de las semillas no durmientes implica, en primer lugar, la hidratación de sus tejidos, paso previo para que la germinación pueda continuar siempre que las condiciones de temperatura, aporte de oxígeno e iluminación sean las adecuadas” (Pág. 8).

2.6.1 Humedad

Para que exista germinación se necesita de la exposición a humedad controlada de las semillas, el remojo es una de las partes principales en la elaboración de un alimento a base de cereales germinados, ya que ayuda a hidratar las sustancias contenidas en su interior (Chaparro et al., 2011). Durante la fase de absorción de agua se inicia la actividad vital de la semilla, es decir, se reanuda el metabolismo, para lo cual se necesitan condiciones adecuadas de humedad, temperatura y oxígeno (Carballo, 2000).

2.6.2 Temperatura

En general la temperatura de germinación se encuentra entre (15 y 40) °C, pero el valor óptimo es de 30 °C (Carballo, 2000). (Bravo et al., 2013) dice que la temperatura de germinación de la quinua es de 30° C, por otro lado (Torres et al., 2018) expone las temperaturas de germinación entre (20 – 26) °C, obteniendo un crecimiento más rápido de la plúmula a 26° C.

2.6.3 Oxígeno

El oxígeno llega al embrión disuelto en el agua de imbibición, siendo imprescindible para que la germinación pueda tener lugar. Sólo, excepcionalmente, las semillas de algunas especies, sobre todo de plantas acuáticas, pueden llegar a germinar en ausencia o con bajas concentraciones de oxígeno. La entrada de oxígeno a la semilla puede estar interferida por la presencia en las cubiertas seminales de compuestos químicos (fenoles) o estructuras especializadas (capa de mucílago). Asimismo, las altas temperaturas, que disminuyen la solubilidad del oxígeno en el agua, pueden dificultar la entrada del oxígeno y por tanto la germinación (Romero, 1989).

2.7 Etapas de malteado de quinua negra

Según (Villacrés et al., 2011), “el proceso de malteado, a partir del grano exento de saponina, comprende las operaciones siguientes” (Pág. 12).

2.7.1 Remojo del grano de quinua negra

(Espinoza & Quispe, 2013) afirman que esta etapa tiene por finalidad proveer al grano la cantidad de agua necesaria para la germinación, saliendo el grano con una humedad entre (45 – 55) %. Según (Jeanted, 2010), el embrión es sometido a una humedad y temperatura que permita su activación y provoca la germinación. El remojo marca el comienzo de la síntesis y de reacciones enzimáticas que proseguirán durante la germinación. Según (Villacrés et al., 2011), el remojo se realiza en agua, a una temperatura promedio de 16 °C, por aproximadamente una hora, hasta que el grano alcance una humedad promedio de 45 %. Según (Bravo et al., 2013), la determinación de la cantidad de agua a emplearse esta determinada de acuerdo a la siguiente formula:

$$A = \left[\frac{100-H_i}{100-H_f} - 1 \right] \times \text{cantidad de muestra en gramos} \quad (\text{Ecuación 2.1})$$

Dónde:

H_i = Humedad inicial de la muestra (%)

H_f = Humedad final de la muestra (%)

A = Cantidad de agua (g)

Durante el remojo, algunos compuestos se disuelven en el agua. Una de las membranas que rodea al endospermo, la testa, funciona como una pared semipermeable e impide la entrada en el endospermo de sales minerales procedentes del agua. La acción disolvente se limita pues a las capas externas (Jeanted, 2010).

2.7.2 Germinación del grano de quinua negra

Después del remojo se escurre el exceso de agua y el grano se dispone en recipientes adecuados, giratorios o fijos, durante un período de 7 horas a 25 °C. En este tiempo el grano germina, visualizándose el crecimiento del embrión, hasta alcanzar una longitud

promedio de 7 mm (Villacrés et al., 2011). La germinación tiene como objetivo producir tantos sustratos extractables como pueda, provocando la desagregación del endospermo mediante la síntesis y distribución de las enzimas en el grano. (Jeanted, 2010). Cuando las semillas germinan, los carbohidratos, proteínas y aceites se vuelven aminoácidos pre digeridos y azúcares naturales, de los que el embrión de la planta se alimenta a medida que crece (Carballo, 2000). Según (Bravo et al., 2013) indica que el tiempo de germinación es determinada por:

- Transformaciones bioquímicas, por acción enzimática de amilasas del propio grano, convirtiendo el almidón en azúcares sencillos y por lo tanto, observando su reducción.
- Crecimiento de la radícula hasta uno o dos centímetros.

2.7.2.1 Bioquímica de la germinación

La germinación es, desde el punto de vista biotecnológico, un proceso de catabolismo, pues empieza la transformación de macronutrientes, como son los carbohidratos, proteínas y grasas que luego del remojo y germinación se degradan en sustancias simples como aminoácidos, azúcares simples y energía (Chaparro et al., 2011). En el proceso de la germinación de los cereales existen proteasas, que son enzimas que degradan o rompen los enlaces peptídicos de las proteínas, las cuales son producidas en el crecimiento de la plúmula, por las giberelinas, al menos cinco son endopeptidasas es decir enzimas que pueden degradar a cualquier enlace, su actividad se acelera de acuerdo al tiempo de germinación (Hough, 1990).

2.7.3 Secado del grano de quinua negra

El secado es la aplicación de calor en condiciones controladas para eliminar el agua de los alimentos (Sharma et al., 2003). Cuando un alimento se pone en contacto con aire de una temperatura y humedad dadas, este último proporciona el calor latente necesario para que el agua del producto pase a vapor. El vapor de agua abandona el alimento por difusión, a través de la película de aire en reposo que rodea la superficie del producto, hasta alcanzar la corriente de aire en movimiento que se encarga de arrastrarlo

(Rodríguez et al., 1999). El secado tiene como objetivo principal parar el crecimiento de la malta verde por deshidratación del grano para permitir su almacenamiento y su molienda. Esta etapa provoca la “muerte” del grano (Jeanted, 2010). Según (Fito et al., 2016), la clasificación de los equipos de secado se puede hacer en base a:

- ❖ Las características y propiedades físicas del producto húmedo.
- ❖ El procedimiento para transmitir el calor al sólido húmedo.

De acuerdo con este segundo criterio se distinguen los secadores directos, que utilizan gases calientes en contacto con el sólido húmedo para suministrar el calor y arrastrar el líquido vaporizado, los secadores indirectos en los que el calor se transmite al sólido húmedo a través de la pared que lo contiene, eliminándose el líquido vaporizado independientemente del medio calefactor (Fito et al., 2016)

2.7.3.1 Tipos de secadores directos o por convección

Se caracterizan por utilizar gases calientes que entran en contacto directo con el sólido húmedo al que transmiten calor por convección fundamentalmente y que arrastran fuera del secador los vapores producidos (Fito et al., 2016). Con este método, los gases calientes se ponen en contacto con el material húmedo a secar para facilitar la transferencia de calor y de masa, siendo la convección el mecanismo principalmente implicado (Casp & Abril, 2003).

2.7.3.1.1 Secadores de horno o estufa

Es el más simple y consta de un pequeño recinto en forma paralelepípedica de dos pisos. El aire de secado se calienta en un quemador del piso inferior y atraviesa por convección natural o forzada el segundo piso perforado en el que se asienta el lecho de producto a secar. Hoy día su utilización en la industria de alimentos es muy reducida, utilizándose para el secado de manzanas, lúpulo y forrajes verdes (Fito et al., 2016).

2.7.3.2 Secadores por conducción o indirectos

Se caracterizan porque en ellos la transmisión de calor hasta el material húmedo tiene lugar por conducción a través de una pared, generalmente metálica (Fito et al., 2016).

Los secaderos indirectos permiten la recuperación del disolvente, y son apropiados para la desecación a presiones reducidas y en atmósferas inertes, por lo que se usan para deshidratar productos termolábiles o fácilmente oxidables (Casp & Abril, 2003).

2.7.3.2.1 Secadores de bandeja a vacío

Son secaderos indirectos por cargas, formados por una cámara herméticamente cerrada, provista de placas calefactoras y bandejas que soportan el material a secar. La cámara está conectada a una bomba de vacío a través de un condensador. El elemento calefactor suele ser un fluido tal como agua caliente (para bajas temperaturas), vapor de agua o frecuentemente aceites térmicos (Casp & Abril, 2003).

2.7.4 Molienda de la quinua negra

La molienda es una operación unitaria ampliamente utilizada en la industria minera, farmacéutica, agricultura, papel y de alimentos, la cual permite reducir el tamaño de piezas grandes a partículas pequeñas con un tamaño definido, mediante la aplicación de golpes, presiones de cizallamiento o corte (Patiño et al., 2021). En el caso de los cereales, la sustancia pulverulenta que se obtiene de su molienda se le denomina harina (García et al., 2007).

2.7.4.1 Tipos de molinos

Los tipos de molinos los podemos dividir de la siguiente manera:

2.7.4.1.1 Molinos de martillos

Este tipo de molino está constituido por un disco giratorio, situado en el interior de una carcasa, que soporta varios martillos móviles adosados a su periferia. El disco gira a elevada velocidad golpeando los martillos a la alimentación, que se introduce a través de una tolva superior, y que es impulsada contra las paredes de la carcasa. La rotura de las partículas se produce tanto por choque de estas con las paredes, o por rozamiento entre ellas mismas. Generalmente disponen en su parte inferior de una rejilla perforada que solo permite la salida de aquellas partículas cuyo tamaño es inferior al de las perforaciones de la rejilla (Rodríguez et al., 1999).

2.7.4.1.2 Molinos de bolas

Consiste en un cilindro giratorio horizontal en cuyo interior se sitúan bolas de acero inoxidable o cerámicas. La alimentación del material a moler se realiza por uno de sus extremos mezclándose con las bolas y produciéndose la rotura de las partículas por combinación de rozamiento e impacto, ya que debido a la velocidad de giro del cilindro, una parte del conjunto de material a moler y bolas se elevan arrastradas por las paredes del cilindro y caen sobre el material existente en el fondo. El material molido se extrae por el extremo opuesto del cilindro en el que existe una rejilla para evitar que las bolas salgan al exterior (Rodríguez et al., 1999).

2.8 Clasificación granulométrica de la harina malteada de quinua negra

La clasificación granulométrica en las harinas son primordiales para la industria de las pastas alimenticias, ya que facilita la estandarización y proceso de productos, identificar los requisitos de la materia prima y los parámetros legales respecto al tamaño de las partículas (Bezerra & Damasceno, 2018). El mayor componente orgánico de las harinas vegetales son los almidones y los índices de solubilidad, absorción de agua y poder de hinchamiento se pueden utilizar como un indicativo del grado de modificación de los almidones por tratamientos termo mecánicos. Mayores índices de solubilidad, absorción de agua y poder de hinchamiento en las harinas vegetales, indican una mayor facilidad para formar geles en presencia de calor y exceso de agua (García & Vásquez, 2016)

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA
EXPERIMENTAL

3.1 Desarrollo de la parte experimental

El presente trabajo de investigación, se desarrolló en los ambientes del Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA) de la carrera de Ingeniería de Alimentos, perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnologías dependiente de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

3.2 Tipos de intervención para la parte experimental

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

- Análisis físicos, fisicoquímicos y microbiológicos con el propósito de conocer las características del grano de quinua negra.
- Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de los granos de quinua negra y malteados con la finalidad de conocer los cambios en la calidad nutricional.
- Análisis físicos, fisicoquímicos y microbiológicos de la harina malteada de quinua negra.
- Análisis del diseño factorial 2^2 en el proceso de germinación del grano de quinua negra por método de estufa.
- Análisis del diseño factorial 2^2 en el proceso de germinación del grano de quinua negra por método al vacío.
- Operacionalización de las variables para la obtención de harina malteada de quinua negra.

3.3 Paradigma investigativo

Según (Hurtado & Toro, 1997), definen que un paradigma de investigación es una concepción del objeto de estudio de una ciencia, de los problemas para estudiar de la naturaleza de sus métodos y de la forma de explicar, interpretar o comprender los resultados de la investigación realizada. Para (Ricoy, 2006), 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.

El tipo de paradigma que se desarrolla en el presente trabajo, es de carácter empírico analítico. Así mismo, se relacionaron las variables dependientes con las independientes con la finalidad de formular hipótesis del tipo empírico analítico.

3.4 Enfoque de la investigación

La investigación cuantitativa según (Cauas, 2015), es aquella que utiliza preferentemente información cuantitativa o cuantificable (medible). Por otro lado (Hernández et al., 2010), indica que la investigación cuantitativa confía en la experimentación y los análisis de causa efecto. Los análisis cuantitativos, se interpretan desde la predicción de las hipótesis y las teorías estudiadas, dando como resultado explicaciones acordes con el conocimiento existente.

El presente trabajo de investigación, se llevó a cabo predominantemente por un enfoque cuantitativo.

3.5 Métodos – Técnicas e Instrumentos

El método científico (Sierra, 1983), es el proceso de aplicación del método y técnicas científicas a situaciones y problemas teóricos y prácticos concretos en el área de la realidad social para buscar respuestas a ellos y obtener nuevos conocimientos, que se ajusten lo más posible a la realidad. Por otro lado (Ñaupas et al., 2014), indica que “las técnicas e instrumentos de investigación se refieren a los procedimientos y herramientas mediante los cuales vamos a recoger los datos e informaciones necesarias para probar o contrastar nuestras hipótesis de investigación” (Pág. 73).

Los métodos y técnicas que se utilizaron en el trabajo de investigación, fueron los siguientes:

3.5.1 Análisis físicos en la quinua negra

Los análisis físicos del grano de quinua negra, se realizaron en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA). En la figura 3.1, se observa los métodos que se utilizaron para realizar el control físico de la quinua negra.

Análisis físicos				
Parámetros	Peso	Granulometría	Humedad	Pérdida de peso
Unidades	g	%	%	g
Método	Gravimétrico	Gravimétrico	Medición directa	Gravimétrico
Equipo	Balanza	Vibradora tamiz	Termobalanza	Balanza

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.1: Métodos y equipos para el análisis físico de la quinua negra

3.5.2 Análisis fisicoquímicos, minerales y microbiológicos de la quinua negra

Los análisis se realizaron en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID). La figura 3.2, muestra los análisis fisicoquímicos, minerales y microbiológicos realizados con la finalidad de conocer la composición nutricional y microbiológica de los granos de quinua negra.

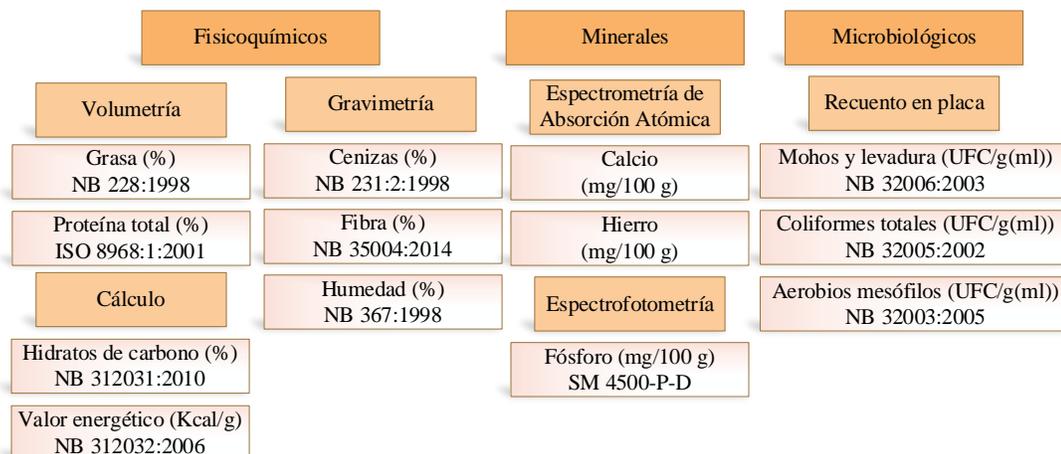
Fisicoquímicos		Minerales	Microbiológicos
Volumetría	Gravimetría	Espectrometría de Absorción Atómica	Recuento en placa
Grasa (%) NB 228:1998	Cenizas (%) NB 231:2:1998	Calcio (mg/100 g)	Mohos y levadura (UFC/g(ml)) NB 32006:2003
Proteína total (%) ISO 8968:1:2001	Fibra (%) NB 35004:2014	Hierro (mg/100 g)	Coliformes totales (UFC/g(ml)) NB 32005:2002
Cálculo	Humedad (%) NB 367:1998	Espectrofotometría	Aerobios mesófilos (UFC/g(ml)) NB 32003:2005
Hidratos de carbono (%) NB 312031:2010		Fósforo (mg/100 g) SM 4500-P-D	
Valor energético (Kcal/g) NB 312032:2006			

Fuente: CEANID, 2022

Figura 3.2: Análisis fisicoquímicos, minerales y microbiológicos de los granos de quinua negra

3.5.3 Análisis fisicoquímicos, minerales y microbiológicos en el proceso de germinación de la quinua negra

Los análisis se realizaron en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID). En la figura 3.3, se muestra los análisis fisicoquímicos, minerales y microbiológicos del grano de quinua negra en el proceso de germinación, con la finalidad de observar y analizar los cambios en la composición nutricional.

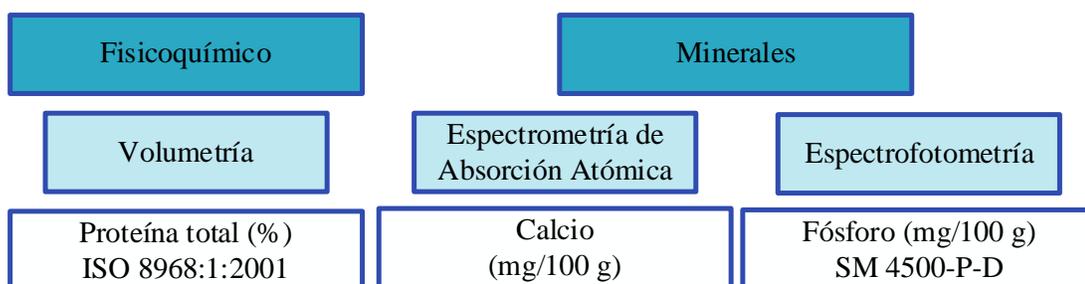


Fuente: CEANID, 2022

Figura 3.3: Análisis fisicoquímicos, minerales y microbiológicos en los granos de quinua negra germinada

3.5.4 Análisis fisicoquímico y minerales de la harina malteada de quinua negra

Los análisis se realizaron en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID). En la figura 3.4, se muestran los análisis fisicoquímicos y minerales que se realizaron en la harina malteada de quinua negra, con la finalidad de clasificar el tipo de harina según el porcentaje de proteína (%) presente.



Fuente: CEANID, 2022

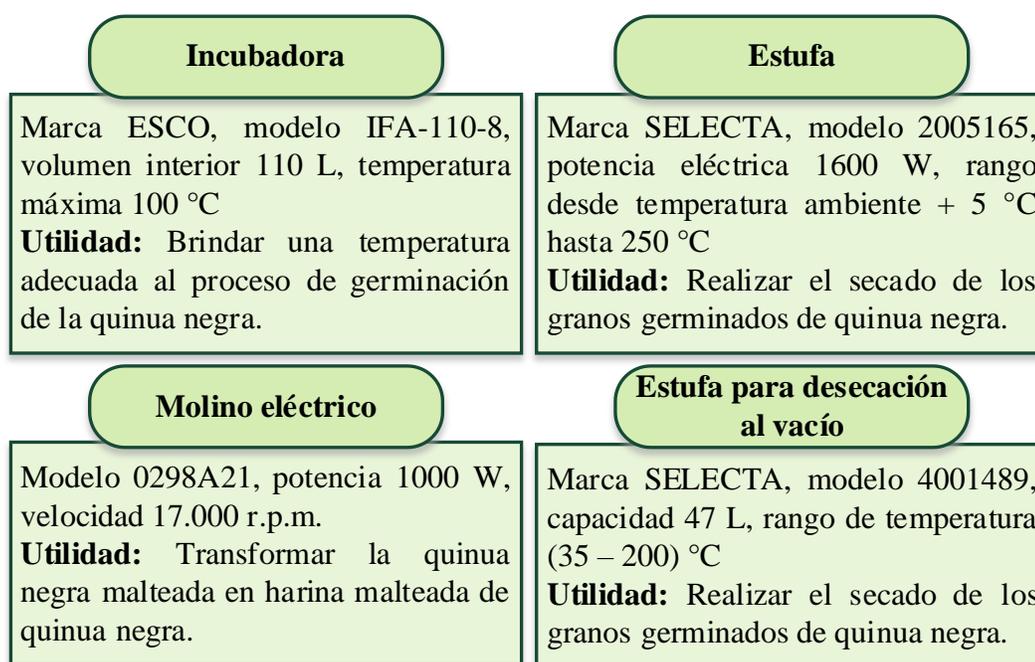
Figura 3.4: Análisis fisicoquímicos y minerales en la harina malteada de quinua negra

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

Los equipos, instrumentos, materiales de laboratorio y utensilios que se utilizaron para el presente trabajo, se detallan a continuación:

3.6.1 Equipos

Los equipos utilizados en el presente trabajo de investigación, están ubicadas en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería Alimentos (LACIA). En la figura 3.5, se detallan las especificaciones técnicas.

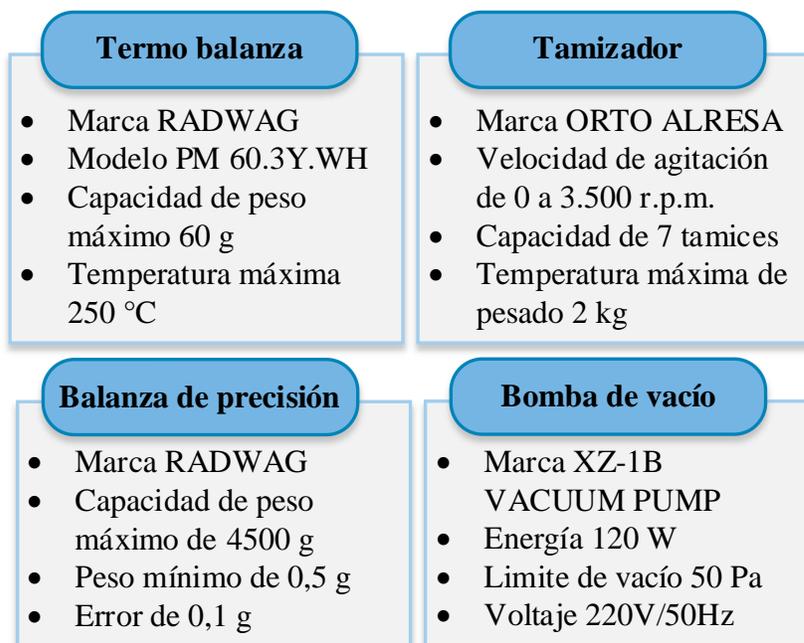


Fuente: Elaboración propia

Figura 3.5: Equipos para la elaboración de harina malteada de quinua negra

3.6.2 Instrumentos de laboratorio

Los instrumentos de laboratorio utilizados en el presente trabajo de investigación se encuentran en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería Alimentos (LACIA) y Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) de la carrera de Ingeniería Química. La figura 3.6, detalla las especificaciones técnicas.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.6: Instrumentos de laboratorio para la obtención de harina malteada de quinua negra

3.6.3 Materiales de laboratorio

Los materiales de laboratorio utilizados en el presente trabajo, se detallan a continuación:

- ⇒ **Probeta:** Material vidrio, volumen 50 ml \pm 0,5ml.
- ⇒ **Probeta:** Material vidrio, volumen 100 ml \pm 1ml.
- ⇒ **Matraz Erlenmeyer:** Material de vidrio, volumen 100 ml.
- ⇒ **Espátula:** Material acero inoxidable, tamaño mediano.
- ⇒ **Tamices:** Material cobre, N° 10, 12 y 14.
- ⇒ **Tamices:** Material acero inoxidable, luz 0,5 mm y 0,25 mm.

3.6.4 Utensilios de cocina

Los utensilios utilizados en el presente trabajo, se detallan a continuación.

- ⇒ **Cuchara:** Material acero inoxidable, tamaño mediano.
- ⇒ **Fuente:** Material plástico, tamaño mediano.
- ⇒ **Fuente:** Material acero inoxidable, tamaño pequeño.

- ⇒ **Jarras:** Material plástico, volumen 1 L.
- ⇒ **Espátula:** Material plástico, tamaño pequeño.
- ⇒ **Colador:** Material plástico, tamaño mediano.

3.6.5 Software de aplicación

Los software que se utilizaron en el presente trabajo, son los siguientes:

- Microsoft Office (versión 15):
 - ❖ Word.
 - ❖ Excel.
 - ❖ Visio.
- Software estadístico:
 - ❖ Statgraphics Centurion XVI.
 - ❖ Minitab 2019.

3.7 Insumo alimentario

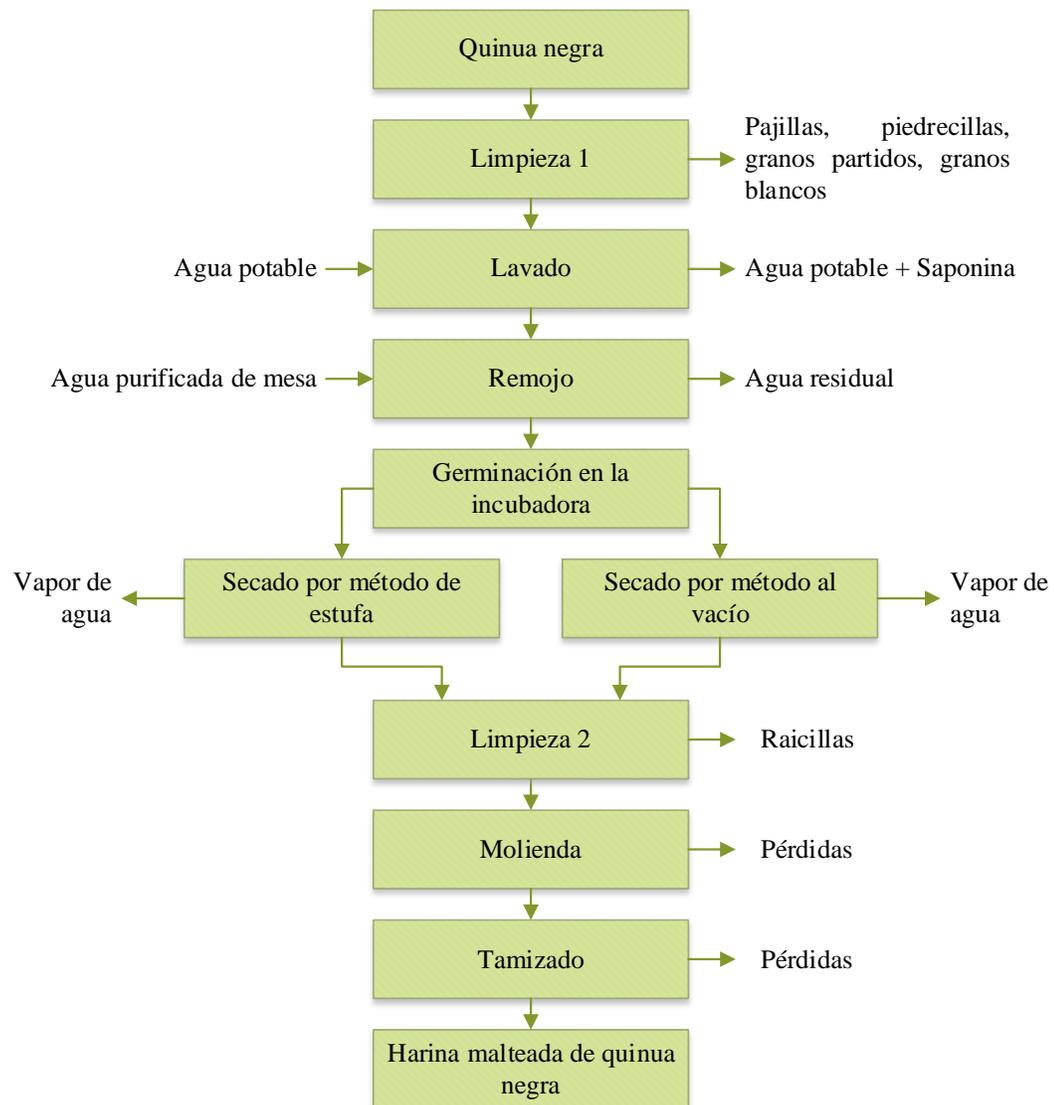
El insumo alimentario utilizado para el presente trabajo, se detalla a continuación:

3.7.1 Agua purificada de mesa

El agua purificada de mesa es proveniente de la empresa Agua Mía de la ciudad de Tarija provincia Cercado, cuya calidad del insumo alimentario es líquido.

3.8 Diagrama de flujo para la obtención de harina malteada de quinua negra con secado por el método de la estufa y al vacío

En la figura 3.7, se muestra el diagrama de flujo para la obtención de harina malteada de quinua negra con secado por el método de la estufa y vacío.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.7: Diagrama para la obtención de harina malteada de quinua negra

3.9 Desarrollo del diagrama de flujo para la obtención de harina malteada de quinua negra

La descripción de los pasos a seguir para la obtención de harina malteada de quinua negra se detallan a continuación.

3.9.1 Quinua negra



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.8: Quinua negra

La quinua negra que se utiliza en el presente trabajo de investigación, se adquiere de la comunidad de Cerro Grande de la provincia Ladislao Cabrera del departamento de Oruro - Bolivia. Los granos no deben estar almacenados por mucho tiempo ya que esto limita el brote del grano. En la figura 3.8, se muestra los granos de quinua que fue adquirida.

3.9.2 Limpieza 1

En el proceso de Limpieza 1, se retira de forma manual todas aquellas impurezas que pueden afectar la calidad de la quinua negra, tales como pajillas, piedrecillas, granos partidos y granos blancos. En la figura 3.9, se muestra los granos de quinua negra limpios.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.9: Limpieza 1

3.9.3 Lavado



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.10: Lavado

El objetivo de lavar los granos de quinua negra es el de eliminar la saponina que tenga presente y eliminar toda partícula adherida en la superficie del grano de quinua negra. El proceso de lavado, se realiza con abundante agua potable, aproximadamente 6 veces hasta que el agua no produzca espuma, no sea amarga y tenga un color claro, asegurando haber eliminado el contenido de la saponina. En la figura 3.10, se muestra el proceso de lavado de los granos de quinua negra.

3.9.4 Remojo



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.11: Remojo

El Remojo del grano de quinua negra, se realiza con agua purificada de mesa, la humedad final requerida para que se active el proceso de crecimiento y desarrollo se encuentra entre (40 y 45) %. En la figura 3.11, se muestra el proceso de remojo de la quinua negra. La determinación de la cantidad de agua a emplearse esta determinada de acuerdo a la ecuación 2.1.

3.9.5 Germinación en la incubadora

Para el proceso de germinación en la incubadora, se coloca los granos de quinua negra en un recipiente de forma uniforme con una altura no muy alta (1,00 cm), para no afectar la respiración del grano, se cubre con una tela húmeda para permitir mantener una humedad superficial y una germinación más uniforme. En la figura 3.12, se observa el proceso de germinación del grano de quinua negra.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.12: Germinación

3.9.6 Secado de los granos germinados de quinua negra

Este proceso, permite inhibir el proceso de germinación. El secado del grano de quinua negra germinado, se realiza por el método de la estufa y al vacío.

3.9.6.1 Secado de los granos germinados de quinua negra por el método de la estufa

Los granos germinados se colocan en canastillos de acero inoxidable, se controla la temperatura de 50 °C por un tiempo de 2 horas. En la figura 3.13, se muestra el proceso de secado de los granos germinados de quinua negra por el método de la estufa.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.13: Secado método de la estufa

3.9.6.2 Secado de los granos germinados de quinua negra por el método al vacío



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.14: Secado método al vacío

Los granos germinados se colocan en canastillos de acero inoxidable, se controla la temperatura de 50 °C por un tiempo de 2 horas con una presión interna de 30 mbar. En la figura 3.14, se muestra el proceso de secado de los granos germinados de quinua negra por el método al vacío.

3.9.7 Limpieza 2

Después del proceso de secado, se espera 10 minutos hasta que la quinua negra malteada enfría hasta temperatura ambiente y posteriormente las raicillas son removidas manualmente mediante frotación de unos granos con otros. En la figura 3.15, se muestra el proceso de limpieza de las raicillas de la quinua negra malteada.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.15: Limpieza 2

3.9.8 Molienda

El proceso de molienda, se realiza en un molino eléctrico con el fin de reducir el tamaño del grano de quinua negra malteada y homogenizar hasta alcanzar la granulometría entre (150 – 600) μm . En la figura 3.16, se muestra el proceso de molienda del grano de quinua negra malteada.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.16: Molienda

3.9.9 Tamizado



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.17: Tamizado

El proceso de tamizado se realiza en un tamizador, se clasifica la harina malteada de quinua negra en tres tipos, para este proceso se utiliza dos tamices con una apertura de 0,5 mm y 0,25 mm, en la cual se obtiene harina gruesa (diámetro $>$ a 0,5 m/m), harina semi gruesa (diámetro $>$ a 0,5 m/m y $<$ a 0,25 m/m) y harina fina (diámetro $<$ a 0,25 m/m). En la figura 3.17, se muestra el proceso de tamizado de la harina malteada de quinua negra.

3.9.10 Harina malteada de quinua negra

La harina malteada de quinua negra, es envasada en bolsas de polipropileno de alta densidad con cierre hermético, con el fin de proteger contra la humedad del ambiente y contaminación ambiental (polvo e insectos). El almacenamiento se realiza en un lugar oscuro en condiciones ambientales normales entre (15 – 30) $^{\circ}\text{C}$. En la figura 3.18, se muestra la harina malteada de quinua negra envasada.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3.18: Envasado

3.10 Diseño experimental

(Ñaupas et al., 2014) indica que “el diseño experimental es un plan que sirve para orientar al investigador en la realización del experimento” (Pág. 97). Por otro lado, (Gutiérrez & De la Vara, 2012) indican que “el diseño de experimentos es la aplicación del método científico para generar conocimiento acerca de un sistema o proceso, por medio de pruebas planeadas adecuadamente” (Pág. 116). La experimentación juega un papel fundamental en todos los campos de la investigación y el desarrollo. El objetivo de la experimentación es obtener información de calidad y confiable (Riaño, 2005. Pág. 83).

3.10.1 Diseño factorial 2^k

Según (Gutiérrez & De la Vara, 2008), “los diseños factoriales 2^k completos son útiles principalmente cuando el número de factores a estudiar está entre dos y cinco ($2 \leq k \leq 5$), rango en el cual su tamaño se encuentra entre cuatro y 32 tratamientos; esta cantidad es manejable en muchas situaciones experimentales” (Pág. 168). El objetivo de un diseño factorial es estudiar el efecto de varios factores sobre una o varias respuestas, cuando se tiene el mismo interés sobre todos los factores (Gutiérrez & De la Vara, 2012. Pág. 116).

En la ecuación 3.1, se muestra el diseño factorial 2^k a ser aplicado en la parte experimental del presente trabajo de investigación.

$$2^k \quad \text{(Ecuación 3.1)}$$

Dónde: 2 = número de niveles

 k = número de variables

3.10.1.1 Diseño factorial 2^2 en el proceso de germinación de la quinua negra

La ecuación 3.2, muestra el diseño experimental que se toma en cuenta para el trabajo de investigación en el proceso de germinación del grano de quinua negra.

$$2^2 = 2 \times 2 = 4 \text{ tratamientos / prueba} \quad \text{(Ecuación 3.2)}$$

3.10.1.1.1 Diseño factorial 2² en el proceso de germinación del grano de quinua negra con secado por el método de estufa

En la tabla 3.1, se detallan los niveles de variación de los factores en el proceso de germinación del grano de quinua negra con secado por el método de estufa en donde las variables propuestas para el trabajo de investigación fueron: Tiempo y temperatura, cada uno con dos niveles.

Tabla 3. 1

Variación de los factores en la etapa de germinación de la quinua negra con secado por el método de estufa

VARIABLES	UNIDAD	NIVEL BAJO	NIVEL ALTO
Temperatura (T)	°C	25	35
Tiempo (θ)	h	8	16

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.2, se muestra la matriz del diseño factorial que fue aplicado en el proceso de germinación del grano de quinua negra con secado por el método de estufa para la obtención de harina malteada, constituido por dos variables: Temperatura (T) y tiempo (θ).

Tabla 3.2

Matriz experimental de variables en la etapa de germinado de la quinua negra con secado por el método de estufa

Corridas	Tratamiento	Factores		Interacción	Respuestas
		T	θ	T*θ	Y _i
1	(+1)	-	-	+	Y ₁
2	T	+	-	-	Y ₂
3	θ	-	+	-	Y ₃
4	T*θ	+	+	+	Y ₄

Fuente: Elaboración propia

Donde:

Y_i = Contenido de proteína (%) y contenido de calcio (mg/100 g) en el proceso de germinación del grano de quinua negra.

3.10.1.1.2 Diseño factorial 2² en el proceso de germinación del grano de quinua negra con secado por el método al vacío

En la tabla 3.3, se detallan los niveles de variación de los factores en el proceso de germinación del grano de quinua negra con secado por el método al vacío en donde las

variables propuestas para el trabajo de investigación fueron: Tiempo y temperatura, cada uno con dos niveles.

Tabla 3.3

Variación de los factores en la etapa de germinación de la quinua negra con secado por el método al vacío

VARIABLES	UNIDAD	NIVEL BAJO	NIVEL ALTO
Temperatura (T)	°C	25	35
Tiempo (θ)	h	8	16

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.4, se muestra la matriz del diseño factorial que fue aplicado en el proceso de germinación del grano de quinua negra con secado por el método al vacío para la obtención de harina malteada, constituido por dos variables: Temperatura (T) y tiempo (θ).

Tabla 3.4

Matriz experimental de variables en la etapa de germinado de la quinua negra con secado por el método al vacío

Corridas	Tratamiento	Factores		Interacción	Respuestas
		T	θ	T*θ	Y _i
1	(+1)	-	-	+	Y ₁
2	T	+	-	-	Y ₂
3	θ	-	+	-	Y ₃
4	T*θ	+	+	+	Y ₄

Fuente: Elaboración propia

Donde:

Y_i = Contenido de proteína (%) y contenido de calcio (mg/100 g) en el proceso de germinación del grano de quinua negra.

3.10.2 Operacionalización de las variables para la obtención de harina malteada de quinua negra

En la figura 3.5, se muestra la operacionalización de variables para la obtención de harina malteada de quinua negra.

Tabla 3.5

Operacionalización de variables para la obtención de harina malteada de quinua negra

Hipótesis	Variables	Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	
La metodología de secado en estufa y vacío a ser aplicado en la obtención de harina malteada de quinua negra, permitirá obtener un producto con calidad nutricional en la provincia Cercado del departamento de Tarija	Variable independiente – Causa	Proceso de germinación del grano de quinua negra	Transformaciones bioquímicas, por acción enzimática de amilasas del propio grano, convirtiendo el almidón en azúcares sencillos. (Bravo et al., 2013)	Tiempo	h
				Temperatura	°C
				Crecimiento de la radícula	cm
	Variable dependiente - efecto	Harina malteada de quinua negra	La harina de quinua, es elaborada a través de un proceso de secado inicial, hasta que el grano tenga una humedad menor o igual a 11%. La quinua es entonces molida hasta lograr un producto “panificable” (Risi et al., 2015).	Proteína total	%
				Hidratos de carbono	%
				Humedad	%
				Calcio	mg/100 g
				Fosforo	mg/100 g
				Mohos y levaduras	UFC/g(ml)
				Coliformes totales	UFC/g(ml)
Rendimiento	%				

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Caracterización de la quinua negra

Para caracterizar la quinua negra (*Chenopodium quinoa Wild*), se tomaron en cuenta las siguientes propiedades físicas, análisis fisicoquímico y microbiológico.

4.1.1 Propiedades físicas de la quinua negra

Para la caracterización de las propiedades físicas, se realiza una clasificación granulométrica del grano de quinua negra, realizado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), se utiliza tamices en base a la norma A.S.T.M. E-11 y se clasificaron en cuatro categorías (extra grande, grande, mediano y pequeño), utilizando tres tamices (tamiz N° 10, 12, 14) con la ayuda de un tamizador, agitando por un tiempo de 15 minutos por cada muestra. En la tabla 4.1, se detallan los tamices que se utilizaron para realizar la clasificación granulométrica.

Tabla 4.1

Tamices para la clasificación granulométrica

N° de tamiz	Material	Unidad	Abertura
Tamiz N° 10	Cobre	mm	2,00
Tamiz N° 12	Cobre	mm	1,70
Tamiz N° 14	Cobre	mm	1,40

Fuente: Elaboración propia

El grano de quinua negra, se clasifica de acuerdo al tamaño del grano en cuatro categorías que se detallan en la tabla 4.2.

Tabla 4.2

Granulometría clasificada del grano de quinua negra

Tamaño	Unidad	Diámetro máximo	Diámetro mínimo
Extra grande	mm	> 2,00	2,00
Grande	mm	2,00	1,70
Mediano	mm	1,70	1,40
Pequeño	mm	1,40	0

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.3, se muestra la clasificación granulométrica realizada a diez muestras de 500 g de granos de quinua negra.

Tabla 4.3

Clasificación granulométrica de los granos de quinua negra

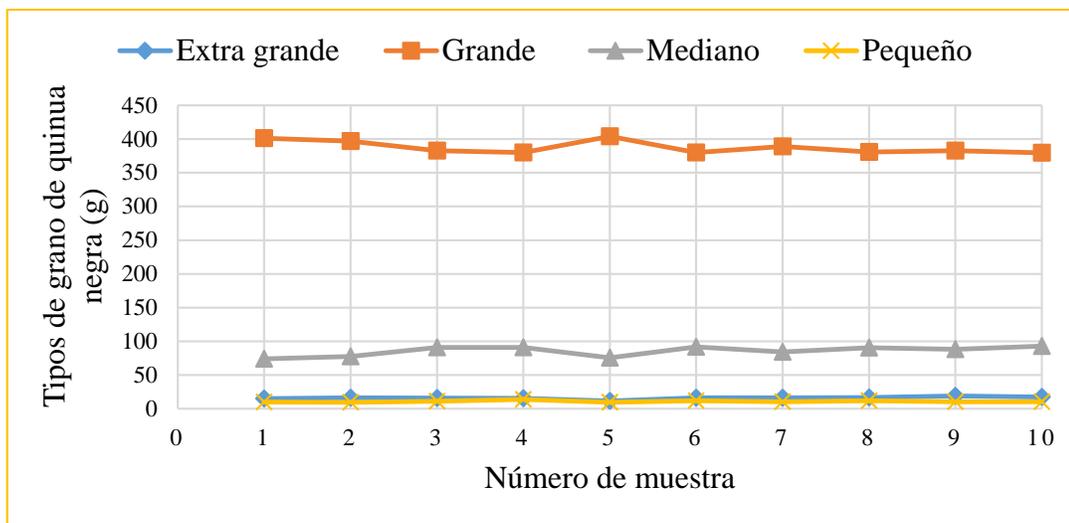
N°	Peso de muestra (g)	Extra grande	Grande	Mediano	Pequeño
1	500,00	15,04	401,13	74,04	9,81
2	500,01	16,34	396,89	77,40	9,42
3	500,01	15,63	382,67	90,87	10,88
4	500,01	15,41	379,86	90,89	13,87
5	500,00	11,37	403,82	75,46	9,32
6	500,00	16,24	380,16	91,61	12,02
7	500,00	16,23	389,25	84,33	10,23
8	500,00	16,74	380,98	90,32	12,02
9	500,00	18,90	382,73	88,03	10,40
10	500,00	17,30	379,56	92,79	10,36
Promedio		15,92	387,71	85,57	10,83
Valor máximo		18,90	403,82	92,79	13,87
Valor mínimo		11,37	379,56	74,04	9,32

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 4.3, se tiene el promedio del valor máximo y mínimo para cada tamaño de grano de quinua negra en 500 g de muestra, los resultados son los siguientes:

- Quinua extra grande: promedio 15,92 g; valor máximo 18,90 g; valor mínimo 11,37 g.
- Quinua grande: promedio 387,71 g; valor máximo 403,82 g; valor mínimo 379,56 g.
- Quinua mediana: promedio 85,57 g; valor máximo 92,79 g; valor mínimo 74,04 g.
- Quinua pequeña: promedio 10,83 g; valor máximo 13,87 g; valor mínimo 9,32 g.

En la figura 4.1, se muestra los resultados obtenidos de la clasificación granulométrica del grano de quinua negra (g), datos extraídos de la tabla 4.3.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.1: Clasificación granulométrica de los granos de quinua negra

En la figura 4.1, se puede observar que el grano con más cantidad es el grano grande, que es el grano procesable con la cual se realiza la parte experimental.

En la tabla 4.4, se muestra el porcentaje de la clasificación granulométrica de los granos de quinua negra en porcentaje (%).

Tabla 4.4

Clasificación granulométrica en porcentaje de los granos de quinua negra

N°	Peso de muestra (g)	Extra grande	Grande	Mediano	Pequeño
1	500,00	3,01	80,23	14,81	1,96
2	500,01	3,27	79,38	15,48	1,88
3	500,01	3,13	76,53	18,17	2,18
4	500,01	3,08	75,97	18,18	2,77
5	500,00	2,27	80,76	15,09	1,86
6	500,00	3,25	76,03	18,32	2,40
7	500,00	3,25	77,85	16,87	2,05
8	500,00	3,35	76,20	18,06	2,40
9	500,00	3,78	76,55	17,61	2,08
10	500,00	3,46	75,91	18,56	2,07
Promedio		3,40	77,31	17,12	2,16
Valor máximo		4,15	80,76	18,56	2,77
Valor mínimo		2,27	75,60	14,81	1,86

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 4.4, se tiene el porcentaje del promedio del valor máximo y mínimo para cada tamaño de grano de quinua negra en 500 g de muestra y los cuales son los siguientes:

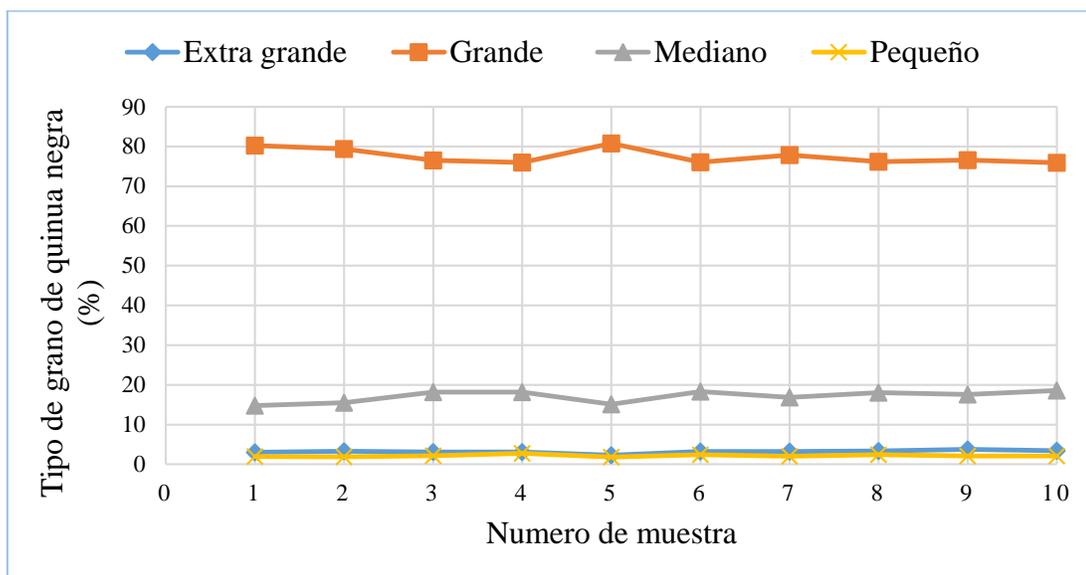
Quinua extra grande: promedio 3,40 %; valor máximo 4,15 %; valor mínimo 2,27 %.

Quinua grande: promedio 77,31 %; valor máximo 80,76 %; valor mínimo 75,60 %.

Quinua mediana: promedio 17,12 %; valor máximo 18,56 %; valor mínimo 14,81 %.

Quinua pequeña: promedio 2,16 %; valor máximo 2,77 %; valor mínimo 1,86 %.

En la figura 4.2, se muestra los resultados obtenidos de la clasificación granulométrica del grano de quinua negra en porcentaje (%), los datos fueron extraídos de la tabla 4.4.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.2: Clasificación granulométrica en porcentaje (%) de los granos de quinua negra

En la figura 4.2, se puede observar que el porcentaje de grano de quinua negra en mayor porcentaje es el grano grande, grano procesable que se utilizó en la parte experimental.

De la tabla 4.3 y tabla 4.4, se puede observar que se obtuvieron en mayor cantidad el grano de quinua negra grande que es la quinua procesable utilizada en el presente trabajo.

4.1.2 Análisis fisicoquímicos, minerales y microbiológicos de los granos de quinua negra

Los análisis fisicoquímicos, minerales y microbiológicos en la quinua negra, se realizaron en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) que se detallan a continuación:

4.1.2.1 Análisis fisicoquímicos de la quinua negra

En la tabla 4.5, se puede observar los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos en la quinua negra, datos extraídos de la tabla A.2.1 (Anexo A).

Tabla 4.5

Análisis fisicoquímicos de los granos de quinua negra

Parámetros	Unidad	Resultados
Cenizas	%	3,42
Fibra	%	7,34
Grasa	%	4,13
Hidrato de carbono	%	64,35
Humedad	%	8,69
Proteína total (Nx6,25)	%	12,07
Valor energético	Kcal/100 g	342,85

Fuente: CEANID, 2022

Como se observa la tabla 4.5, muestra los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos de los granos de quinua negra que contiene: cenizas 3,42%; fibra 7,34%; grasa 4,13%; hidratos de carbono 64,35%; humedad 8,69%; proteína total 12,07% y valor energético 342,85 Kcal/100 g.

4.1.2.2 Análisis de minerales de la quinua negra

En la tabla 4.6, se puede observar los resultados obtenidos del análisis de minerales de los granos de quinua negra, datos extraídos de la tabla A.2.1 (Anexo A).

Tabla 4.6

Análisis de minerales de la quinua negra

Minerales	Unidad	Resultados
Calcio	mg/100 g	46,0
Fósforo	mg/100 g	813,0
Hierro	mg/100 g	5,5

Fuente: CEANID, 2022

Como se puede observar en la tabla 4.6, se muestra los resultados obtenidos de los análisis de minerales de los granos de quinua negra que contiene: Calcio 46,0 mg/100 g; Fósforo 813,0 mg/100 g y Hierro 5,5 mg/100 g.

4.1.2.3 Análisis microbiológicos de la quinua negra

En la tabla 4.7, se puede observar los resultados obtenidos de los análisis microbiológicos de los granos de quinua negra, datos extraídos de la tabla A.2.1 (Anexo A).

Tabla 4.7

Análisis microbiológicos de los granos de quinua negra

Microorganismos	Unidad	Resultados
Bacterias Aerobias mesófilas	UFC/g	$1,6 \times 10^2$
Coliformes totales	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$ (*)
Mohos y Levaduras	UFC/g	$3,0 \times 10^2$

Fuente: CEANID, 2022 (*) No se observa desarrollo de colonias

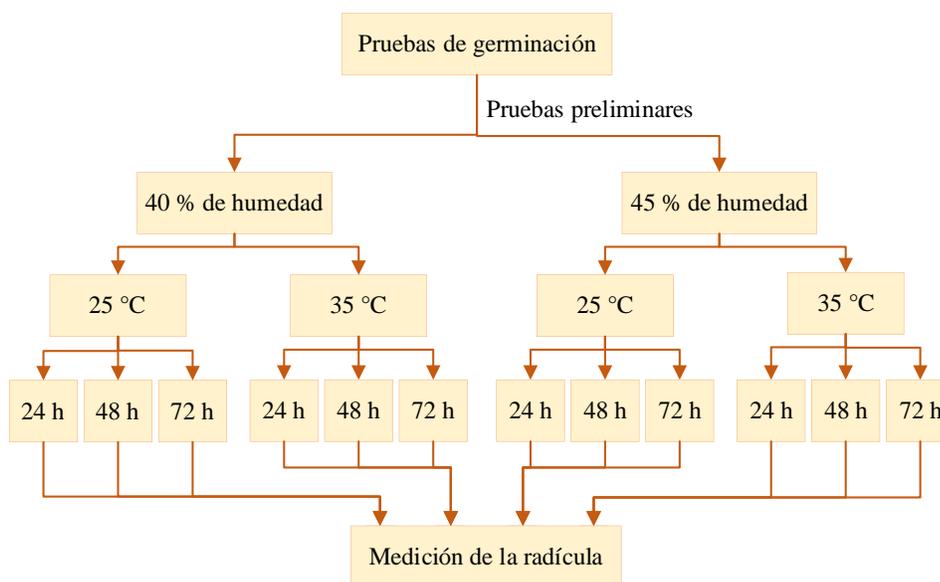
La tabla 4.7 muestra los resultados obtenidos de los análisis microbiológicos de los granos de quinua negra: Bacterias Aerobias mesofilas $1,6 \times 10^2$ UFC/g; Coliformes totales $<1,0 \times 10^1$ UFC/g; y Mohos y Levaduras $3,0 \times 10^2$ UFC/g.

4.2 Caracterización de las variables del proceso para la obtención de harina malteada de quinua negra

Para la caracterización de las variables del proceso de elaboración de harina malteada de quinua negra, se toma en cuenta los siguientes aspectos:

4.2.1 Pruebas preliminares para la germinación del grano de quinua negra

Para el presente trabajo, se realiza pruebas preliminares de germinación controlando inicialmente humedad (40 – 45) %, calculando la cantidad de agua que se utiliza según la ecuación 2.1, se realiza pruebas de germinación a temperaturas entre (25 – 35) ° C y por tiempo de 24 h, 48 h y 72 h. se controla con una regla Vernier el crecimiento de la radícula en (mm), el método de secado que se utilizo fue la estufa. En la figura 4.3, se muestra las pruebas preliminares realizadas durante la parte experimental.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3: Pruebas preliminares en la germinación del grano de quinua negra

La tabla 4.8 muestra los datos de crecimiento de la raíz (mm) de los granos de quinua negra germinados a humedad entre (40 – 45) %, los granos son germinados a una temperatura de 25 °C y medidos con una regla Vernier, el método de muestreo empleado para la medición de la raíz fue el muestro intencional o de conveniencia.

Tabla 4.8

Control del crecimiento de la raíz a 25 °C

Muestra	Unidades	40 % humedad			45 % humedad		
		24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h
1	mm	7,45	9,90	21,90	12,10	10,40	17,55
2	mm	9,60	8,50	19,70	13,20	11,45	14,55
3	mm	8,10	16,15	18,00	7,95	14,95	13,45
4	mm	7,55	11,15	16,30	9,30	16,50	19,00
5	mm	9,65	11,20	17,00	11,30	13,45	12,75
6	mm	8,30	12,45	17,80	10,50	15,25	19,05
7	mm	14,30	17,80	12,35	7,05	12,35	21,10
8	mm	15,40	11,20	13,15	9,95	14,95	17,00
9	mm	10,00	19,35	14,30	9,00	11,65	12,40
10	mm	9,10	20,25	10,70	11,30	13,25	12,75
Promedio	mm	9,95	13,80	16,12	10,17	13,42	15,96
Valor máximo	mm	15,40	20,25	21,90	13,20	16,50	21,10
Valor mínimo	mm	7,45	8,50	10,70	7,05	10,40	12,40

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la tabla 4.8, los resultados obtenidos en las pruebas preliminares de germinación del grano de quinua negra, a temperatura de 25 °C, son los siguientes:

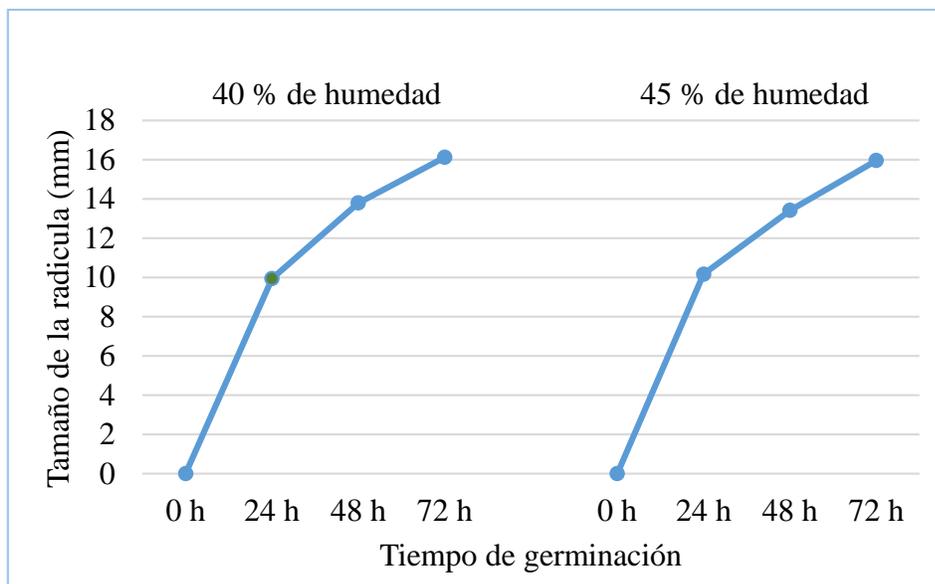
Para una humedad de 40 %, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Para un tiempo de germinación de 24 h: Promedio 9,95 mm; valor máximo 15,40 mm y valor mínimo 7,45 mm.
- Para un tiempo de germinación de 48 h: Promedio 13,80 mm; valor máximo 20,25 mm y valor mínimo 8,50 mm.
- Para un tiempo de germinación de 72 h: Promedio 16,12 mm; valor máximo 21,90 mm y valor mínimo 10,70 mm.

Para una humedad de 45 %, se obtuvieron los siguientes resultados:

- ❖ Para un tiempo de germinación de 24 h: Promedio 10,17 mm; valor máximo 13,20 mm y valor mínimo 7,05 mm.
- ❖ Para un tiempo de germinación de 48 h: Promedio 13,42 mm; valor máximo 16,50 mm y valor mínimo 10,40 mm.
- ❖ Para un tiempo de germinación de 72 h: Promedio 15,96 mm; valor máximo 21,10 mm y valor mínimo 12,40 mm.

La figura 4.4 muestra los resultados obtenidos del promedio de crecimiento de la radícula de la germinación del grano de quinua negra, estos datos son extraídos de la tabla 4.8, las radículas son medidas con una regla Vernier en (mm) a una humedad entre (40 – 45) % y temperatura de 25 °C.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.4: Pruebas preliminares del crecimiento de la radícula a 25 °C

En la tabla 4.9, se muestra los datos de crecimiento de la radícula (mm) de los granos de quinua negra germinados a una humedad entre (40 – 45) %, los granos fueron germinados a una temperatura de 35 °C y medidos con una regla Vernier, el método de muestreo empleado para la medición de la radícula fue el muestro intencional o de conveniencia.

Tabla 4.9

Control del crecimiento de la radícula a 35 °C

Muestra	Unidades	40 % humedad			45 % humedad		
		24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h
1	mm	11,25	18,05	35,80	9,10	18,05	23,75
2	mm	10,60	20,00	30,75	11,35	16,15	33,50
3	mm	9,50	19,45	24,45	13,60	18,10	22,30
4	mm	13,95	22,75	33,20	8,75	19,30	30,85
5	mm	11,45	17,65	27,20	12,95	16,55	26,00
6	mm	9,70	20,00	33,45	9,20	19,85	24,50
7	mm	12,35	18,95	21,00	10,05	16,25	33,90
8	mm	10,05	20,30	26,65	9,70	23,05	28,70
9	mm	8,85	18,45	28,20	10,50	19,40	24,30
10	mm	14,10	19,20	29,95	12,65	18,45	32,50
Promedio	mm	11,18	19,48	29,07	10,79	18,52	28,03
Valor max.	mm	14,10	22,75	35,80	13,60	23,05	33,90
Valor min.	mm	8,85	17,65	21,00	8,75	16,15	22,30

Fuente: Elaboración propia

La tabla 4.9 muestra los resultados obtenidos en las pruebas preliminares de germinación del grano de quinua negra para una temperatura de 35 °C, los resultados son los siguientes:

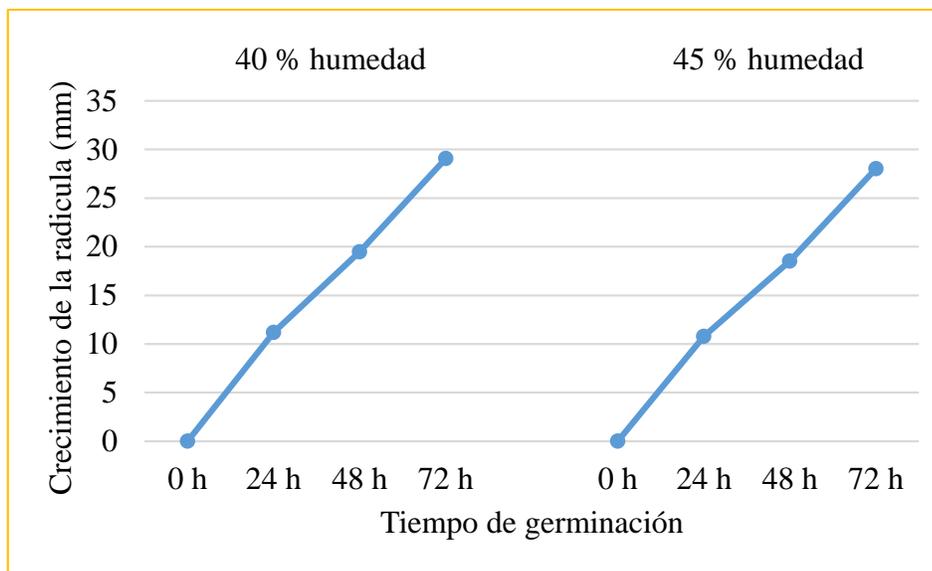
Para una humedad de 40 %, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Para un tiempo de germinación de 24 h: promedio 11,18 mm; valor máximo 14,10 mm y valor mínimo 8,85 mm.
- Para un tiempo de germinación de 48 h: promedio 19,48 mm; valor máximo 22,75 mm y valor mínimo 17,65 mm.
- Para un tiempo de germinación de 72 h: promedio 29,07 mm; valor máximo 35,80 mm y valor mínimo 21,00 mm.

Para una humedad de 45 %, se obtuvieron los siguientes resultados:

- ❖ Para un tiempo de germinación de 24 h: promedio 10,79 mm; valor máximo 13,60 mm y valor mínimo 8,75 mm.
- ❖ Para un tiempo de germinación de 48 h: promedio 18,52 mm; valor máximo 23,05 mm y valor mínimo 16,15 mm.
- ❖ Para un tiempo de germinación de 72 h: promedio 28,03 mm; valor máximo 33,90 mm y valor mínimo 22,30 mm.

En la figura 4.5, se muestra los resultados obtenidos del promedio de crecimiento de la radícula de la germinación del grano de quinua negra, datos que son extraídos de la tabla 4.8, medidas con una regla Vernier en (mm) a una humedad entre (40 – 45) % y temperatura de 35 °C.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.5: Pruebas preliminares del crecimiento de la radícula a 35 °C

De las pruebas preliminares realizadas en la germinación del grano de quinua negra, se determinó que la humedad no afecta de manera significativa en el crecimiento del grano de quinua negra, pero la temperatura que se aplica sí influye de una manera significativa. A temperatura de 35 °C se pudo observar con la medición de la radícula que crece más rápido que a 25 °C.

4.3 Análisis fisicoquímicos, minerales y microbiológicos en el proceso de germinación de la quinua negra

Según (Fries & Tapia, 1985), “los granos malteados ofrecen una alternativa interesante para aumentar el contenido de energía y también de nutrientes en los alimentos” (Pág. 287). Durante la germinación, se activan las enzimas y se realizan cambios físicos y químicos en el grano (Hough, 1990. Pág. 72). En tal sentido, se realizaron controles fisicoquímicos, minerales y microbiológicos al grano de quinua negra en el proceso de germinación con la finalidad de verificar el aumento de los nutrientes y los cuales se realizaron en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID). Dicho proceso de germinación, se realizó en incubadora eléctrica a temperatura de 25 °C por tiempos de germinación entre (8 h, 16 h, 24 h y 48 h).

4.3.1 Análisis fisicoquímicos en el proceso de germinado de la quinua negra

La tabla 4.10 indica los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos realizados en el proceso de germinación del grano de quinua negra, datos extraídos de las tablas A.2.2, A.2.3, A.2.4 y A.2.5 del (Anexo A).

Tabla 4.10

Análisis fisicoquímicos en el proceso de germinación del grano de quinua negra

Parámetros	Unidades	Resultados de germinación			
		8 h	16 h	24 h	48 h
Cenizas	%	2,45	2,32	2,59	2,66
Fibra	%	4,98	4,10	7,57	8,36
Grasa	%	3,40	3,36	4,94	4,47
Hidratos de carbono	%	62,93	61,64	66,85	65,83
Humedad	%	6,58	9,70	6,07	6,53
Proteína total (Nx6,25)	%	19,66	18,88	11,98	12,15
Valor energético	Kcal/100 g	360,96	352,32	359,78	352,15

Fuente: CEANID, 2022

La tabla 4.10 muestra los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados en el proceso de germinación del grano de quinua negra que son los siguientes:

- Para una germinación de 8 h: cenizas 2,45%; fibra 4,98 %; grasa 3,40%; hidratos de carbono 62,93%; humedad 6,58%; proteína total 19,66% y valor energético 360,96 Kcal/100 g.
- Para una germinación de 16 h: cenizas 2,32%; fibra 4,10 %; grasa 3,36%; hidratos de carbono 61,64%; humedad 9,70%; proteína total 18,88% y valor energético 352,32 Kcal/100 g.
- Para una germinación de 24 h: cenizas 2,59%; fibra 7,57%; grasa 4,94%; hidratos de carbono 66,85%; humedad 6,07%; proteína total 11,98% y valor energético 359,78 Kcal/100 g.
- Para una germinación de 48 h: cenizas 2,66%; fibra 8,36 %; grasa 4,47%; hidratos de carbono 65,83%; humedad 6,53%; proteína total 12,15% y valor energético 352,15 Kcal/100 g.

En la tabla 4.11, se observa datos del contenido de proteína total en el grano de quinua negra y en el proceso de germinación, que se expresan en porcentaje (%), datos extraídos de la tabla 4.5 y tabla 4.10.

Tabla 4.11

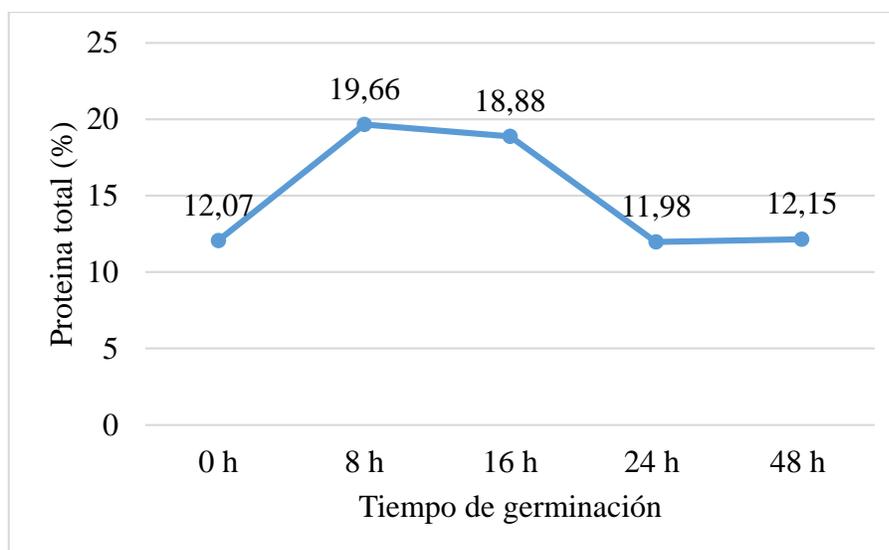
Contenido de proteína total del grano de quinua negra y el proceso de germinación

Parámetro	Resultados (%)				
	Quinua negra	8 h de germinación	16 h de germinación	24 h de germinación	48 h de germinación
Proteína total	12,07	19,66	18,88	11,98	12,15

Fuente: CEANID, 2022

Como se puede observar en la tabla 4.11, para un tiempo de germinación de 8 h, se alcanza el punto más alto (19,66 %) de contenido de proteína total en el proceso de germinación del grano de quinua negra.

En la figura 4.6, se muestra los datos de proteína total en base a datos de la tabla 4.11 indicando el contenido de proteína total (%) de acuerdo al tiempo de germinación del grano de quinua negra (h).



Fuente: CEANID, 2022

Figura 4.6: Contenido de proteína total del grano de quinua negra y proceso de germinación

4.3.2 Análisis de minerales en el proceso de germinado de la quinua negra

En la tabla 4.12, se puede observar los resultados obtenidos de los análisis de minerales realizados en el proceso de germinación del grano de quinua negra, datos extraídos de las tablas A.2.2, A.2.3, A.2.4 y A.2.5 del (Anexo A).

Tabla 4.12

Análisis de minerales en el proceso de germinación de la quinua negra

Minerales	Unidades	Resultados			
		8 h	16 h	24 h	48 h
Calcio	mg/100 g	56,2	68,3	83,0	82,0
Fosforo	mg/100 g	231,2	252,6	264,9	255,3
Hierro	mg/100 g	4,7	4,8	4,1	3,8

Fuente: CEANID, 2022

Como se puede observar en la tabla 4.12, se muestran los resultados que se obtuvieron de los análisis de minerales realizados en el proceso de germinación del grano de quinua negra, los resultados son los siguientes:

- ✓ Para una germinación de 8 h: calcio 56,2 mg/100 g; fosforo 231,2 mg/100 g y hierro 4,7 mg/100 g.
- ✓ Para una germinación de 16 h: calcio 68,3 mg/100 g; fosforo 252,6 mg/100 g y hierro 4,8 mg/100 g.
- ✓ Para una germinación de 24 h: calcio 83,0 mg/100 g; fosforo 264,9 mg/100 g y hierro 4,1 mg/100 g.
- ✓ Para una germinación de 48 h: calcio 82,0 mg/100 g; fosforo 255,3 mg/100 g y hierro 3,8 mg/100 g.

En la tabla 4.13, se observa datos del contenido de calcio en el grano de quinua negra y en el proceso de germinación que se expresa en mg/100 g, datos extraídos de las tablas 4.6 y 4.12.

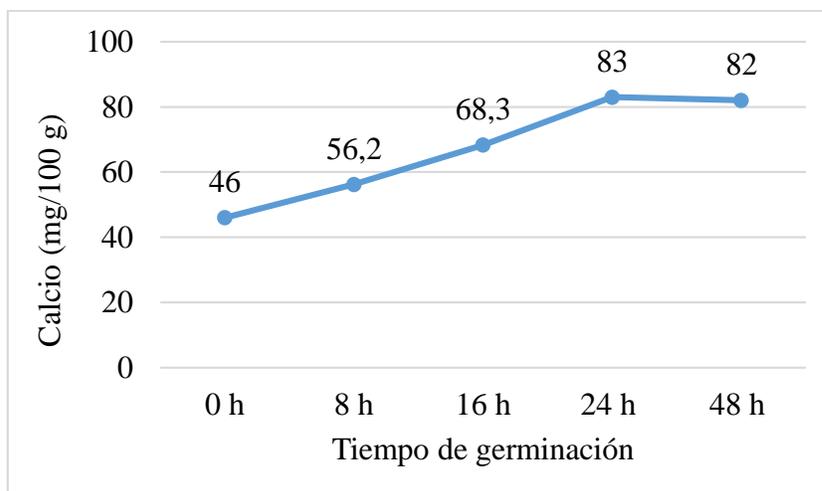
Tabla 4.13**Contenido de calcio en el grano de quinua negra y el proceso de germinación**

Mineral	Resultados (mg/100 g)				
	Quinua negra	8 h de germinación	16 h de germinación	24 h de germinación	48 h de germinación
Calcio	46,0	56,2	68,3	83,0	82,0

Fuente: CEANID, 2022

Como se puede observar en la tabla 4.13, para un tiempo de germinación de 24 h, se alcanza el punto más alto (83,0 mg/100 g) de contenido de calcio en el proceso de germinación del grano de quinua negra.

La figura 4.7 muestra los datos del mineral calcio en base a datos de la tabla 4.13 indicando el contenido de calcio (mg/100 g) de acuerdo al tiempo de germinación del grano de quinua negra (h).



Fuente: CEANID, 2022

Figura 4.7: Contenido de calcio del grano de quinua negra y proceso de germinación

4.3.3 Análisis microbiológicos en el proceso de germinado de la quinua negra

En la tabla 4.14, se puede observar los resultados obtenidos de los análisis microbiológicos realizados en el proceso de germinación del grano de quinua negra, en un tiempo de 24 h y 48 h, los datos son extraídos de las tablas A.4 y A.5 (Anexo A).

Tabla 4.14***Análisis microbiológicos en el proceso de germinación del grano de quinua negra***

Microorganismos	Unidades	Resultados	
		24 h	48 h
Bacterias Aerobias mesófilas	UFC/g	$5,2 \times 10^2$	$5,4 \times 10^2$
Coliformes totales	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$ (*)	$<1,0 \times 10^1$ (*)
Mohos y Levaduras	UFC/g	$2,2 \times 10^2$	$6,4 \times 10^2$

Fuente: CEANID, 2022

(*) No se observa desarrollo de colonias

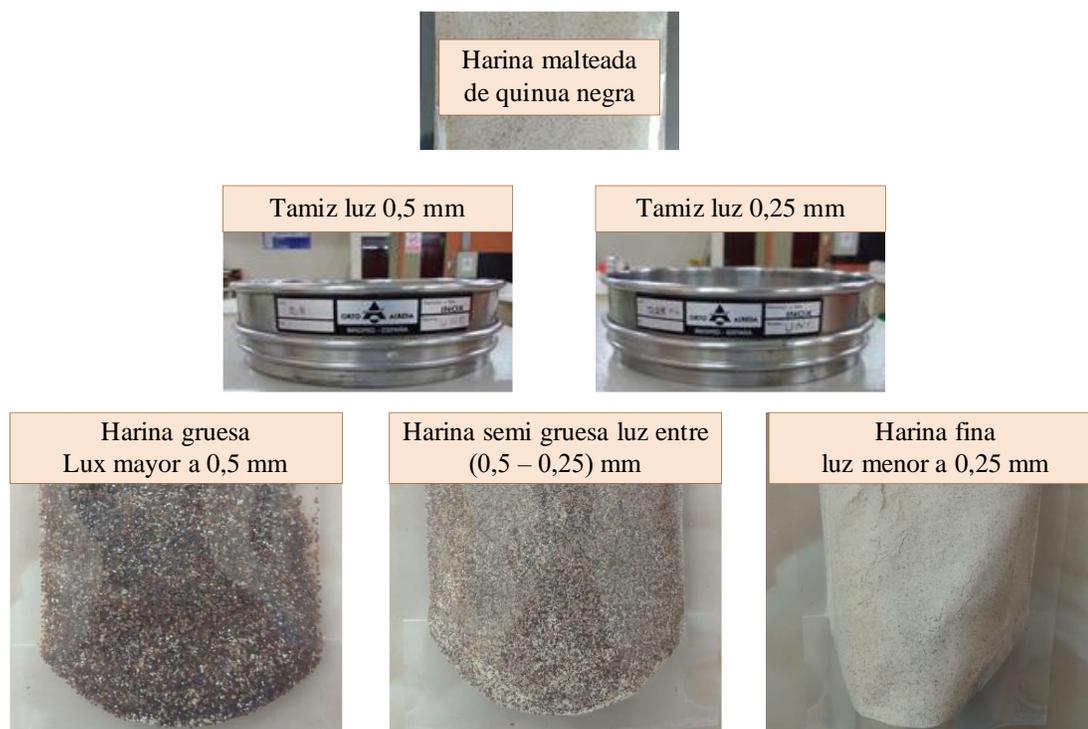
La tabla 4.14 muestra los resultados de los análisis microbiológicos en el proceso de germinación del grano de quinua negra, estas son los siguientes:

- ❖ Para una germinación de 24 h: Bacterias Aerobias mesófilas $5,2 \times 10^2$ UFC/g; Coliformes totales $<1,0 \times 10^1$ UFC/g y Mohos y Levaduras $2,2 \times 10^2$ UFC/g.
- ❖ Para una germinación de 48 h: Bacterias Aerobias mesófilas $5,4 \times 10^2$ UFC/g; Coliformes totales $<1,0 \times 10^1$ UFC/g y Mohos y Levaduras $6,4 \times 10^2$ UFC/g.

Según resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos y minerales que se realizaron en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), se pudo determinar que la proteína total (%) y el calcio (mg/100 g) son los que más cambios significativos tienen en el proceso de germinación del grano de quinua negra, alcanzando el punto más alto (19,66 %) de contenido de proteína total en un tiempo de germinación de 8 h y (83,0 mg/100 g) de contenido de calcio para un tiempo de germinación de 24 h.

4.4 Clasificación granulométrica de la harina malteada de quinua negra

La clasificación granulométrica en la harina malteada de quinua negra, se realiza en un tamizador y se llevó a cabo en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), se utiliza dos tamices de acero inoxidable en base a la norma UNE – España con una luz o abertura entre (0,25 – 0,50) mm, obteniendo tres tipos de harinas malteadas: harina gruesa con tamaño $> 0,50$ mm; harina semi gruesa con tamaño entre (0,25 – 0,50) mm; y harina fina con tamaño $< 0,25$ mm. En la figura 4.8, se puede observar la clasificación granulométrica de la harina malteada de quinua negra.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.8: Metodología para la clasificación granulométrica de la harina malteada de quinua negra

La tabla 4.15 indica los datos obtenidos en la clasificación granulométrica de tres muestras de 100 g de harina malteada de quinua negra.

Tabla 4.15

Clasificación granulométrica de la harina malteada de quinua negra

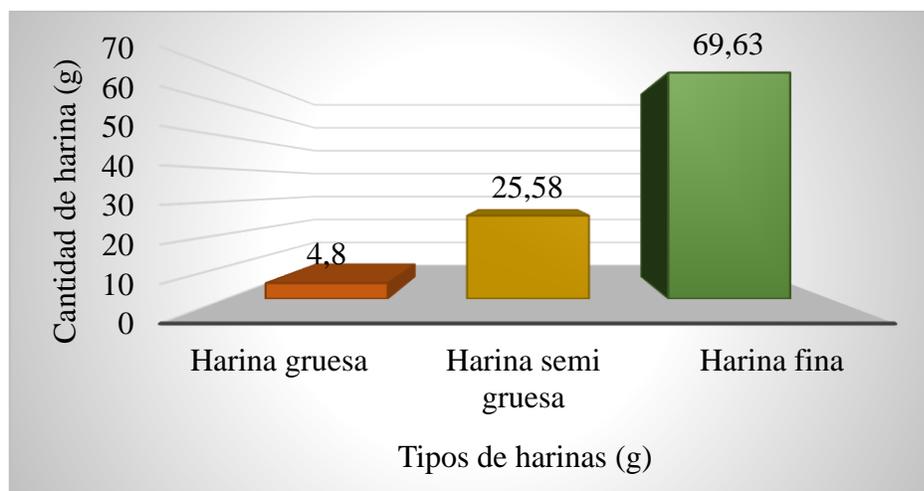
N°	Muestras (g)	Tipos de harinas (g)		
		Harina gruesa	Harina semi gruesa	Harina fina
1	100	4,67	26,26	69,06
2	100	5,24	24,45	70,30
3	100	4,47	26,02	69,51
Promedio		4,80	25,58	69,63

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar la tabla 4.17 muestra los resultados obtenidos de la clasificación granulométrica de harina malteada de quinua negra, los promedios obtenidos de las tres muestras son: harina gruesa 4,80 g; harina semi gruesa 25,58 g y harina fina 69,63 g. Según (Bezerra & Damasceno, 2018), el análisis granulométrico

en las harinas son primordiales para la industria de las pastas alimenticias, ya que facilita la estandarización y proceso de productos, identificar los requisitos de la materia prima y los parámetros legales respecto al tamaño de las partículas.

La figura 4.9 muestra los valores promedios de la clasificación granulométrica según la tabla 4.15, indica la cantidad de harina (g) en base a los tipos de harina malteada de quinua negra (g).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.9: Clasificación granulométrica de la harina malteada de quinua negra

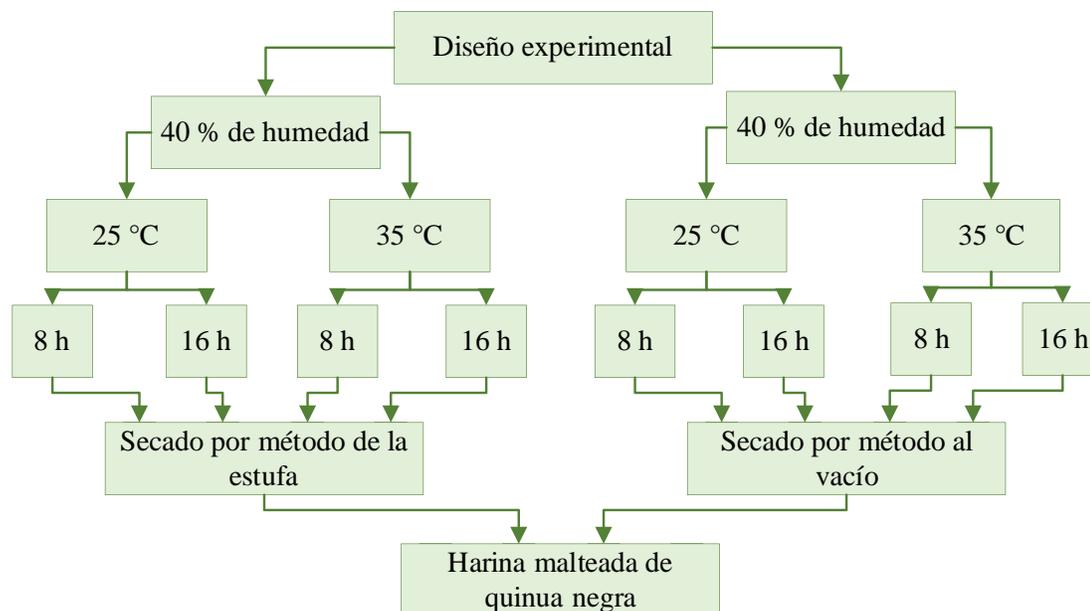
4.5 Diseño experimental en el proceso de germinación del grano de quinua negra para la obtención de harina malteada de quinua negra

El diseño experimental se realiza en el Laboratorio Académico de la Carrera de Ingeniería de Alimentos (LACIA), el proceso de germinación se realizó a una humedad de 40 %, aplicando diseño factorial 2^2 , las variables tomadas en cuenta son la temperatura (25 – 35) % y tiempo (8 – 16) h.

Los métodos de secado aplicados son de la estufa electrónica y vacío, se utilizan estos dos métodos de secado con la finalidad comparar el rendimiento y determinar el mejor método de secado en los alimentos.

La variable respuesta es el contenido de proteína total (%) y el contenido del mineral calcio (mg/100 g) para la obtención de harina malteada de quinua negra, los análisis se los realizaron en el Centro de Análisis, investigación y Desarrollo (CEANID).

La figura 4.10 muestra el esquema experimental aplicado para la obtención de harina malteada de quinua negra en función de los dos métodos de secado (estufa y vacío)



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.10: Esquema experimental para la obtención de harina malteada de quinua negra

4.5.1 Diseño factorial 2^2 en el proceso de germinación del grano de quinua negra con secado por el método en la estufa

En la tabla 4.16, se observan los factores tiempo y temperatura e interacciones de los factores en el proceso de germinación del grano de quinua negra con secado por el método de estufa mostrando los resultados de la variable respuesta de contenido de proteínas total en porcentajes (%), de datos extraídos del anexo B.1.

Tabla 4.16

Contenido de proteína total en el proceso de germinación con secado por método de estufa

Tratamiento	Factores		Interacción	Respuestas	
	T	θ	$T*\theta$	Y1	Y2
(+1)	-	-	+	10,39	10,57
T	+	-	-	10,65	10,48
θ	-	+	-	10,57	11,21
$T*\theta$	+	+	+	11,62	11,3

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.17, se observan los factores tiempo y temperatura e interacciones de los factores en el proceso de germinación del grano de quinua negra con secado por el método de la estufa mostrando los resultados de la variable respuesta de contenido del mineral calcio (mg/100 g), datos extraídos del anexo B.2.

Tabla 4.17

Contenido de calcio en el proceso de germinación con secado por método de estufa

Tratamiento	Factores		Interacción	Respuestas	
	T	θ	T* θ	Y1	Y2
(+1)	-	-	+	42,9	48,8
T	+	-	-	45	47,9
θ	-	+	-	45,7	52,7
T* θ	+	+	+	47,1	50,3

Fuente: Elaboración propia

4.5.1.1 Análisis de varianza para la variable respuesta contenido de proteína total

La tabla 4.18 muestra los resultados obtenidos del análisis de varianza del diseño 2^2 en el proceso de germinación de la quinua negra con secado por el método de la estufa donde la variable respuesta es el contenido de proteínas total en porcentaje (%).

Tabla 4.18

Análisis de varianza de la variable respuesta contenido de proteína total con método de secado en estufa

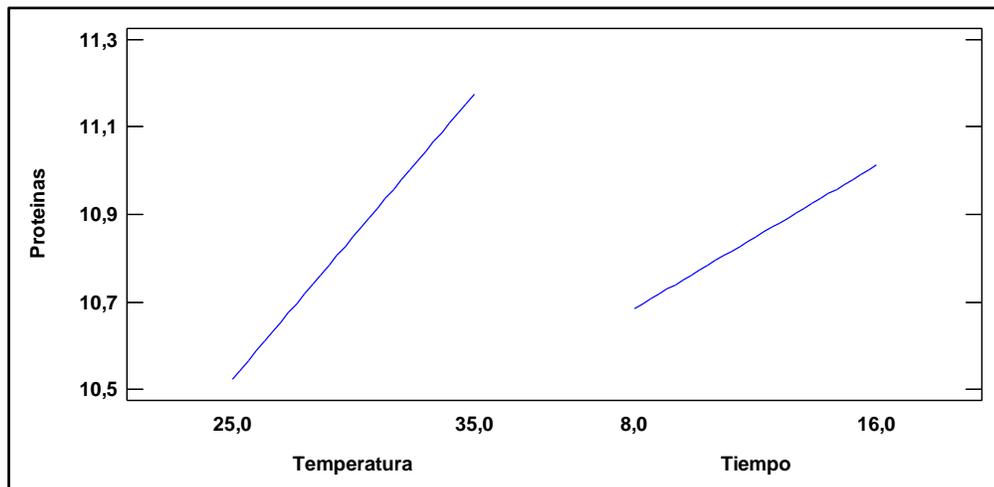
Fuente de varianza (FV)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrados medios (CM)	F _{cal}	F _{tab}
T: Temperatura	0,851512	1	0,851512	9,30	0,0554
θ : Tiempo	0,214513	1	0,214513	2,34	0,2233
T* θ	0,117612	1	0,117612	1,28	0,3394
Error total	0,274637	3	0,0915458	-	-
Total	1,47029	7	-	-	-

Fuente: Elaboración Propia

Según el análisis de varianza (tabla 4.18), se puede observar que para los factores T (temperatura), θ (tiempo) e interacción T* θ (temperatura – tiempo), existe diferencia significativa, ya que $F_{cal} > F_{tab}$, por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. Los factores T y θ e interacción de factores T* θ son

significativos en la etapa de germinación de quinua negra con secado por el método de estufa.

En la figura 4.11, se muestra lo efectos principales de los factores temperatura (T) y tiempo (θ), con relación a la variable respuesta proteínas total en porcentajes (%).

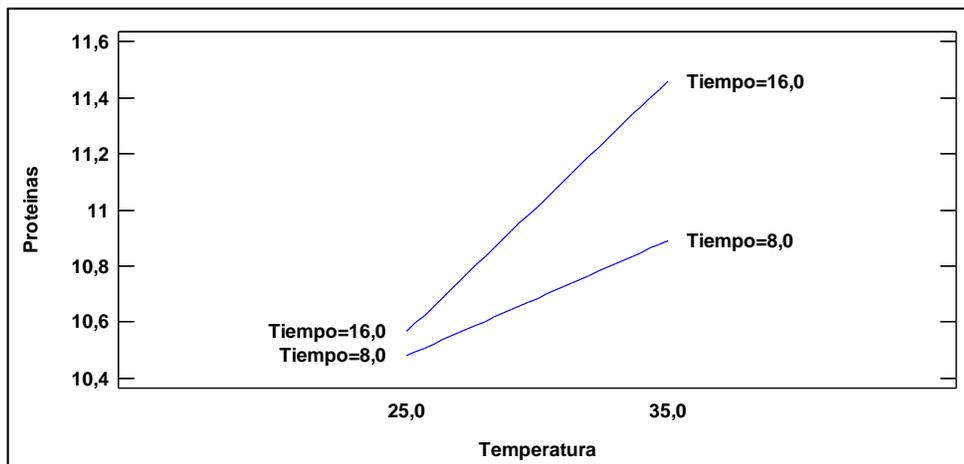


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.11: Efectos principales para el contenido de proteína con el método de secado a la estufa

En la figura 4.11, se puede observar que el factor T (temperatura), con un rango de (25 – 35) °C, influye más significativamente que el factor θ (tiempo), con un rango de (8 – 16) h sobre la variable respuesta de proteína total en porcentaje (%), se puede observar que en el nivel más alto de los factores T y θ , presenta mayor porcentaje de proteínas total.

La figura 4.12 muestra las interacciones de los factores, T (temperatura) y θ (tiempo) en función de la variable respuesta contenido de proteína en porcentaje (%).

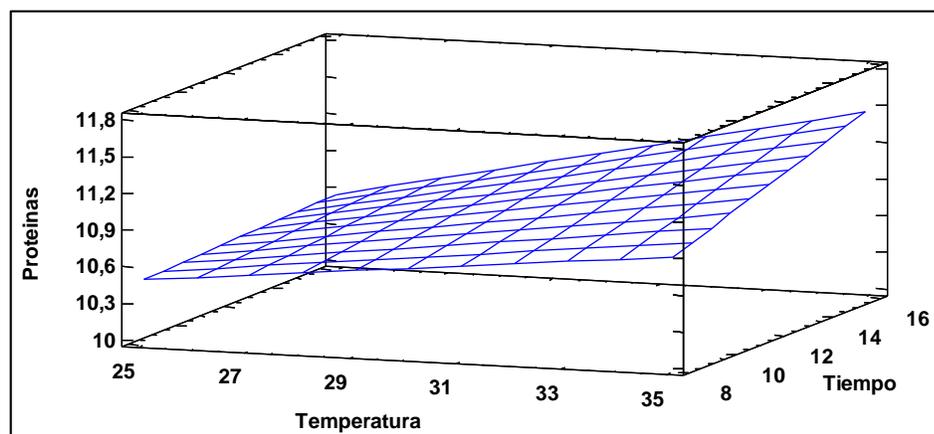


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.12 Interacciones de los factores para el contenido de proteína con el método de secado a la estufa

En la figura 4.12, se puede observar que el contenido de proteína total en porcentaje (%) para un rango de temperatura entre (25 – 35) °C, para el nivel alto del factor θ (tiempo), la proteína oscila entre (10,57 – 11,46) %, mientras que para el nivel bajo el valor de la proteína oscila entre (10,48 – 10,89) %, por lo tanto a temperatura de 35 °C y tiempo 16 h existe mayor porcentaje de proteínas.

La figura 4.13 muestra la superficie de respuesta estimada para la variable respuesta contenido de proteína total en porcentaje (%), en función del factor T (temperatura) y factor θ (tiempo).

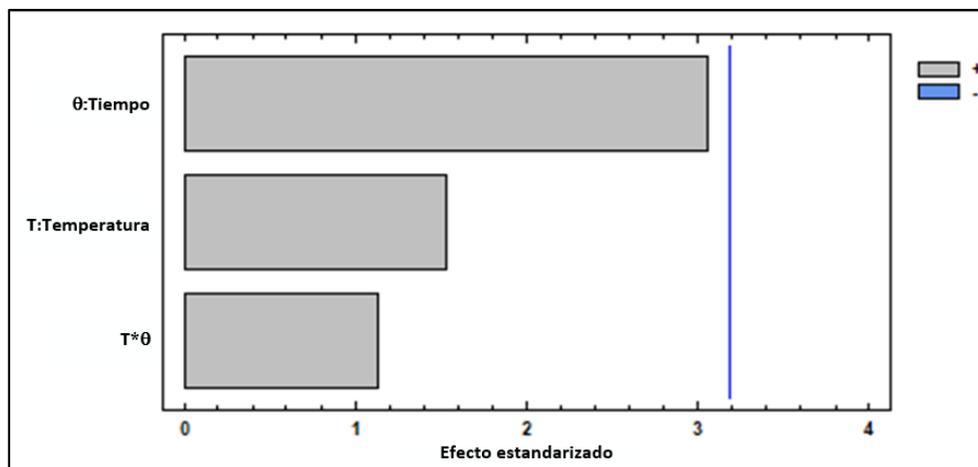


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.13: Superficie de respuesta estimada para el contenido de proteína con el método de secado a la estufa

En la figura 4.13, se puede observar la superficie de respuesta estimada para la variable respuesta proteína en función del factor T (temperatura) para un rango entre (25 – 35) °C y el factor θ (tiempo) para un rango entre (8 – 16) h, con la gráfica se puede estimar datos aproximados de los diferentes factores de control para la variable respuesta proteína total en porcentaje (%).

La figura 4.14 muestra el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en el diseño factorial. Por lo tanto, el nivel de significancia de los factores e interacciones se determina con la línea vertical de referencia con valor de (3,20), de tal manera si las barras graficadas en el diagrama de Pareto para los factores (T y θ) e interacción (T* θ) exceden la línea de referencia, indican que son significativos para un nivel de confianza $\alpha = 0,05$.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.14: Diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de proteína con método de secado a la estufa

Según la figura 4.14, se puede observar que el factor T (temperatura), factor θ (tiempo) e interacción T* θ (temperatura – tiempo), no exceden la línea de referencia, por lo tanto, no son estadísticamente significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

La tabla 4.19 muestra los factores óptimos para el proceso de germinación del grano de quinua negra con secado por el método de la estufa, donde la variable respuesta es el contenido de proteína total en porcentaje (%).

Tabla 4.19*Factores óptimos para proteínas en proceso de germinación con secado método de estufa*

Factor	Unidad	Bajo	Alto	Óptimo
T: Temperatura	°C	25,0	35,0	35,0
θ: Tiempo	h	8,0	16,0	16,0

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.19, se puede observar que los factores óptimos para el proceso de germinación son: factor a (temperatura) es igual a 35,0 °C y factor b (tiempo) es igual a 16,0 h, obteniendo el valor más óptimo para la variable respuesta contenido de proteína total en porcentaje (%).

De acuerdo al análisis estadístico realizado para la variable respuesta contenido de proteína con método de secado a la estufa, se concluye que la el factor T (temperatura), θ (tiempo) e interacción T*θ son estadísticamente significativos, los factores óptimos de germinación son T = 35 °C y θ = 16 h.

4.5.1.2 Análisis de varianza para la variable respuesta contenido de calcio

La tabla 4.20 muestra los resultados obtenidos del análisis de varianza del diseño 2² en el proceso de germinación de la quinua negra con secado por el método de la estufa donde la variable respuesta es el contenido del mineral calcio (mg/100 g).

Tabla 4.20*Análisis de varianza de variable respuesta contenido de calcio por método de secado a la estufa*

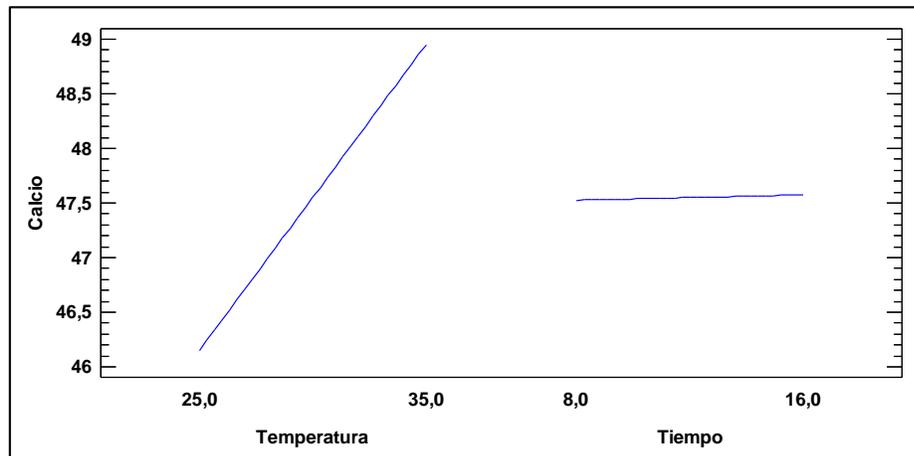
Fuente de varianza (FV)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrados medios (CM)	F _{cal}	F _{tab}
T: Temperatura	15,68	1	15,68	7,71	0,0692
θ: Tiempo	0,005	1	0,005	0,00	0,9636
T*θ	0,605	1	0,605	0,30	0,6235
Error total	6,105	3	2,035	-	-
Total	67,52	7	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

Según el análisis de varianza (tabla 4.20), se puede observar que para el factor θ (tiempo) e interacción T*θ (temperatura – tiempo), no existe diferencia significativa, ya que F_{cal}<F_{tab}, por lo tanto, se acepta la hipótesis planteada. Sin embargo el factor T

(temperatura), existe diferencia significativa, ya que $F_{cal} > F_{tab}$, por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$, y el factor T es significativo en la etapa de germinación de quinua negra con secado por el método de la estufa.

En la figura 4.15, se muestra lo efectos principales de los factores temperatura (T) y tiempo (θ), con relación a la variable respuesta contenido del mineral calcio (mg/100 g).

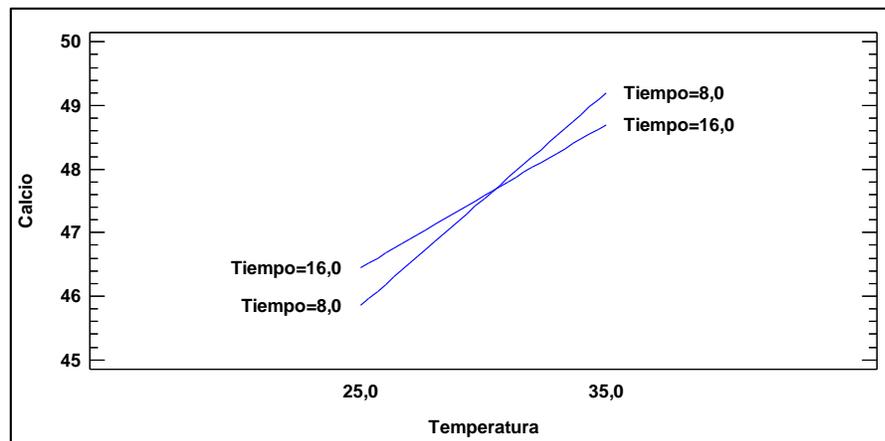


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.15: Efectos principales para el contenido de calcio con el método de secado a la estufa

En la figura 4.15, se puede observar que el factor T (temperatura), influye significativamente en la variable respuesta del mineral calcio para un rango de (25- 35) °C, por lo tanto, a nivel alto el factor T, el contenido de calcio es mucho mayor en el proceso de germinación. El factor θ (tiempo) no influye significativamente sobre el contenido de calcio, ya que la variación de calcio en función al nivel alto y bajo para este factor se encuentra entre los rangos (47,52 – 47,57) mg/100 g.

La figura 4.16 muestra las interacciones de los factores T (temperatura) y θ (tiempo) en función de la variable respuesta contenido de mineral calcio (mg/100 g).

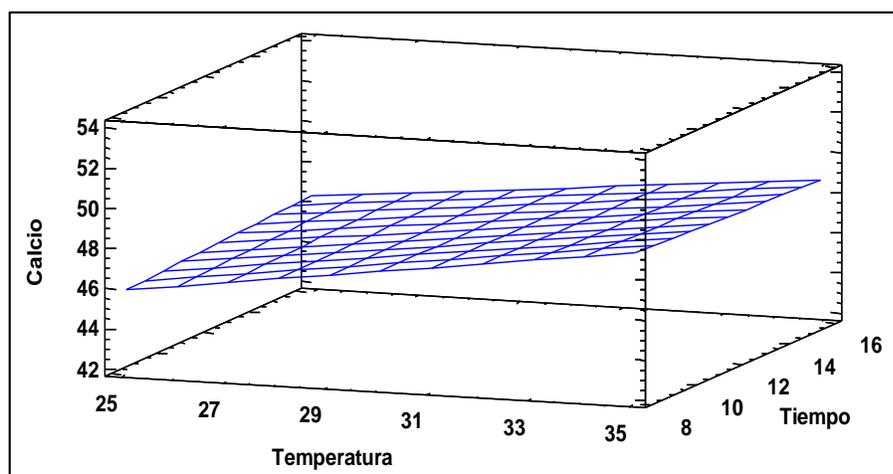


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.16: Interacciones de los factores para el contenido de calcio con el método de secado a la estufa

En la figura 4.16, se puede observar que contenido del mineral calcio (mg/100 g) para un rango de temperatura entre (25 – 35) °C, para el nivel alto de factor θ (tiempo) el contenido calcio de la harina malteada oscila entre (46,45 – 48,70) mg/100 g, mientras que para el nivel bajo el contenido de calcio oscila entre (45,85 – 45,20) mg/100 g, por lo tanto a mayor temperatura mayor contenido de mineral Calcio.

En la figura 4.17, se puede observar la superficie de respuesta estimada para la variable respuesta contenido del mineral calcio (mg/100 g), en función del factor T (temperatura) y factor θ (tiempo).

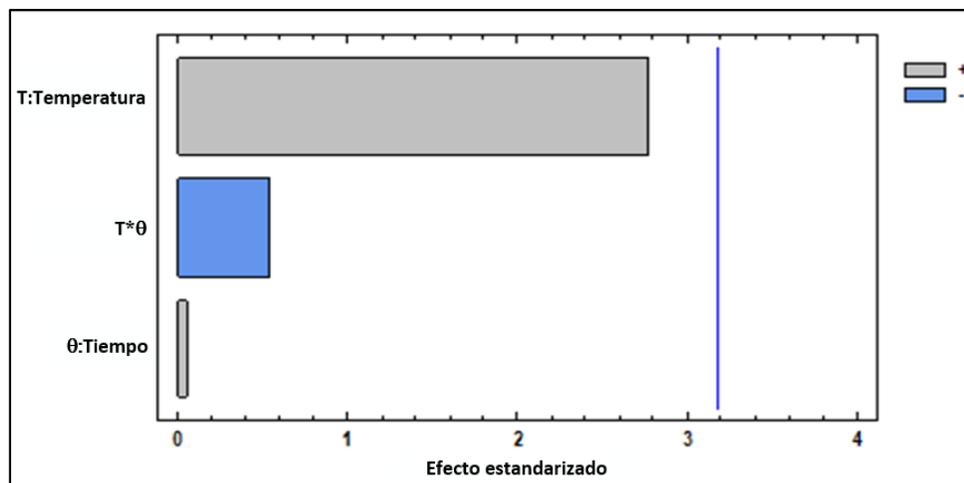


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.17: Superficie de respuesta estimada para el contenido de calcio con el método de secado a la estufa

En la figura 4.17, se puede observar la superficie de respuesta estimada para la variable respuesta calcio en función del factor T (temperatura) para un rango entre (25 – 35) °C y el factor θ (tiempo) para un rango entre (8 – 16) h, con la gráfica se puede estimar datos aproximados de los diferentes factores de control para la variable respuesta contenido del mineral calcio (mg/100 g).

La figura 4.18 muestra el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en el diseño factorial. Por lo tanto, el nivel de significancia de los factores e interacciones se determina con la línea vertical de referencia con valor de (3,20), de tal manera si las barras graficadas en el diagrama de Pareto para los factores (T y θ) e interacción (T* θ) exceden la línea de referencia, indican que son significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.18: Diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de calcio con el método de secado a la estufa

Según la figura 4.18, se puede observar que el factor a (temperatura), factor b (tiempo) y la interacción ab (temperatura – tiempo), no exceden la línea de referencia, por lo tanto, no son estadísticamente significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

En la tabla 4.21, se muestra los factores óptimos para el proceso de germinación del grano de quinua negra con secado por el método de la estufa, donde la variable respuesta es el contenido del mineral calcio (mg/100 g).

Tabla 4.21

Factores óptimos para calcio en el proceso de germinación con secado por el método de la estufa

Factor	Unidad	Bajo	Alto	Óptimo
T: Temperatura	°C	25,0	35,0	35,0
θ: Tiempo	h	8,0	16,0	8,0

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.21, se puede observar que los factores óptimos para el proceso de germinación son: Factor T (temperatura) es igual a 35,0 °C y factor θ (tiempo) es igual a 8,0 h, obteniendo el valor más óptimo para la variable respuesta contenido del mineral calcio (mg/100 g).

De acuerdo al análisis estadístico realizado para la variable respuesta contenido de calcio con método de secado a la estufa, se puede observar que para el factor θ (tiempo) e interacción T*θ (temperatura – tiempo), no existe diferencia significativa, sin embargo el factor T (temperatura), existe diferencia significativa, los factores óptimos de germinado son T = 35 °C y θ = 8 h.

4.5.2 Diseño factorial 2² en el proceso de germinación del grano de quinua negra con secado por el método al vacío

En la tabla 4.22, se observan los factores tiempo y temperatura e interacción de los factores en el proceso de germinación del grano de quinua negra con secado por el método al vacío y donde se muestran los resultados de la variable respuesta contenido de proteínas total en porcentaje (%) de datos extraídos del anexo B.3.

Tabla 4.22

Contenido de proteína total en proceso de germinación con secado por el método al vacío

Tratamiento	Factores		Interacción	Respuestas	
	T	θ	T*θ	Y1	Y2
(+1)	-	-	+	10,32	12,03
T	+	-	-	10,47	10,65
θ	-	+	-	9,19	9,84
T*θ	+	+	+	9,91	11,31

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.23, se observan los factores tiempo y temperatura e interacción de los factores en el proceso de germinación del grano de quinua negra con secado por el método al vacío, donde se muestran los resultados de la variable respuesta contenido del mineral calcio (mg/100 g), datos extraídos de anexo B.4.

Tabla 4.23

Contenido de calcio en proceso de germinación con secado por método al vacío

Tratamiento	Factores		Interacción	Respuestas	
	T	θ	T* θ	Y1	Y2
(+1)	-	-	+	48,3	39,5
T	+	-	-	49,4	49,2
θ	-	+	-	41,5	43
T* θ	+	+	+	47	52,9

Fuente: Elaboración propia

4.5.2.1 Análisis de varianza para la variable respuesta contenido de proteína total

La tabla 4.24 muestra los resultados obtenidos del análisis de varianza del diseño 2^2 en el proceso de germinación de la quinua negra con secado por el método al vacío donde la variable respuesta es el contenido de proteínas total en porcentaje (%).

Tabla 4.24

Análisis de varianza de la variable respuesta contenido de proteína con secado por el método al vacío

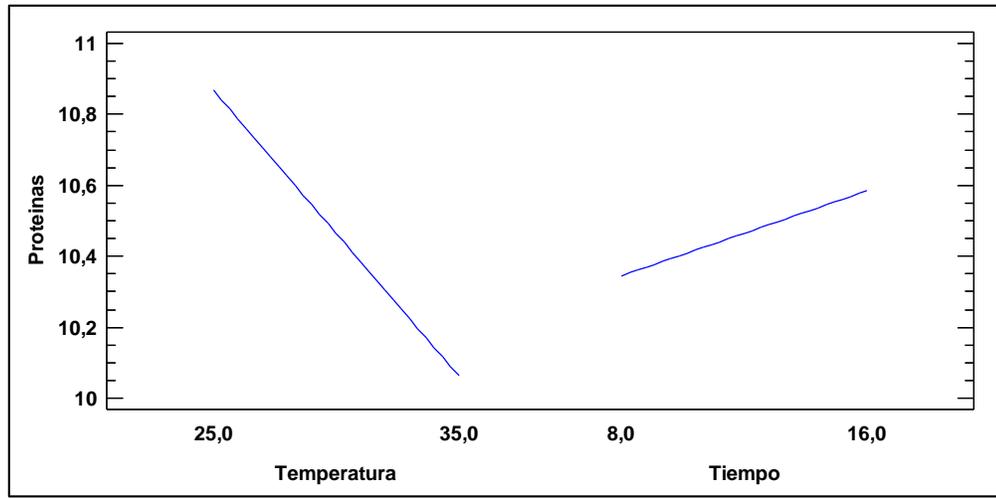
Fuente de varianza (FV)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrados medios (CM)	F _{cal}	F _{tab}
T: Temperatura	1,29605	1	1,29605	5,33	0,1041
θ : Tiempo	0,1152	1	0,1152	0,47	0,5406
T* θ	1,46205	1	1,46205	6,02	0,0915
Error total	0,72905	3	0,243017	-	-
Total	5,5428	7	-	-	-

Fuente: Elaboración Propia

Según el análisis de varianza (tabla 4.24), se puede observar que para el factor θ (tiempo), no existe diferencia significativa, ya que $F_{cal} < F_{tab}$, por lo tanto, se acepta la hipótesis planteada. Sin embargo el factor T (temperatura) e interacción T* θ (temperatura – tiempo), existe diferencia significativa, ya que $F_{cal} > F_{tab}$, por lo tanto, se

rechaza la hipótesis planteada para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. Por lo tanto el factor T e interacción T* θ es significativo en la etapa de germinación de grano de quinua negra con secado por el método al vacío.

En la figura 4.19, se muestra lo efectos principales de los factores temperatura (T) y tiempo (θ), con relación a la variable respuesta contenido de proteínas en porcentaje (%).

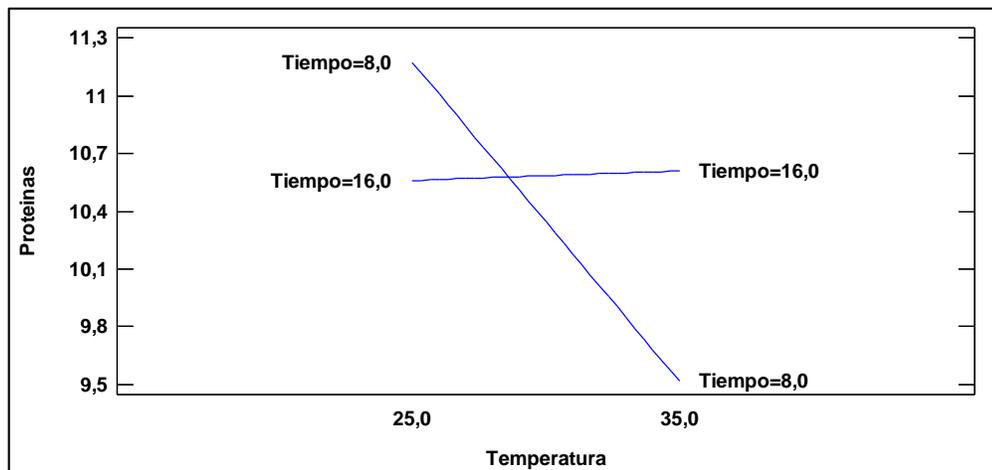


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.19: Efectos principales para el contenido de proteína con el método de secado al vacío

En la figura 4.19, se puede observar que el factor T (temperatura), con una rango de (25 – 35) °C, influye más significativamente sobre la variable respuesta contenido de proteína en porcentaje (%), por lo tanto, a nivel alto del factor (T) el contenido de proteína es mayor. Por otro lado el factor θ (tiempo), con un rango de (8 – 16) h, no influye significativamente sobre la variable respuesta de contenido de proteína, ya que la variación de proteína en función del nivel alto y bajo para este factor se encuentra entre los rangos de (10,33 – 10,59) %.

En la figura 4.20, se muestra las interacciones de los factores T (temperatura) y θ (tiempo) en función de la variable respuesta contenido de proteína en porcentaje (%).

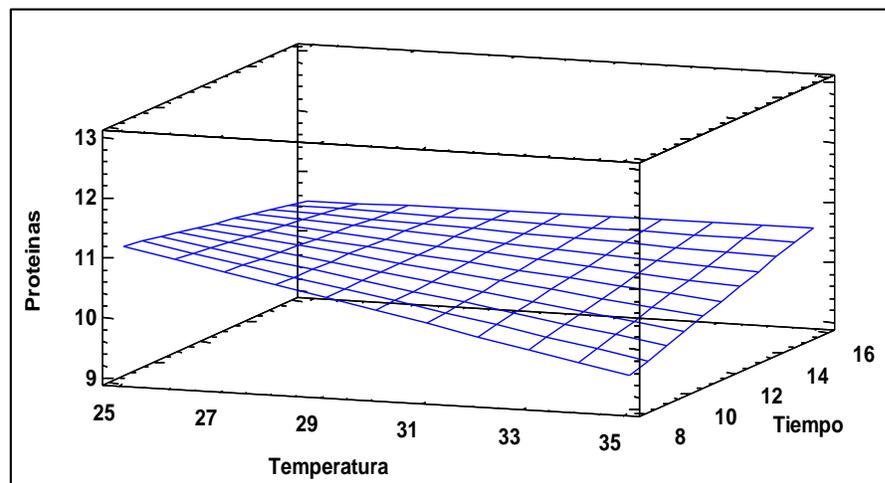


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.20: Interacciones de los factores para el contenido de proteína con el método de secado al vacío

En la figura 4.20, se puede observar que el contenido de proteína para un rango de temperatura entre (25 – 35) °C, para el nivel bajo del factor θ (tiempo), el contenido de proteína total oscila entre (11,18 – 9,47) %, mientras que para el nivel alto oscila entre (10,56 – 10,61) %, por lo tanto para un nivel bajo de los factores mayor contenido de proteínas.

En la figura 4.21, se puede observar la superficie de respuesta estimada para la variable respuesta contenido de proteína total en porcentaje (%), en función del factor T (temperatura) y factor θ (tiempo).

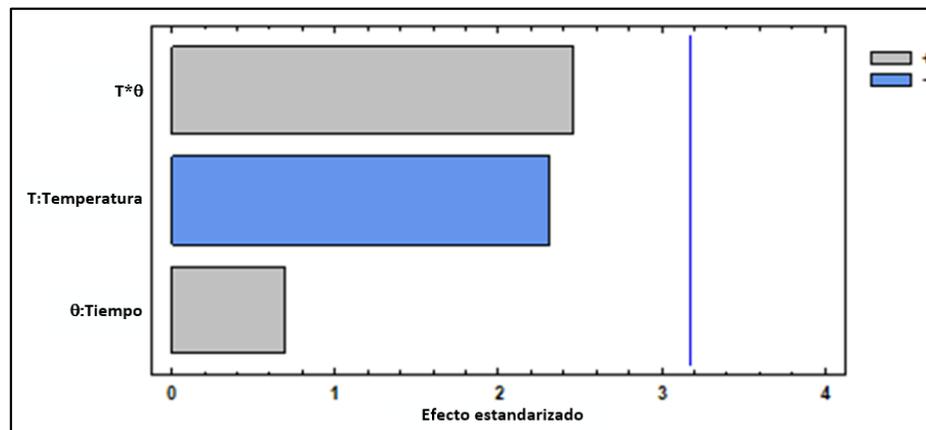


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.21: Superficie de respuesta estimada para proteína con el método de secado al vacío

En la figura 4.21, se puede observar la superficie de respuesta estimada para la variable respuesta proteína en función del factor T (temperatura) para un rango entre (25 – 35) °C y el factor θ (tiempo) para un rango entre (8 – 16) h, con la gráfica se puede estimar datos aproximados de los diferentes factores de control para la variable respuesta contenido de proteína total en porcentaje (%).

En la figura 4.22, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en el diseño factorial. Por lo tanto, el nivel de significancia de los factores e interacciones se determina con la línea vertical de referencia con valor de (3,20), de tal manera si las barras graficadas del diagrama de Pareto para los factores (T y θ) e interacción (T* θ) exceden la línea de referencia, indican que son significativos para un nivel de confianza $\alpha = 0,05$.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.22: Diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de proteína con el método de secado al vacío

Según la figura 4.22, se puede observar que el factor T (temperatura), factor θ (tiempo) y la interacción T* θ (temperatura – tiempo), no exceden la línea de referencia, por lo tanto, no son estadísticamente significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

En la tabla 4.25, se muestra los factores óptimos para el proceso de germinación del grano de quinua negra con secado por el método al vacío, donde la variable respuesta es el contenido de proteína total en porcentaje (%).

Tabla 4.25

Factores óptimos para proteínas en el proceso de germinación con secado por el método al vacío

Factor	Unidad	Bajo	Alto	Óptimo
T: Temperatura	°C	25,0	35,0	25,0
θ: Tiempo	h	8,0	16,0	8,0

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.25, se puede observar que los factores óptimos para el proceso de germinación son: factor T (temperatura) es igual a 25,0 °C y factor θ (tiempo) es igual a 8,0 h, obteniendo el valor más óptimo de la variable respuesta contenido de proteínas total en porcentaje (%).

Según el análisis estadístico realizado para la variable respuesta proteína con método de secado al vacío, el factor T e interacción T*θ es significativo en la etapa de germinación de grano de quinua negra con secado por el método al vacío, los factores óptimos para la germinación son T = 25 °C y θ = 8 h.

4.5.2.2 Análisis de varianza para la variable respuesta contenido de calcio

La tabla 4.26 muestra los resultados obtenidos del análisis de varianza del diseño 2² en el proceso de germinación de la quinua negra con secado por el método al vacío donde la variable respuesta es el contenido del mineral calcio (mg/100 g).

Tabla 4.26

Análisis de varianza de variable respuesta calcio con método secado al vacío

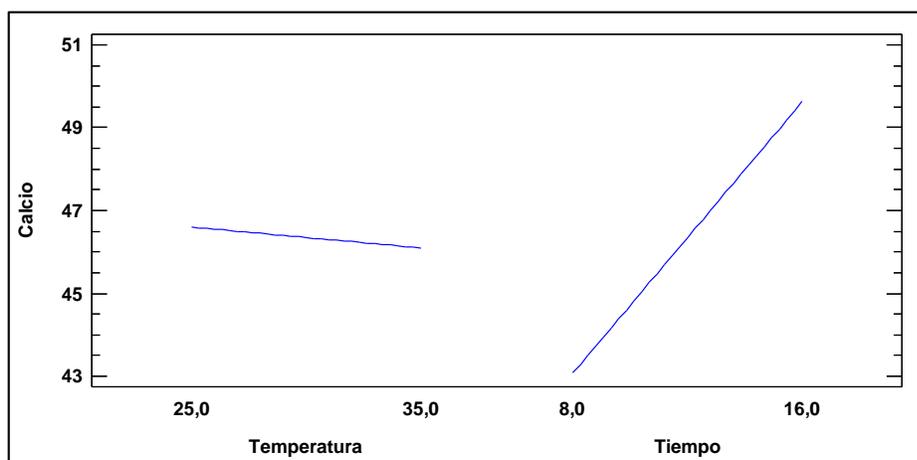
Fuente de varianza (FV)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrados medios (CM)	F _{cal}	F _{tab}
T: Temperatura	0,5	1	0,5	0,03	0,8814
θ: Tiempo	85,805	1	85,805	4,52	0,1235
T*θ	2,645	1	2,645	0,14	0,7338
Error total	56,95	3	18,9833	-	-
Total	146,22	7	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

Según el análisis de Varianza (tabla 4.26), se puede observar que para el factor T (temperatura) y la interacción T*θ (temperatura – tiempo), no existe diferencia significativa, ya que F_{cal} < F_{tab}, por lo tanto, se acepta la hipótesis planteada. Sin embargo

el factor θ (tiempo), existe diferencia significativa, ya que $F_{cal} > F_{tab}$, por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$, y el factor θ es significativo en la etapa de germinación de quinua negra con secado por el método al vacío.

En la figura 4.23, se muestra lo efectos principales de los factores temperatura (T) y tiempo (θ), con relación a la variable respuesta del mineral calcio (mg/100 g).

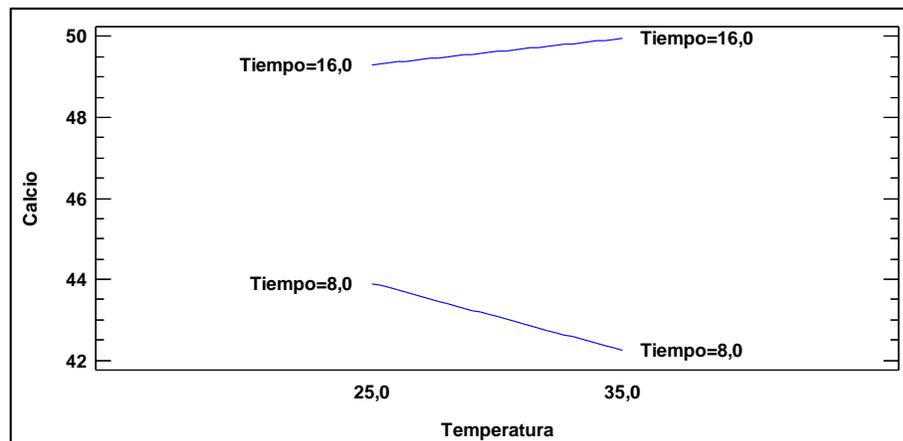


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.23: Efectos principales para el contenido de calcio con el método de secado al vacío

En la figura 4.23, se puede observar que el factor θ (tiempo), influye significativamente en la variable respuesta del mineral calcio para un rango de $(8 - 16) ^\circ\text{C}$, por lo tanto, a nivel alto el factor θ , el contenido de calcio aumenta en el proceso de germinación. El factor T (temperatura) no influye significativamente sobre el contenido del mineral calcio, ya que la variación del mineral calcio en función al nivel alto y bajo para este factor se encuentra entre los rangos $(46,6 - 46,1)$ mg/100 g.

La figura 4.24 muestra las interacciones de los factores T (temperatura) y θ (tiempo) en función de la variable respuesta contenido del mineral calcio (mg/100 g).

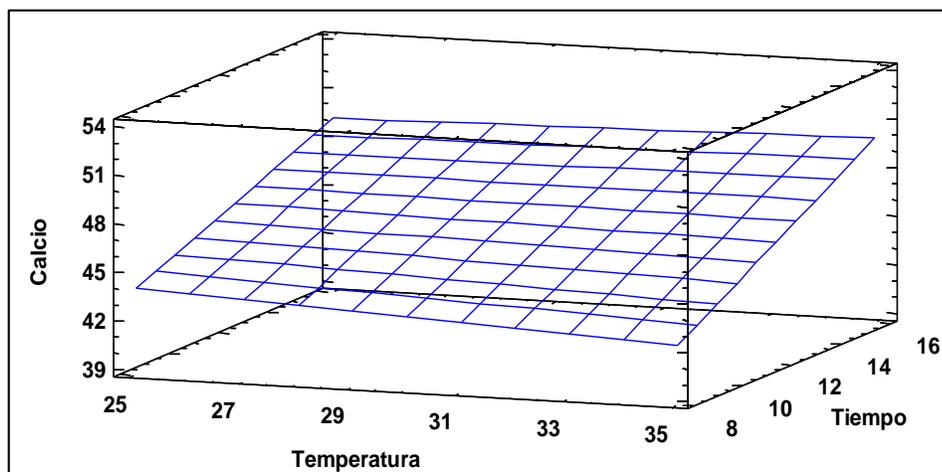


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.24: Interacciones de los factores para el contenido de calcio con el método de secado al vacío

En la figura 4.24, se puede observar que el contenido del mineral calcio (mg/100 g) para un rango de temperatura entre (25 – 35) °C, para el nivel alto de factor θ (tiempo) el mineral calcio de la harina malteada oscila entre (49,30 – 49,95) mg/100 g, mientras que para el nivel bajo el calcio oscila entre (49,90 – 42,25) mg/100 g, por lo tanto el tiempo influye de gran manera para el contenido de mineral calcio.

En la figura 4.25, se puede observar la superficie de respuesta estimada para la variable respuesta contenido del mineral calcio (mg/100 g), en función del factor T (temperatura) y factor θ (tiempo).

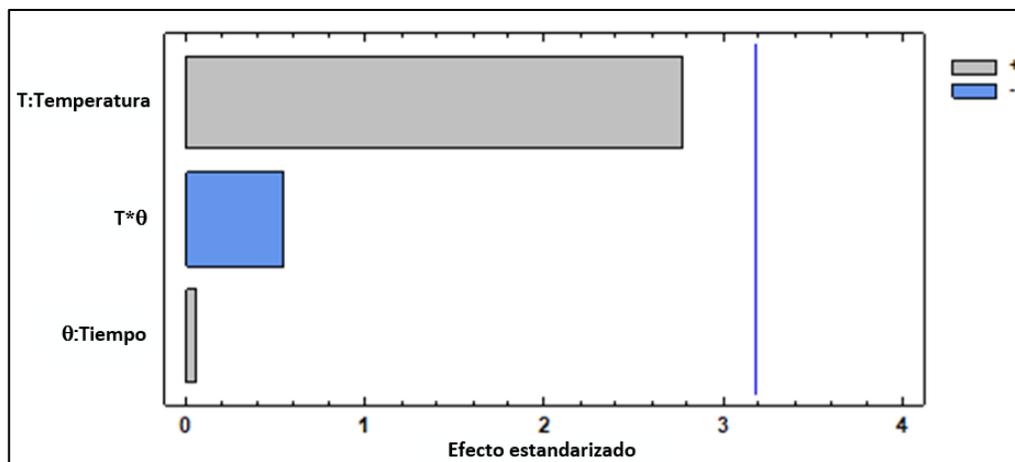


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.25: Superficie de respuesta estimada para el contenido de calcio con el método de secado al vacío

En la figura 4.25, se puede observar la superficie de respuesta estimada para la variable respuesta calcio en función del factor T (temperatura) para un rango entre (25 – 35) °C y el factor θ (tiempo) para un rango entre (8 – 16) h, con la gráfica se puede estimar datos aproximados a diferentes factores a controlar para la variable respuesta contenido del mineral calcio (mg/100 g).

La figura 4.26 muestra el diagrama de Pareto estandarizado para los factores analizados en el diseño factorial. Por lo tanto, el nivel de significancia de los factores e interacciones se determina con la línea vertical de referencia con valor de (3,20), de tal manera si las barras graficadas en el diagrama de Pareto para los factores (T y θ) e interacción (T* θ) exceden la línea de referencia, indican que son significativos para un nivel de confianza $\alpha = 0,05$.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.26: Diagrama de Pareto estandarizado para el contenido de calcio con el método de secado al vacío

Según la figura 4.26, se puede observar que el factor T (temperatura), factor θ (tiempo) y la interacción T* θ (temperatura – tiempo), no exceden la línea de referencia, por lo tanto, no son estadísticamente significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

En la tabla 4.27, se muestra los factores óptimos para el proceso de germinación del grano de quinua negra con secado por el método al vacío, donde la variable respuesta es el contenido del mineral calcio (mg/100 g).

Tabla 4.27*Factores óptimos para calcio en proceso de germinación con secado método al vacío*

Factor	Unidad	Bajo	Alto	Óptimo
T: Temperatura	°C	25,0	35,0	35,0
θ : Tiempo	h	8,0	16,0	16,0

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.27, se puede observar que los factores óptimos para el proceso de germinación son: factor T (temperatura) es igual a 35,0 °C y factor θ (tiempo) es igual a 16,0 h, obteniendo el valor más óptimo para la variable respuesta contenido del mineral calcio (mg/100 g).

Según el análisis estadístico realizado para la variable respuesta contenido de calcio con método de secado al vacío, el factor θ es significativo en la etapa de germinación de quinua negra con secado por el método al vacío, los factores óptimos en la germinación son T = 35 °C y θ = 16 h.

4.6 Análisis fisicoquímicos y minerales de harina malteada de quinua negra

Los análisis fisicoquímicos y minerales de la harina malteada de quinua negra, se realizaron en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), en los cuales se utilizaron el factor a (temperatura) 35 °C y factor b (tiempo) 16 h, utilizando el método de secado de estufa, cuyos resultados obtenidos se detallan a continuación:

4.6.1 Análisis fisicoquímicos de harina malteada de quinua negra

En la tabla 4.28, se puede observar los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico (proteína total) realizado en la harina malteada entera y fina de la quinua negra, el método de secado empleado fue en estufa, cuyos datos fueron extraídos de las tablas A.2.22 y A.2.23 del (Anexo A).

Tabla 4.28*Análisis fisicoquímico de la harina malteada de quinua negra*

Tipo de harina	Unidad	Proteína total (Nx6,25)
Harina malteada entera	%	13,00
Harina malteada fina	%	12,09

Fuente: CEANID, 2022

La tabla 4.28 muestra los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico (proteína total) y cuyos resultados son: harina malteada entera de quinua negra 13,00 %; harina malteada fina de quinua negra 12,09 %.

Según la clasificación más utilizada en Europa según (Sifre et al., 2019), “se basa en la cantidad de gluten o proteínas que tiene la harina” (Pág. 6). Por lo tanto, se puede clasificar la harina malteada entera de quinua negra como harina extra fuerte y la harina malteada fina de quinua negra como harina fuerte.

4.6.2 Análisis de minerales de harina malteada de quinua negra

En la tabla 4.29, se puede observar los resultados obtenidos de los análisis de minerales realizado en la harina malteada entera y harina malteada fina de quinua negra, el método de secado empleado fue en estufa y cuyos datos fueron extraídos de las tablas A.2.22 y A.2.23 del (Anexo A).

Tabla 4.29

Análisis de minerales en la harina malteada de quinua negra

Tipo de harina	Unidad	Calcio	Fosforo
Harina malteada entera	mg/100 g	50,9	76,4
Harina malteada fina	mg/100 g	56,9	63,0

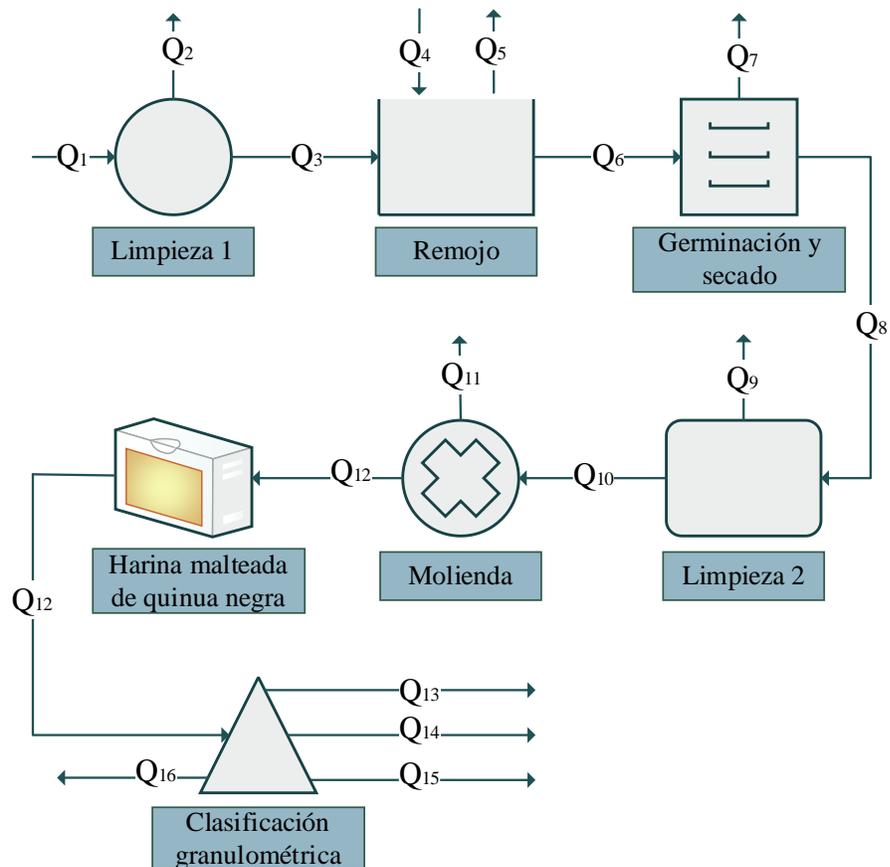
Fuente: CEANID, 2022

Como se puede observar en la tabla 4.29, se muestran que los resultados obtenidos de los análisis de minerales y cuyos resultados son:

- ⇒ Harina malteada de quinua negra: calcio 50,9 mg/100 g y fósforo 76,4 mg/100 g.
- ⇒ Harina malteada fina de quinua negra: calcio 56,9 mg/100 g y fósforo 63,0 mg/100 g.

4.7 Balance de materia en el proceso de obtención de harina malteada de quinua negra

El balance de materia del proceso de obtención de harina malteada de quinua negra con secado por métodos de estufa y vacío, se utiliza una base de cálculo de 1000,00 g de quinua negra de acuerdo al diagrama de flujo de la figura 4.27.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.27: Diagrama de flujo del balance de materia en el proceso de obtención de harina malteada de quinua negra.

Donde:

Q_1 = Quinua negra (g)

Q_9 = Raicillas (g)

Q_2 = Palitos, piedrecillas, etc (g)

Q_{10} = Quinua negra malteada limpia (g)

Q_3 = Quinua negra acondicionada (g)

Q_{11} = Pérdidas en la molienda (g)

Q_4 = Agua purificada de mesa (g)

Q_{12} = Harina malteada de quinua negra (g)

Q_5 = Agua residual (g)

Q_{13} = Harina malteada gruesa (g)

Q_6 = Quinua negra remojada (g)

Q_{14} = Harina malteada semi gruesa (g)

Q_7 = Vapor de agua (g)

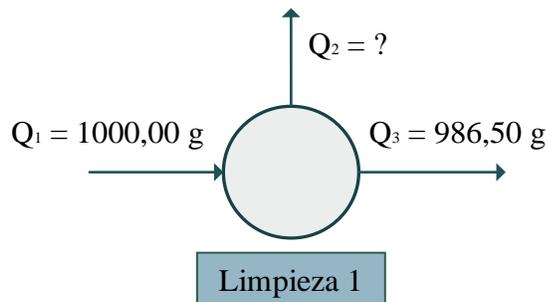
Q_{15} = Harina malteada fina (g)

Q_8 = Quinua negra malteada (g)

Q_{16} = Pérdidas en el tamizado (g)

4.7.1 Balance de materia en la etapa de limpieza 1 del grano de quinua negra

En la figura 4.28, se muestra el proceso de Limpieza 1 que se realizó de forma manual al grano de quinua negra.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.28: Etapa de limpieza 1 del grano de quinua negra

Balance de materia global en la etapa de limpieza de grano de quinua negra:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad (\text{Ecuación 4.1})$$

De la ecuación 4.1, despejamos Q_2 y se obtiene:

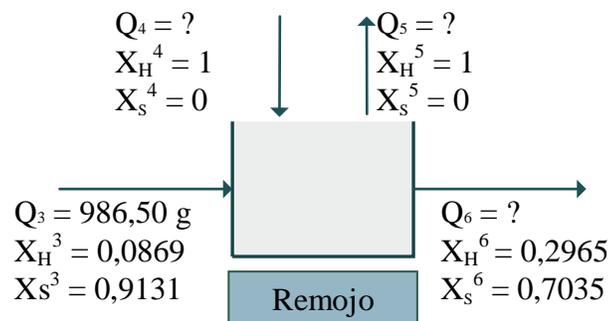
$$Q_2 = Q_1 - Q_3$$

$$Q_2 = 1000,00 \text{ g} - 986,50 \text{ g}$$

$$Q_2 = 13,50 \text{ g}$$

4.7.2 Balance de materia en la etapa de remojo del grano de quinua negra

En la figura 4.29, se muestra el proceso de remojo del grano de quinua negra.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.29: Etapa de remojo del grano de quinua negra

Donde:

X_S^3 = Fracción porcentual de los sólidos solubles de los granos de quinua negra.

X_H^3 = Fracción porcentual del agua de los granos de quinua negra.

X_S^4 = Fracción porcentual de los sólidos solubles de agua purificada de mesa.

X_H^4 = Fracción porcentual del agua de agua purificada de mesa.

X_S^5 = Fracción porcentual de los sólidos solubles del agua residual.

X_H^5 = Fracción porcentual del agua del agua residual.

X_S^6 = Fracción porcentual de los sólidos solubles de los granos de quinua negra remojados.

X_H^6 = Fracción porcentual del agua de los granos de quinua negra remojada.

Calculo de la cantidad de agua purificada de mesa a utilizar (Bravo et al., 2013).

$$A = \left[\frac{100-H_i}{100-H_f} - 1 \right] \times \text{cantidad de muestra en gramos} \quad (\text{Ecuación 4.2})$$

Dónde:

H_i = Humedad inicial de la muestra (%)

H_f = Humedad final de la muestra (%)

A = Cantidad de agua (g)

En la ecuación 4.2, reemplazamos datos.

$$A = \left[\frac{100 - 8,69}{100 - 40,00} - 1 \right] \times 1000 \text{ g}$$

$$A = 521,83 \text{ g} = Q_4$$

Balance de materia global en la etapa de remojo del grano de quinua negra.

$$Q_3 + Q_4 = Q_5 + Q_6 \quad (\text{Ecuación 4.3})$$

Balance parcial para el agua en la etapa de remojo del grano de quinua negra.

$$Q_3 \times H_3 + Q_4 \times H_4 = Q_5 \times H_5 + Q_6 \times H_6 \quad (\text{Ecuación 4.4})$$

Balance parcial para el sólido en la etapa de remojo del grano de quinua negra.

$$Q_3 \times S_3 + Q_4 \times S_4 = Q_5 \times S_5 + Q_6 \times S_6 \quad (\text{Ecuación 4.5})$$

En la ecuación 4.5, como Q_4 y Q_5 no tiene sólidos, la ecuación queda de la siguiente manera.

$$Q_3 \times S_3 = Q_6 \times S_6 \quad (\text{Ecuación 4.6})$$

En la ecuación 4.6, despejamos Q_6 y reemplazamos valores.

$$Q_6 = \frac{Q_3 \times S_3}{S_6}$$

$$Q_6 = \frac{986,50 \text{ g} \times 0,9131}{0,7035}$$

$$Q_6 = 1280,42 \text{ g de granos de quinua remojada}$$

En la ecuación 4.3, se despeja Q_5 y se reemplaza valores.

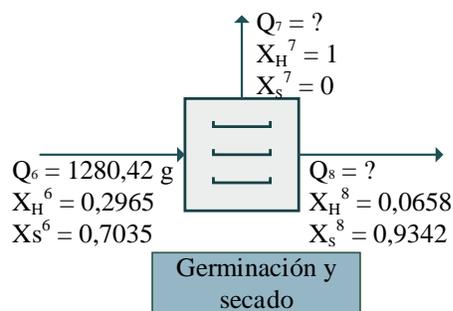
$$Q_5 = Q_3 + Q_4 - Q_6$$

$$Q_5 = 986,50 \text{ g} + 521,83 \text{ g} - 1280,42 \text{ g}$$

$$Q_5 = 227,91 \text{ g de agua residual}$$

4.7.3 Balance de materia en la etapa de germinación y secado del grano malteado de quinua negra

En la figura 4.30, se muestra la etapa de germinación y secado de los granos malteados de quinua negra.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.30: Etapa de germinación y secado del grano malteado de quinua negra

Donde:

X_S^6 = Fracción porcentual de los sólidos solubles de los granos remojados de quinua negra.

X_H^6 = Fracción porcentual del agua de los granos remojados de quinua negra.

X_H^7 = Fracción porcentual de los sólidos solubles del vapor de agua.

X_S^7 = Fracción porcentual del agua del vapor de agua.

X_H^8 = Fracción porcentual de los sólidos solubles de los granos malteados de quinua negra.

X_S^8 = Fracción porcentual del agua de los granos malteados de quinua negra.

Balance de materia global en la etapa de germinación y secado del grano de quinua negra.

$$Q_6 = Q_7 + Q_8 \quad (\text{Ecuación 4.7})$$

Balance parcial para el agua en la etapa de germinación y secado del grano de quinua negra.

$$Q_6 \times H_6 = Q_7 \times H_7 + Q_8 \times H_8 \quad (\text{Ecuación 4.8})$$

Balance parcial para el sólido en la etapa de germinación y secado del grano de quinua negra.

$$Q_6 \times S_6 = Q_7 \times S_7 + Q_8 \times S_8 \quad (\text{Ecuación 4.9})$$

En la ecuación 4.9, como Q_7 no tiene sólidos, la ecuación queda de la siguiente manera.

$$Q_6 \times S_6 = Q_8 \times S_8 \quad (\text{Ecuación 4.10})$$

En la ecuación 4.10, se despeja Q_8 y se reemplaza valores.

$$Q_8 = \frac{Q_6 \times S_6}{S_8}$$

$$Q_8 = \frac{1280,42 \text{ g} \times 0,7035}{0,9342}$$

$Q_8 = 964,22$ g de granos de quinua remojada

En la ecuación 4.7, se despeja Q_7 y reemplazamos valores.

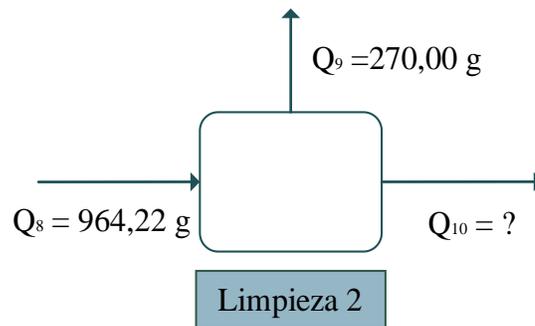
$$Q_7 = Q_6 - Q_8$$

$$Q_7 = 1280,42 \text{ g} - 964,22 \text{ g}$$

$$Q_7 = 316,20 \text{ g de vapor de agua}$$

4.7.4 Balance de materia en la etapa de limpieza 2 del grano malteado de quinua negra

En la figura 4.31, se muestra la etapa de limpieza 2 de los granos malteados de quinua negra.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.31: Etapa de limpieza 2 del grano malteado de quinua negra

Balance de materia global en la etapa de Limpieza 2 del grano de quinua negra.

$$Q_8 = Q_9 + Q_{10} \quad (\text{Ecuación 4.11})$$

En la ecuación 4.11, despejamos Q_{10} y reemplazamos valores.

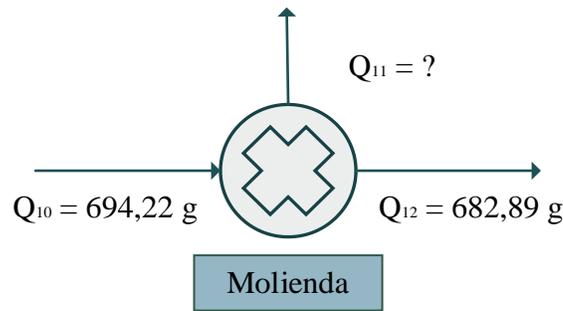
$$Q_{10} = Q_8 - Q_9$$

$$Q_{10} = 964,22 \text{ g} - 270,00 \text{ g}$$

$$Q_{10} = 694,22 \text{ g de granos de quinua negra malteada limpio}$$

4.7.5 Balance de materia en la etapa de molienda de los granos malteados de quinua negra

En la figura 4.32, se muestra la etapa de molienda del grano malteado de quinua negra para la obtención de harina malteada.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.32: Etapa de molienda de los granos malteados de quinua negra

Balance de materia global en la etapa de molienda del grano malteado de quinua negra.

$$Q_{10} = Q_{11} + Q_{12} \quad (\text{Ecuación 4.12})$$

En la ecuación 4.12, se despeja Q_{11} y se reemplaza valores.

$$Q_{11} = Q_{10} - Q_{12}$$

$$Q_{11} = 694,22 \text{ g} - 682,89 \text{ g}$$

$$Q_{11} = 11,33 \text{ g de pérdidas en la molienda}$$

Con la ecuación 4.13, se calcula el porcentaje de pérdidas en el proceso de molienda.

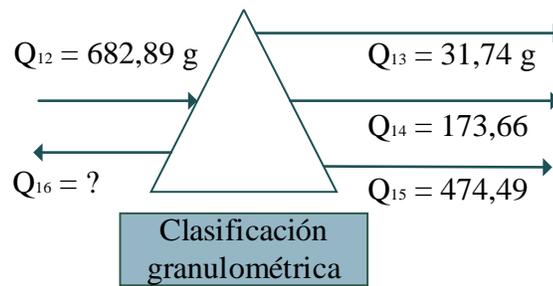
$$\% \text{ Pérdidas} = \frac{Q_{11}}{Q_{10}} \times 100 \% \quad (\text{Ecuación 4.13})$$

$$\% \text{ Pérdidas} = \frac{11,33 \text{ g}}{694,22 \text{ g}} \times 100 \%$$

$$\% \text{ Pérdidas} = 1,63 \% \text{ de pérdidas en el proceso de molienda}$$

4.7.6 Balance de materia en la etapa de clasificación granulométrica de la harina malteada de quinua negra

En la figura 4.33, se muestra la etapa de clasificación granulométrica de la harina malteada de quinua negra.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.33: Etapa de clasificación granulométrica de harina malteada de quinua negra

Balance de materia global en la etapa de clarificación granulométrica de la harina malteada de quinua negra.

$$Q_{12} = Q_{13} + Q_{14} + Q_{15} + Q_{16} \quad (\text{Ecuación 4.14})$$

De la ecuación 4.14, se despeja Q_{16} y se reemplaza los datos.

$$Q_{16} = Q_{12} - Q_{13} - Q_{14} - Q_{15}$$

$$Q_{16} = 682,89 \text{ g} - 32,74 \text{ g} - 174,66 \text{ g} - 475,46 \text{ g}$$

$$Q_{16} = 3,00 \text{ g de pérdidas en el tamizado}$$

Con la ecuación 4.15, se calcula el porcentaje de harina malteada gruesa.

$$\% \text{ Harina malteada gruesa} = \frac{Q_{13}}{Q_{12}} \times 100 \% \quad (\text{Ecuación 4.15})$$

$$\% \text{ Harina malteada gruesa} = \frac{31,74 \text{ g}}{682,89 \text{ g}} \times 100 \%$$

$$\% \text{ Harina malteada gruesa} = 4,65 \%$$

Se calcula el porcentaje de harina malteada semi gruesa con la ecuación 4.16.

$$\% \text{ Harina malteada semi gruesa} = \frac{Q_{14}}{Q_{12}} \times 100 \% \quad (\text{Ecuación 4.16})$$

$$\% \text{ Harina malteada semi gruesa} = \frac{173,66 \text{ g}}{682,89 \text{ g}} \times 100 \%$$

$$\% \text{ Harina malteada semi gruesa} = 25,43 \%$$

Se calcula el porcentaje de harina malteada fina con la ecuación 4.17.

$$\% \text{ Harina malteada fina} = \frac{Q_{15}}{Q_{12}} \times 100 \% \quad (\text{Ecuación 4.17})$$

$$\% \text{ Harina malteada fina} = \frac{474,49 \text{ g}}{682,89 \text{ g}} \times 100 \%$$

$$\% \text{ Harina malteada fina} = 69,48 \%$$

Se calcula las pérdidas en la etapa de clasificación granulométrica de harina malteada con la ecuación 4.18.

$$\% \text{ Pérdidas} = \frac{Q_{16}}{Q_{12}} \times 100 \% \quad (\text{Ecuación 4.18})$$

$$\% \text{ Pérdidas} = \frac{3,00 \text{ g}}{682,89 \text{ g}} \times 100 \%$$

$$\% \text{ Pérdidas} = 0,44 \% \text{ de pérdidas en el tamizado}$$

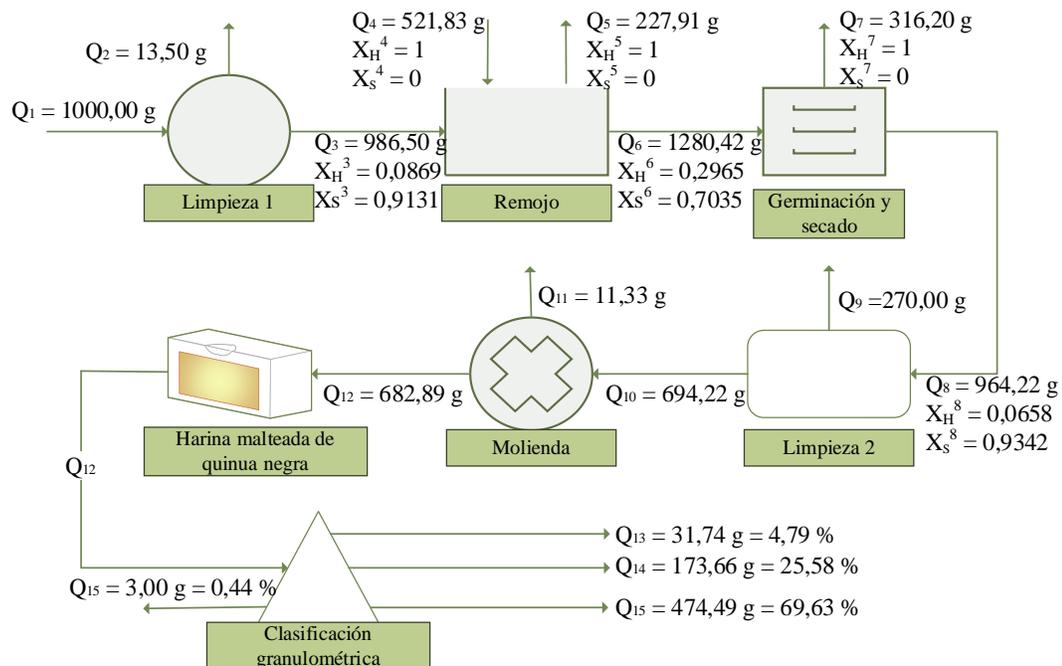
Se calcula el rendimiento de harina malteada para 1000,00 g de granos de quinua negra con la ecuación 4.19.

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{Q_{13} + Q_{14} + Q_{15}}{Q_1} \times 100 \% \quad (\text{Ecuación 4.19})$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{32,74 \text{ g} + 174,66 \text{ g} + 475,49 \text{ g}}{1000,00 \text{ g}} \times 100 \%$$

$$\% \text{ Rendimiento} = 68,29 \% \text{ de harina malteada de quinua negra}$$

En la figura 4.34, se muestra el resumen de los resultados obtenidos del balance de materia general en el proceso de elaboración de harina malteada de quinua negra.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.34: Resumen del balance de materia en el proceso de obtención de harina malteada de quinua negra.

4.8 Balance de energía en la etapa de germinación de los granos de quinua negra

Para la etapa de germinación de los granos de quinua negra, se utilizó una incubadora con potencia eléctrica de 745,70 W por un tiempo de 8 h y 16 h. en la figura 4.35, se muestra el diagrama para determinar la energía eléctrica requerida para la incubadora en la etapa de germinación.

$$P = 745,7 \text{ W}$$

$$T_1 = 8 \text{ h}$$

$$T_2 = 16 \text{ h}$$

$$E = ?$$



Germinación

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.35: Balance de energía en la etapa de germinación

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

$$E = P \times \theta \quad (\text{Ecuación 4.20})$$

Donde:

E = Energía eléctrica (W/h)

P = Potencia (W)

θ = Tiempo (h)

Convirtiendo de W a Kcal/h.

$$745,70 \text{ W} \times \frac{928,63 \text{ kcal/h}}{1080 \text{ W}} = 641,18 \text{ Kcal/h}$$

Reemplazando los datos en la ecuación 4.20 para un tiempo de germinación de 8 h.

$$E = 641,18 \text{ Kcal/h} \times 8 \text{ h}$$

$$E = 5129,44 \text{ Kcal}$$

Reemplazando los datos en la ecuación 4.20 para un tiempo de germinación de 16 h.

$$E = 641,18 \text{ Kcal/h} \times 16 \text{ h}$$

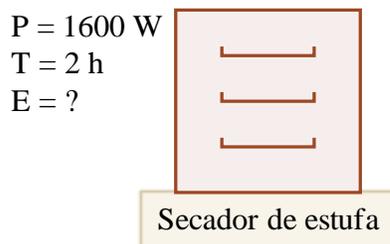
$$E = 10258,88 \text{ Kcal}$$

4.9 Balance de energía en la etapa de secado de los granos germinados de quinua negra

La etapa de secado se la realizo por dos métodos, métodos de secado en la estufa y método de secado al vacío.

4.9.1 Balance de energía en la etapa de secado por el método de la estufa de los granos germinados de quinua negra

Para la etapa de secado por el método de la estufa de los granos germinados de quinua negra, se utilizó una estufa con potencia eléctrica de 1600 W por un tiempo de 2 h. en la figura 4.36, se muestra el diagrama para determinar la energía eléctrica requerida para la estufa en la etapa de secado.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.36: Balance de energía en la etapa de secado por estufa

Convirtiendo de W a Kcal/h.

$$1600,00 \text{ W} \times \frac{928,63 \text{ Kcal/h}}{1080 \text{ W}} = 1375,75 \text{ Kcal/h}$$

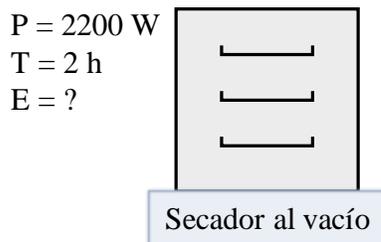
Reemplazando los datos en la ecuación 4.20 para un tiempo de secado de 2 h.

$$E = 1375,75 \text{ Kcal/h} \times 2 \text{ h}$$

$$E = 2751,50 \text{ Kcal}$$

4.9.2 Balance de energía en la etapa de secado por el método al vacío de los granos germinados de quinua negra

Para la etapa de secado por el método al vacío de los granos germinados de quinua negra, se utilizó un secador al vacío con potencia eléctrica de 2200 W por un tiempo de 2 h. en la figura 4.37, se muestra el diagrama para determinar la energía eléctrica requerida para la estufa en la etapa de secado.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.37: Balance de energía en la etapa de secado al vacío

Convirtiendo de W a Kcal/h.

$$2200 \text{ W} \times \frac{928,63 \text{ kcal/h}}{1080 \text{ W}} = 1891,65 \text{ Kcal/h}$$

Reemplazando los datos en la ecuación 4.20 para un tiempo de secado de 2 h.

$$E = 1891,65 \text{ Kcal/h} \times 2 \text{ h}$$

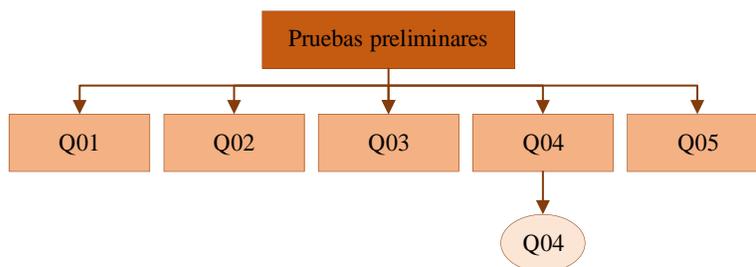
$$E = 3783,31 \text{ Kcal}$$

4.10 Aplicación de la harina malteada de quinua negra

Para la aplicación de la harina malteada de quinua negra, se toma en cuenta pruebas preliminares para la elaboración de galletas a base de harina malteada y trigo.

4.10.1 Pruebas preliminares para la elaboración de galletas

Para el desarrollo de la parte experimental de la aplicación de la harina malteada de quinua negra, se realiza cinco pruebas preliminares incorporando harina de trigo y harina malteada de quinua negra, donde las muestras (Q01, Q02) presenta 10 % de manteca vegetal, la muestra (Q03) presenta 22,5 % de mantequilla margarina y la muestra (Q04, Q05) presenta 20 % de manteca vegetal. Posteriormente, en base a las cinco pruebas preliminares se tomó en cuenta una muestra ideal para la obtención de galletas. La figura 4.38 muestra las pruebas preliminares que se realizaron para encontrar la muestra ideal.

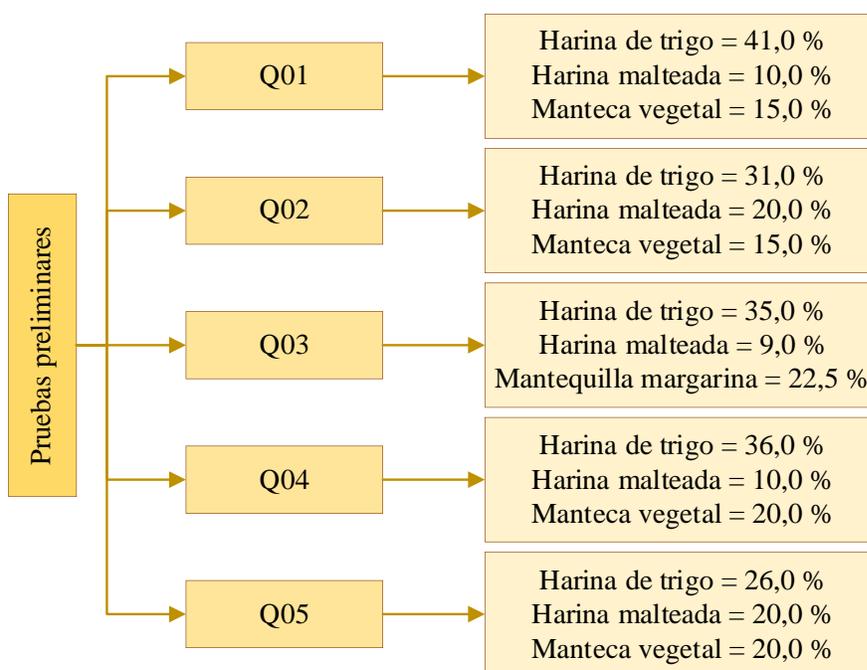


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.38: Pruebas preliminares para la elaboración de galletas

4.10.2 Variación porcentual en la formulación de pruebas preliminares para la elaboración de galletas

En la figura 4.39, se muestra las formulaciones de las 5 pruebas preliminares en porcentajes de harina malteada de quinua negra, harina de trigo, manteca vegetal y mantequilla margarina utilizados para la elaboración de galletas.



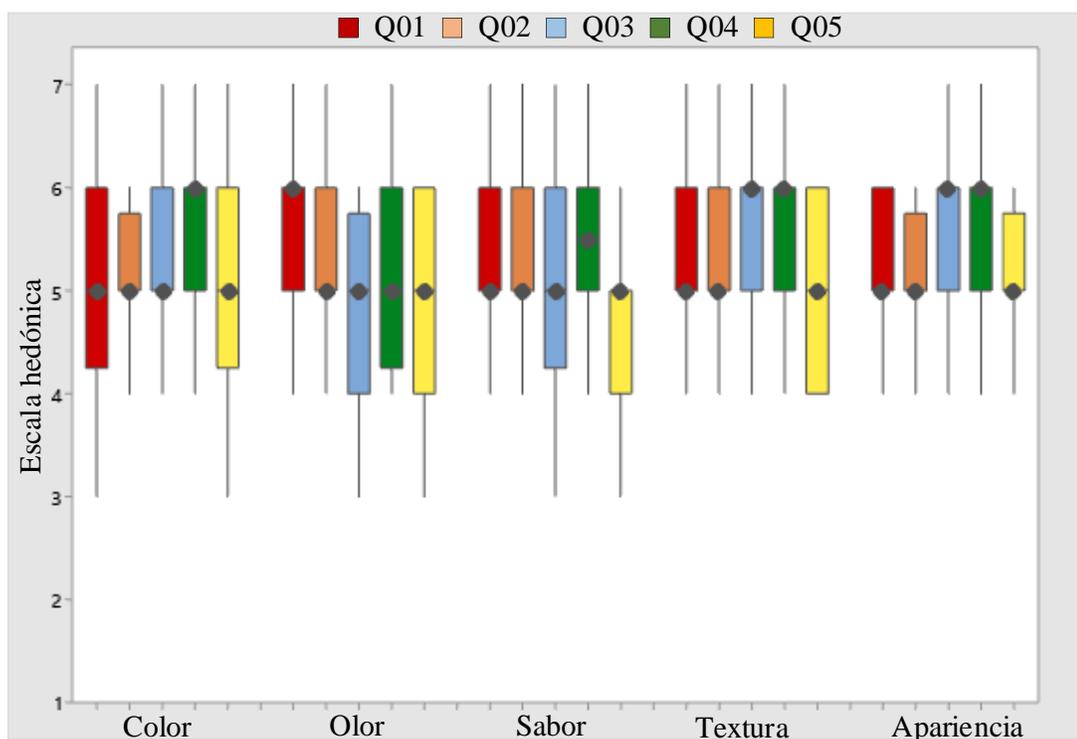
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.39: Formulación de las pruebas preliminares para la elaboración de galletas

La figura 4.39 muestra las pruebas preliminares (Q01, Q02, Q03, Q04, Q05), fueron evaluadas sensorialmente con escala hedónica de siete puntos, valorando los atributos color, olor, sabor, textura y apariencia con el fin de obtener la muestra ideal de galletas.

4.10.2.1 Estadístico caja y bigote para para las pruebas preliminares para la elaboración de galletas

En la figura 4.40, se muestran los estadísticos de caja y bigote en función de los atributos color, olor, sabor, textura y sabor.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.40: Caja y bigote de pruebas preliminares para la elaboración de galletas

Según la figura 4.40, se puede observar los resultados de las medianas en función de los atributos de la muestra ideal es la Q04, con los siguientes resultados: Color 6,0; Olor 5,0; sabor 5,5; textura 6,0 y apariencia 6,0.

4.11 Análisis fisicoquímicos y minerales de la galleta con harina malteada de quinua negra

Los análisis fisicoquímicos y minerales de la galleta con harina malteada de quinua negra, se realizaron en el Centro de Análisis y Desarrollo (CEANID).

4.11.1 Análisis fisicoquímicos de la galleta con harina malteada de quinua negra

En la tabla 4.30, se puede observar los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos en la galleta con harina malteada de quinua negra y los datos fueron extraídos de la tabla A.2.24 del (Anexo A).

Tabla 4.30***Análisis fisicoquímicos en la galleta con harina malteada de quinua negra***

Parámetros	Unidades	Resultados
Cenizas	%	4,89
Fibra	%	1,78
Grasa	%	18,55
Hidratos de carbono	%	61,64
Humedad	%	3,18
Proteína total (Nx6,25)	%	10,12
Valor energético	Kcal/100 g	453,35

Fuente: CEANID, 2022

La tabla 4.30 muestran los resultados que se obtienen de los análisis fisicoquímicos en la galleta con harina malteada de quinua negra, los datos son los siguientes: cenizas 4,89%; fibra 1,78%; grasa 18,55%; hidratos de carbono 61,64%; humedad 3,18%; proteína total 10,12% y valor energético 453,35 Kcal/100g.

4.11.2 Análisis de minerales de la galleta con harina malteada de quinua negra

En la tabla 4.31, se puede observar los resultados obtenidos de los análisis de minerales de la galleta con harina malteada de quinua negra y los datos fueron extraídos de la tabla A.24 (Anexo A).

Tabla 4.31***Análisis de minerales en la galleta con harina malteada de quinua negra***

Minerales	Unidades	Resultados
Calcio	mg/100 g	119,00
Potasio	mg/100 g	206,00

Fuente: CEANID, 2022

La tabla 4.31 muestra los resultados que se obtienen de los análisis de minerales de la galleta con harina malteada de quinua negra, los datos son los siguientes: calcio 119,00 mg/100 g y potasio 206,00 mg/100 g.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Las conclusiones del presente trabajo de investigación, se mencionan a continuación:

- De acuerdo a la clasificación granulométrica del grano de quinua negra de diez muestras de 500 g, se obtiene los siguientes resultados en porcentajes (%): granos extra grandes 3,40 %, granos grandes 77,31 %, granos medianos 17,12 % y granos pequeños 2,16 %; siendo los granos grandes de quinua negra procesables utilizados para el presente trabajo.
- Según los análisis fisicoquímicos realizados a los granos de quinua negra, indican los siguientes resultados: cenizas 3,42%; fibra 7,34%; grasa 4,13%; hidratos de carbono 64,35%; humedad 8,69%; proteína total 12,07% y valor energético 342,85 Kcal/100 g, datos extraídos de la tabla A.2.1 (anexo A).
- Los análisis de minerales en los granos de quinua negra, presentan los siguientes resultados: calcio 46,0 mg/100 g; fósforo 813,0 mg/100 g y hierro 5,5 mg/100 g, datos extraídos de la tabla A.2.1 (anexo A).
- De acuerdo a las pruebas preliminares de remojo para el proceso de germinado del grano de quinua negra, se prepararon muestras con un remojo entre (40 – 45) % de humedad, el porcentaje de humedad en el proceso de germinación del grano de quinua negra no tiene mucha significancia.
- Para las pruebas preliminares de germinación del grano de quinua negra se controla la temperatura entre (25 – 35) °C, midiendo el crecimiento de la radícula con una regla Vernier (mm), se identifica que la temperatura si influye de gran manera en el crecimiento de la radícula, observando que a 35 °C existe un mayor crecimiento que a 25 °C respecto al tiempo de germinación.
- Según las pruebas preliminares para la determinación del tiempo de germinación del grano de quinua negra, se realizó pruebas de análisis fisicoquímicos a temperatura de 35 °C, obteniendo un tiempo óptimo de germinación (8 h) según el contenido de proteína, obteniendo los siguientes resultados: cenizas 2,45%; fibra 4,98 %; grasa

- 3,40%; hidratos de carbono 62,93%; humedad 6,58%; proteína total 19,66% y valor energético 360,96 Kcal/100 g, datos extraídos de la tabla A.2.2 (anexo A).
- Según los análisis estadísticos (anexo B), los factores óptimos en el proceso de germinación con secado por el método de estufa y vacío son: factor T (temperatura) 35 °C y factor θ (tiempo) 16 h, para las variables respuestas contenido de proteína total (%) y contenido del mineral calcio (mg/100 g).
 - Analizando el informe de ensayo de laboratorio, no existe una diferencia significativa entre los dos métodos de secado (estufa y vacío), tanto en la variable respuesta contenido de proteína y la variable respuesta contenido de mineral calcio.
 - Tras la clasificación granulométrica a la harina malteada de quinua negra a tres muestras de 100,00 g (tabla 4,15), el promedio de los resultados fueron: harina gruesa 4,80 g; harina semi gruesa 25,58 g y harina fina 69,63 g. Esta clasificación granulométrica de la harina malteada facilita la estandarización y proceso de productos, identificación de los requisitos de la materia prima y los parámetros legales respecto al tamaño de las partículas.
 - Tras el análisis de proteína total (%) realizado en la harina malteada entera y fina de quinua negra, los resultados fueron: harina malteada entera 13,00 %; harina malteada fina 12,09 %. Según la clasificación Europea, se identifica la harina malteada entera como harina extra fuerte y la harina malteada fina como harina fuerte. Los datos fueron extraídos de la tabla A.2.22 y A.2.23 (anexo A).
 - Según los análisis realizados a los minerales en la harina malteada entera y fina de quinua negra, los resultados fueron: harina malteada entera: calcio 50,9 mg/100 g y fosforo 76,4 mg/100 g; harina malteada fina: calcio 56,9 mg/100 g y fosforo 63,0 mg/100 g. Los datos fueron extraídos de la tabla A.2.22 y A.2.23 (anexo A).
 - Finalmente se realizó la aplicación de la harina malteada de quinua negra en la elaboración de galletas mediante 5 muestras preliminares (Q01, Q02, Q03, Q04 y Q05), para identificar la muestra ideal. La aplicación de la evaluación sensorial, se determinó por la muestra Q04 que tiene una formulación de: 36 % de harina de

trigo, 10 % de quinua malteada de quinua negra y 20 % de manteca vegetal como prueba de aplicación.

5.2 Recomendaciones

Las recomendaciones del presente trabajo de investigación, se mencionan a continuación:

- ⇒ Se recomienda el consumo de los granos de quinua negra debido a que este registra más propiedades alimentarias y medicinales que las blancas y amarillas, incluso porque contiene litio, sustancia recomendada para personas que sufren depresión.
- ⇒ Debido a que los granos germinados son alimentos pre digeridos, se recomienda el consumo en diferentes tipos de productos elaborados, debido a que con la germinación se facilita su asimilación y aprovechamiento de nutrientes en el organismo y se incrementa el contenido de antioxidantes y además se obtienen alimentos organolépticamente agradables.
- ⇒ La harina malteada de quinua negra puede sustituir parcialmente a la harina de trigo en productos de panificación, galletería y pastas, se recomienda realizar pruebas de niveles de sustituciones adecuadas a diferentes productos y así incrementar su valor nutritivo, ya que hay estudios de sustitución de 40 % de harina de quinua en formulaciones de pan, 40 % en pastas, 60 % en bizcochos y 70 % en galletas.