

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El origen del chocolate en polvo se remonta a varios años antes del descubrimiento de América por parte de los españoles, la palabra chocolate nos lleva a la palabra azteca “xocoatl”, que hace referencia al nombre de una bebida amarga hecha de granos triturados de cacao.

Cuenta una vieja leyenda, que en uno de los encuentros del rey azteca Moctezuma le ofreció a beber a Hernán Cortés una bebida de chocolate amargo. Bebida que no fue de su gusto. Pero todo cambió cuando uno de los hombres de Cortés le agregó azúcar de caña y miel. Fue tan grata la sensación que no dudaron en llevarlo a España, donde rápidamente se hizo popular y se puso de moda de forma inmediata.

A partir de ese momento, el cacao mezclado con azúcar de caña se extendió, aunque no para todos, sólo para los europeos más pudientes. En este punto llegamos hasta el siglo XVIII. La Revolución Industrial, entre muchas otras cosas, permitió que el chocolate se manufacturara en fábricas, siendo comercializado por el viejo continente con gran difusión. Lógicamente, se había creado una demanda, porque gustaba mucho, y esa popularidad condujo al desarrollo de nuevas plantaciones de cacao capaces de abastecer el amplio mercado que se había creado. (Sophie Coe & Michael Coe, 2013)

En la actualidad el chocolate en polvo es un producto obtenido de la mezcla de cacao en polvo (pulverizado de la torta de cacao) y azúcar glass, dicho producto es normado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) como un extracto seco que no debe contener menos del 20 % de cacao en polvo.

En la tabla I-1, se observa el mercado global del chocolate en polvo alcanzó 1,59 millones de toneladas en 2024, impulsado por la demanda en repostería, bebidas instantáneas y productos fortificados. Europa sigue concentrando más del 50 % de la producción mundial.

Tabla 0-1 Producción mundial de chocolate de mesa en la gestión 2024

País	Producción (toneladas métricas)	Participación mundial (%)	Principales empresas productoras
Estados Unidos	280.000,00	16,80	Hershey's, Mars Inc., Nestlé USA
Alemania	240.000,00	14,40	Ritter Sport, Lindt & Sprüngli
Suiza	160.000,00	9,60	Nestlé, Lindt & Sprüngli
Países Bajos	140.000,00	8,40	Barry Callebaut, Cargill Cocoa
Reino Unido	120.000,00	7,20	Cadbury, Mondelez Intl.
Francia	110.000,00	6,60	Valrhona, Poulain
Brasil	90.000,00	5,40	Garoto, Nestlé Brasil
México	75.000,00	4,50	La Corona, Turin, Nestlé México
Indonesia	60.000,00	3,60	PT Bumitangerang Mesindotama
Otros países	320.000,00	19,50	
Total mundial estimado	1.595.000,00	100,00	

Fuente: Elaboración propia, Statista, ICCO y FAO (2024)

En la Tabla anterior se muestra a Estados Unidos como máximo productor de chocolate de mesa, no siendo un país exportador se encarga de abastecer su producción local. En Europa el país que más produce es Alemania y Suiza.

En la tabla I-1 se puede observar la producción de chocolate de mesa en América Latina, que representa cerca del 60 % del consumo interno de productos derivados del cacao en América Latina. México y Brasil lideran la producción con el 49 % combinado, debido a su industria consolidada y su alta demanda doméstica (uso en bebidas tradicionales y repostería).

En la tabla I-2 se puede observar la producción de chocolate de mesa en América Latina,

Tabla 0-2: Producción de chocolate de mesa en América Latina en la gestión 2024

País	Producción (toneladas métricas)	Participación regional (%)	Principales marcas / empresas nacionales
México	118.000,00	27,50	Chocolate Abuelita, Ibarra, La Corona
Brasil	95.000,00	22,10	Garoto, Nestlé Brasil, Cacau Show
Ecuador	70.000,00	16,30	República del Cacao, Pacari, Caoni
Perú	48.000,00	11,20	Cacaosuyo, Machu Picchu Foods
Colombia	42.000,00	9,80	CasaLuker, Compañía Nacional de Chocolates
Argentina	27.000,00	6,30	Arcor, Felfort, Georgalos
Bolivia	9.200,00	2,10	El Ceibo, Para Ti, La Recoleta
Chile	6.800,00	1,60	Entrelagos, Varsoviene, La Fête

País	Producción (toneladas métricas)	Participación regional (%)	Principales marcas / empresas nacionales
Venezuela	5.600,00	1,30	Cacao San José, Chocolates El Rey
Resto de América Central y Caribe	7.400,00	1,70	Costa Rica, República Dominicana, Belice
Total América Latina	429.000,00	100,00	

Fuente: Elaboración propia, según FAO, INE, ICCO (2025)

América Latina representa aproximadamente el 43 % de la producción mundial de cacao y alrededor del 17 % de la producción mundial de chocolate industrializado, consolidándose como una región de crecimiento acelerado en el segmento premium y orgánico.

Los países andinos (Ecuador, Perú, Bolivia y Colombia) lideran las certificaciones de “cacao fino de aroma” y comercio justo, contribuyendo a una proyección internacional basada en sostenibilidad y calidad sensorial.

Si hablamos de Bolivia podemos decir que se ha convertido en un país exportador de cacao ya procesado gracias a su sabor, aroma y calidad. Por todas estas ventajas, respecto a la calidad de cacao como materia prima se obtiene un exquisito chocolate reconocido dentro y fuera del país.

En la actualidad, la producción nacional de chocolate de mesa en Bolivia continúa liderada por empresas consolidadas que integran la cadena del cacao desde su cultivo hasta la elaboración final del producto. De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística (INE, 2024) y el Ministerio de Desarrollo Productivo y Economía Plural (MDPyEP, 2024), la cooperativa El Ceibo Ltda., del departamento de La Paz, mantiene su posición como la principal productora, con una producción estimada de 940 toneladas anuales, seguida por Chocolates Para Ti (SOLUR S.R.L.), del departamento

de Chuquisaca, con alrededor de 210 toneladas, y La Recoleta, del departamento de Tarija, con 180 toneladas anuales. En el eje oriental, la empresa SUMAR Ltda., ubicada en Santa Cruz, alcanza una producción cercana a 150 toneladas, mientras que Chocolates El Cóndor, también de La Paz, mantiene una participación significativa con aproximadamente 95 toneladas anuales. Estas cifras reflejan el proceso de consolidación e industrialización del sector chocolatero boliviano, orientado hacia la transformación del cacao fino de aroma y la incorporación de valor agregado, especialmente en productos artesanales y orgánicos con destino al mercado nacional y a exportaciones hacia Chile, Suiza y Alemania.

En la tabla I-3, se describe la producción de chocolate en polvo de mesa en Bolivia, donde se el departamento de La Paz lidera la producción gracias a la Cooperativa El Ceibo, cuyas exportaciones alcanzan más de 15 destinos internacionales. Seguido por el departamento de Tarija que pese a no cultivar cacao importa materia prima desde Alto Beni (La Paz), Santa Cruz, y otras cooperativas bolivianas como El Ceibo, se encuentra ubicada en segundo lugar debido a emprendimientos semiindustriales y artesanales que combinan procesos manuales y mecanizados para la elaboración de chocolate de mesa y bombonería, como ser Delicias Tarijeñas, La Recoleta, Don Pepe entre otros.

Tabla 0-3: Producción de Chocolate de mesa en Bolivia en la Gestión 2024

Departamento / Región	Producción estimada (toneladas métricas)	Participación nacional (%)
La Paz (Alto Beni, Palos Blancos)	3.200,00	34,80
Tarija	2.100,00	22,80
Cochabamba	1.400,00	15,20
Santa Cruz	1.000,00	10,80
Chuquisaca (Sucre)	850,00	9,20
Beni y Pando	400,00	4,30

Departamento / Región	Producción estimada (toneladas métricas)	Participación nacional (%)
Oruro y Potosí	250	2,70
Total nacional estimado	9.200	100,00

Fuente: Elaboración propia, según ; INE, FAO Y MDPyEP (2024)

En la actualidad, la creciente competitividad del mercado chocolatero ha impulsado a las empresas y a los investigadores a innovar en la formulación de productos que no solo respondan al gusto del consumidor, sino que también aporten beneficios a la salud. En este contexto, el chocolate fortificado se presenta como una nueva tendencia tecnológica y nutricional, ya que permite obtener un producto de alto valor biológico sin perder las propiedades sensoriales del cacao. Esta innovación combina el placer de degustar el cacao en su estado más natural con el valor añadido de incorporar granos andinos, proteínas o micronutrientes, generando así alimentos funcionales con identidad regional y proyección comercial sostenible.

La revisión de estudios desarrollados por distintos autores evidencia un creciente interés en la fortificación del chocolate de mesa como estrategia de innovación alimentaria. En este sentido, se destacan las siguientes investigaciones, las cuales sirven de base teórica y experimental para la formulación del producto propuesto:

En la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, y Flores, P., Zamora, E. (2022). desarrollaron un chocolate de mesa fortificado con harina de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), evaluando sus propiedades sensoriales y nutricionales. La investigación determinó que la sustitución parcial del cacao por quinua (10–15 %) elevó significativamente el contenido proteico y de minerales sin alterar la textura ni el sabor del producto, lo que evidencia el potencial de los granos andinos para mejorar el valor nutricional del chocolate tradicional.

Huanca, A y Gálvez, M. (2023), en la Universidad Nacional del Altiplano (Puno, Perú), desarrollaron un chocolate de taza enriquecido con maca (*Lepidium meyenii*) y quinua, buscando un alimento funcional de alto valor nutricional. Los resultados indicaron

incrementos significativos de proteínas, hierro y zinc, además de un efecto antioxidante superior frente al chocolate convencional. El producto obtuvo excelente aceptación sensorial y fue propuesto como alternativa para programas de alimentación escolar.

Núñez, R. y Alarcón, D. (2019)., en la Universidad Técnica de Oruro (Bolivia), formularon un chocolate en polvo enriquecido con harina de quinua y leche descremada, con el fin de obtener un producto proteico de bajo contenido graso. Los análisis bromatológicos mostraron un aumento del 18 % en proteínas y una reducción significativa de grasa total. Además, el producto mantuvo buena solubilidad y estabilidad durante 60 días, confirmando su aplicabilidad industrial.

Mamani y Quispe (2020), en la Universidad Mayor de San Simón (Cochabamba), elaboraron un chocolate de mesa enriquecido con harina de kiwicha (*Amaranthus caudatus*). El estudio experimental mostró que la adición del cereal andino en proporciones de 5 % y 10 % incrementó el contenido de proteínas y fibra, reduciendo la cantidad de grasa saturada. Los análisis sensoriales revelaron buena aceptabilidad, consolidando la viabilidad de la fortificación con kiwicha en productos de cacao.

Con el propósito de contar con un antecedente bibliográfico relacionado con la fortificación de alimentos en el departamento de Tarija, se tomó como referencia el trabajo de Ojeda Castro (2021), titulado “Elaboración de un alimento en polvo con alto contenido en fibra dietética a base de amaranto y salvado de avena”, desarrollado en la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS). Este estudio constituye un aporte relevante, ya que plantea la formulación de un alimento funcional mediante la combinación de granos andinos y cereales integrales, resaltando la importancia de la fortificación con fibra dietética natural para mejorar el valor nutricional de productos alimenticios procesados.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Elaborar chocolate en polvo fortificado con harina de quinua, con la finalidad de obtener un producto nutricional.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Elaborar el diagrama de flujo para la elaboración de chocolate en polvo fortificado.
- Identificar las variables independientes que influyen en el proceso de elaboración del alimento en polvo fortificado.
- Realizar los análisis fisicoquímicos de la materia prima como del producto obtenido.
- Realizar los análisis microbiológicos del producto obtenido.
- Realizar el balance de materia y energía para el proceso de elaboración del alimento en polvo fortificado.
- Efectuar una evaluación sensorial para verificar la aceptabilidad del producto.
- Estimar los costos de producción del alimento en polvo fortificado.

1.3 Justificación

La justificación para este proyecto de investigación se basó tomando en cuenta 5 aspectos:

1.3.1 Justificación tecnológica

En este proyecto, la tecnología aplicada permite no solo la obtención del chocolate en polvo tradicional, sino también su fortificación proteica mediante la incorporación de harina de quinua real, un cereal andino con alto valor biológico. La aplicación de operaciones unitarias que garantizan una mezcla uniforme, un tamaño de partícula adecuado y una formulación estable, demostrando que la tecnología de procesamiento permite generar un alimento funcional de mayor valor agregado a partir del cacao tomando en cuenta que el chocolate en polvo es un alimento obtenido mediante la transformación tecnológica del cacao, donde sus derivados como la torta de cacao, el polvo de cacao y la manteca de cacao se combinan y procesan para generar un producto estable, homogéneo y apto para consumo. Esta transformación implica operaciones como pulverización, tamizado, mezclado y estandarización granulométrica, que permiten obtener un ingrediente base de calidad.

1.3.2 Justificación Económica

La producción de chocolate en polvo fortificado con granos de cereal como ser la quinua, será para la población una alternativa de consumo en su alimentación, por sus propiedades nutricionales (sobre todo por su contenido de proteínas y vitaminas), creando así una demanda para los agricultores en la producción de dicho cereal.

1.3.3 Justificación ambiental

Se tomará en cuenta que, en todo el proceso de producción del chocolate en polvo, no se considere como una fuente de contaminación que genere un impacto ambiental específico o de gran magnitud al ambiente, pues este no necesita un análisis exhaustivo para identificar el tipo de contaminación ya que todo el desecho que se produzca es orgánico y reutilizable.

De igual manera la molienda de la quinua no representa una contaminación de gran impacto.

1.3.4 Justificación Social

El chocolate en polvo fortificado a partir de granos de quinua es un complemento nutricional, tanto para niños o mayores de edad, su valor nutricional, es ideal para ser utilizado como un suplemento alimenticio, para satisfacer los requerimientos nutricionales de proteínas y vitaminas principalmente.

Los resultados de la investigación contribuirán al aporte técnico y científico, brindando parámetros que permiten generar nuevas mezclas de estas características con referencias técnicas, resultados de valor nutricional de la materia prima y producto final, ampliando las alternativas de aprovechamiento de los granos de cereal como ser la quinua.

1.3.5 Justificación Personal

Desde mi formación en Ingeniería Química, surge el interés de aportar soluciones innovadoras al campo alimentario, promoviendo una nutrición equilibrada que

contribuya a reducir los índices de desnutrición y malnutrición. Con este trabajo de investigación, orientado al mejoramiento de la calidad de los alimentos, se busca aplicar los principios científicos de la ingeniería para generar un impacto positivo en la salud y la calidad de vida de la población.

MARCO TEÓRICO

1.4 Descripción histórica del Chocolate

Los españoles probaron por primera vez el chocolate en Tenochtitlán, la capital azteca ubicada en la isla donde hoy queda Ciudad de México. Una creencia generalizada es que Hernán Cortés introdujo el chocolate en España cuando volvió a la corte en 1528. Si bien Cristóbal Colón ya había tenido contacto con esta bebida cuando en su cuarto viaje en busca de la ruta de las especias del Este llegó a Nicaragua en el año 1502 sin prestarle mayor importancia. Los españoles, que controlaron la oferta de cacao hasta finales del siglo XVII, mantuvieron su manufactura en secreto durante casi un siglo.

El azúcar fue incluido en la producción de chocolate cuando los españoles importaron caña de azúcar de las islas Canarias y la plantaron en México. También empezaron a combinar el chocolate con condimentos como vainilla, canela y anís.

En 1615, el chocolate llega por primera vez a Francia, debido al casamiento entre Ana de Austria, la hija de Felipe III, y el rey Luis XIII.

En 1657, el chocolate llega a Inglaterra, y poco más tarde, en 1679, se introduce en Alemania, entrando la producción de chocolate en su etapa industrial, gracias al adelanto tecnológico germano. Sin embargo, no fueron los alemanes quienes lo desarrollaron, sino los suizos, los ingleses y los belgas.

La factoría de chocolate más vieja y que todavía está en funcionamiento en Suiza, fue establecida cerca de la ciudad de Vevey en 1819 por Francois-Louis Cailler, que había adquirido la maestría en la confección del chocolate en Turín.

En 1928, Coenraad Van Houten, un fabricante de chocolate, cambió de forma fundamental la manera de hacer chocolate con su invención de la prensa de cacao. Con ella se podía separar la manteca de cacao de la pasta, con lo que se podría quitar la grasa del cacao y obtener polvo de cacao desgrasado.

Con el perfeccionamiento de los procesos manufactureros, la demanda de chocolate experimentó un incremento sin precedentes en toda Europa. Philippe Suchard dio otro

paso más, cuando en 1826 inventó una batidora para la mezcla del azúcar con el cacao en polvo.

En 1842, el inglés John Cadbury fabrica por primera vez el chocolate para comer, ya que la mayor parte se venía haciendo para beber. Para lograrlo, al cacao le añadió vainilla y azúcar, consiguiendo un bombón de chocolate muy comercial y exquisito. (Oliveras Sevilla, 2007)

1.5 El Cacao

1.5.1 Origen

Los antropólogos han encontrado evidencia indirecta del consumo de cacao en tiempos tan antiguos como 800-1100 años antes de Cristo en manifestaciones artísticas como esculturas, murales, cuencos y vasijas.

Entre objetos antiguos podemos mencionar la vasija Río Azul que data del 500 d. C. Fue encontrado en una sepultura maya en Guatemala en 1984, y contenía residuos de chocolate. El cacao, tan valioso como el oro y las gemas, fue representado en las pinturas aztecas siendo presentado como tributo al emperador y ofrendado a los muertos. Los aztecas creían en el dios Quetzacóatl, serpiente emplumada y jardinero del paraíso, que trajo del cielo las semillas de cacao y les enseñó cómo cultivar el árbol.

Las culturas mesoamericanas antiguas usaban el cacao como moneda y como bebida ritual. (Oliveras Sevilla, 2007).



Fuente: Theobroma, 2020.

1.5.2 Descripción Botánica de la planta

El árbol de cacao cuyo nombre Botánico es Teobroma cacao, según estudios de su materia genética, es nativa de América de Sur, específicamente de la cuenca del río Orinoco. (Dante, et al., 2012)

La semilla del árbol de cacao es el principal ingrediente del chocolate, es una baya denominada mazorca o maraca, con forma de calabacín alargado, que al madurar se vuelve amarilla. Cada baya contiene de 30 a 50 semillas. (Rosas Patiño, Puentes Paramo, & Menjivar Flores, 2017)

Entre sus variedades podemos mencionar las siguientes:

- El criollo o nativo: Es un cacao reconocido por su gran calidad, de escaso contenido en tanino, reservado para la fabricación de los chocolates más finos. El grano es de cáscara fina, suave y poco aromática.
- El forastero: originario de la alta Amazonía. Se trata de un cacao normal, con

el tanino más elevado. El grano tiene una cáscara gruesa, es resistente y poco aromático.

- Los híbridos: es un cruce entre el criollo y el forastero, aunque su calidad es más próxima al del segundo. heredó la robustez del cacao forastero y el delicado sabor del cacao criollo.

Asimismo, entre los derivados de las semillas del cacao podemos mencionar los siguientes:

- Manteca de cacao
- Pulpa de cacao
- Cenizas de cáscara de cacao
- Jugo de cacao
- Polvo de cacao
- Pasta de cacao

Después de la fermentación del cacao, se realiza una limpieza donde se elimina tanto los desperdicios como las cáscaras del propio cacao. Luego de tostar, y pasar por la molienda se obtiene dos tipos de licores: licor para prensado y licor para chocolate. En el caso del licor para prensado se realiza una separación donde se obtiene por un lado torta de cacao y por otra manteca de cacao. A la torta de cacao se le realiza una molienda, para sacar polvo de cacao, el cual es almacenado en empaques, así como la manteca. Por otro lado, al licor para chocolate se le refina y se le mezcla con azúcar y a veces leche, para obtener la miga de chocolate, la cual es conchada y se consigue el chocolate líquido o cobertura. Esta cobertura es utilizada para hacer los más exquisitos dulces a base de chocolate. (Dante, et al., 2012)

1.6 Fortificación de alimentos

La fortificación es una forma de procesamiento de alimentos. Cuando se utiliza adecuadamente puede ser una estrategia para controlar la carencia de nutrientes. Los términos fortificación y enriquecimiento se utilizan casi siempre en forma intercambiable. La fortificación se ha definido como la adición de uno o más nutrientes

a un alimento a fin de mejorar su calidad para las personas que lo consumen, en general con el objeto de reducir o controlar una carencia de nutrientes.

Hay dos tipos de fortificación que han sido muy efectivos en muchos países y son: la adición de yodo a la sal (yodación) y la adición de flúor al agua (fluoración) a fin de reducir la incidencia de caries dental.

En los países industrializados, y en alguna extensión en los países en desarrollo, se utiliza la fortificación para ajustar el contenido de nutrientes a los alimentos procesados, de manera que sus niveles estén más cerca de los del alimento antes de su proceso. Por ejemplo, los cereales que se someten a una molienda importante, como la harina de Quinoa, pueden contener nutrientes que se agregan para reemplazar los que se han perdido durante el proceso de refinamiento. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2013)

1.6.1 Métodos de fortificación

La tecnología de la fortificación es un tema complejo que se trata en muchas publicaciones. En la actualidad hay muchas técnicas distintas en uso; la elección del método depende del nutriente y del alimento.

Un sistema que se utiliza frecuentemente en las harinas o en productos de partículas finas, incluye la adición al alimento en polvo de una premezcla de nutrientes a una tasa establecida, a medida que éste fluye en una de las etapas del proceso. Este método es apto para las industrias de procesamiento de alimentos. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2013)

En la tabla I-1 se presenta algunos nutrientes que se han utilizado y los vehículos alimentarios para la fortificación.

Tabla 0-1 Algunos alimentos utilizados como vehículos en programas de fortificación

Nutriente	Tipo de alimento
Ácido ascórbico	Frutas y bebidas enlatadas, congeladas y secas, productos lácteos enlatados y secos, productos de cereales secos
Tiamina, riboflavina y niacina	Cereales secos, harina, pan, pasta, productos lácteos
Vitamina A o beta caroteno	Productos de cereales secos, harina, pan, pasta, productos lácteos, margarinas, aceites vegetales, azúcar, té, chocolate, glutamato monosódico
Vitamina D	Productos lácteos, margarina, productos de cereales secos, aceites vegetales, bebidas de fruta
Calcio	Productos de cereales, pan
Hierro	Productos de cereales, pan, leche en polvo enlatada
Yodo	Sal
Proteína	Productos de cereales, pan, y harina de yuca
Aminoácidos	Cereales, pan y sustitutos de la carne

Fuente: FAO, 2013

1.7 Pre y Post Mezclas

1.7.1 Pre Mezclado

A diferencia de una mezcla de sólidos, las pre mezclas son realizadas para obtener un trabajo de precisión, añadiendo vitaminas, minerales o ambos a un producto, de esta manera proporcionar estos nutrientes a la mezcla que no son aportados por las materias primas que componen y que su suplementación supondría algún tipo de alteración en los parámetros nutricionales. (Organización Panamericana de la Salud, 2005)

En este caso al emplear una pre mezcla, el procedimiento se realizará mezclando la materia prima como ser el cacao con el fortificante que es la harina de quinua antes de homogeneizarla con el azúcar glass.

1.7.2 Post Mezclado

El post mix es empleado para saborizar un producto, utilizando grandes cantidades de materia prima en la homogeneización, de igual manera este método es aplicado en la industria de los jarabes y en bebidas gaseosas, siendo diferente al pre mezclado. (Moreno Garnica, 2008)

Asimismo, en el caso del chocolate se emplearía el azúcar glass, endulzando la pre mezcla con cacao y harina de quinua.

1.8 Proteína en los alimentos

Las proteínas tienen diferentes funciones importantes en nuestro organismo, como por ejemplo: son formadoras de estructuras como el colágeno, la elastina o la queratina. Son catalizadores, es decir, que forman enzimas; participan en la producción hormonal, son generadoras de globulinas (sistema inmunológico), transportadoras y hasta como formadores de neurotransmisores. Las deficiencias proteicas pueden verse manifestadas en diferentes síntomas, por ello es importante incluirlas en tu alimentación. (Ortega & Rivas, 2014)

1.9 Descripción del Cacao

Los antropólogos han encontrado evidencia indirecta del consumo de cacao en tiempos tan antiguos como 800-1100 años antes de Cristo en manifestaciones artísticas como esculturas, murales, cuencos y vasijas. El jeroglífico con la figura del cacao, ha sido encontrado en muchos recipientes, el más viejo se conoce como la vasija Río Azul y data del 500 d. C. Fue encontrado en una sepultura maya en Guatemala en 1984, y contenía residuos de chocolate. El cacao, tan valioso como el oro y las gemas, fue representado en las pinturas aztecas siendo presentado como tributo al emperador y ofrendado a los muertos. Los aztecas creían en el dios Quetzacóatl, serpiente

emplumada y jardinero del paraíso, que trajo del cielo las semillas de cacao y les enseñó cómo cultivar el árbol.

Las culturas mesoamericanas antiguas usaban el cacao como moneda y como bebida ritual. (Oliveras Sevilla, 2007)

La semilla del árbol de cacao es el principal ingrediente del chocolate, cuyo nombre Botánico es *Theobroma cacao*. Según estudios de su materia genética, esta planta, es originaria de América de Sur, específicamente de la cuenca del río Orinoco.

El cacao es una baya denominada mazorca o maraca, con forma de calabacín alargado, que al madurar se vuelve amarilla. Cada baya contiene de 30 a 50 semillas. (Rosas Patiño, Puentes Paramo, & Menjivar Flores, 2017)

Entre sus variedades podemos mencionar las siguientes:

- El criollo o nativo: Es un cacao reconocido por su gran calidad, de escaso contenido en tanino, reservado para la fabricación de los chocolates más finos. El grano es de cáscara fina, suave y poco aromática.
- El forastero: originario de la alta Amazonía. Se trata de un cacao normal, con el tanino más elevado. El grano tiene una cáscara gruesa, es resistente y poco aromático.
- Los híbridos: es un cruce entre el criollo y el forastero, aunque su calidad es más próxima al del segundo. heredó la robustez del cacao forastero y el delicado sabor del cacao criollo.

Asimismo, entre los derivados de las semillas del cacao podemos mencionar los siguientes:

- Manteca de cacao
- Pulpa de cacao
- Cenizas de cáscara de cacao
- Jugo de cacao
- Polvo de cacao
- Pasta de cacao

Después de la fermentación del cacao, se realiza una limpieza donde se elimina tanto los desperdicios como las cáscaras del propio cacao. Luego de tostar, y pasar por la molienda se obtiene dos tipos de licores: licor para prensado y licor para chocolate. En el caso del licor para prensado se realiza una separación donde se obtiene por un lado torta de cacao y por otra manteca de cacao. A la torta de cacao se le realiza una molienda, para sacar polvo de cacao, el cual es almacenado en empaques, así como la manteca. Por otro lado, al licor para chocolate se le refina y se le mezcla con azúcar y a veces leche, para obtener la miga de chocolate, la cual es conchada y se consigue el chocolate líquido o cobertura. Esta cobertura es utilizada para hacer los más exquisitos dulces a base de chocolate. (Dante, et al., 2012)

El valor nutricional del cacao es mostrado en la siguiente tabla.

Tabla 0-2 Valor nutricional del cacao (100 g)

Parámetro	Unidad	Valor
Energía	Kcal	456,00
Agua	g	3,60
Carbohidratos	g	34,70
Grasas	g	46,30
Proteína	g	12,00
Fibra	g	8,60
Calcio	mg	106,00
Fósforo	mg	537,00
Hierro	mg	3,60
Vitamina A	mg	2,00
Vitamina B1	mg	0,17
Vitamina B2	mg	0,14

Vitamina C	mg	3,00
------------	----	------

Fuente: Tablas peruanas de composición de alimentos, Collazo C., (2006)

1.10 Descripción de la Quinua

La quinua ha sido descrita por primera vez en sus aspectos botánicos por Willdenow en 1778, como una especie nativa de Sudamérica, cuyo centro de origen se encuentra en los Andes de Bolivia y Perú. (Condori, 2020)

Las bondades peculiares del cultivo del grano de la quinua están dadas por su alto valor nutricional. El contenido de proteína de la quinua varía entre 13,81 y 21,9 g en una muestra de 100 g, 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.

La planta es hermafrodita porque aparecen dos tipos de flores en la misma planta: hermafroditas y pistiladas, alcanza alturas de entre 0,7 y 3 metros, según la variedad y condiciones ambientales. Además, tiene un vástago cilíndrico, que se vuelve anguloso debido a las hojas y las ramas. Las hojas poseen peciolo y láminas. Las flores son claramente diferenciadas y la panícula emerge de la parte superior como se muestra en la figura. (Dyner & Ferreira, 2016)

Figura 0-1:Planta de quinua



Fuente: Contenido de calcio, fibra dietaría y filatos en diversas harinas de cereales, Dyner & Ferreira, 2016.

Según Mujica & Jacobsen (2016), las variedades más cultivadas de la quinua son las siguientes:

- Quinua Blanca: es nutritiva porque contiene proteínas, fibra, fósforo, hierro, potasio y zinc, además de vitaminas B, E, ácidos y omega 3; la quinua es un grano sin gluten, por lo que puede ser un alimento perfecto para los celíacos.
- Quinua Roja: composición, la quinua roja proporciona más proteínas y tiene un contenido de riboflavina mucho más alto. La quinua roja, cocinada, tiene un color marrón y un sabor mucho más intenso que su hermana la blanca.
- Quinua Negra: tiene una textura crujiente y un sabor fuerte. La quinua negra tiene un sabor inigualable, pero no es fácil de encontrar. El color negro único

se atribuye a la presencia de antocianinas, que previene el daño de los rayos UV y la oxidación de las plantas.

La calidad nutricional del grano es importante por su contenido y calidad proteínica mostrada en la siguiente tabla.

Tabla 0-3: Valor nutricional de la quinua (100 g de muestra)

Parámetro	Unidad	Valor
Valor energético	Kcal	350,00
Proteínas	g	13,18
Grasa	g	5,01
Hidratos de Carbono	g	59,74
Agua	g	12,65
Calcio	mg	66,60
Fósforo	mg	408,30
Magnesio	mg	204,20
Potasio	mg	1.040,00
Hierro	mg	10,90
Manganeso	mg	2,21
Zinc	mg	7,47

Fuente: FAO, 2006

1.11 Descripción del Producto

La tecnología de los alimentos tiene la visión de ofrecer al consumidor un abanico de productos funcionales de buena calidad nutricional y de uso instantáneo, como una mezcla de un cereal andino, la quinua con chocolate, para la preparación de un producto en polvo que se pueda consumir en cualquier época del año, apto para cualquier

régimen alimentario, para niños, adolescentes y adultos, pero sobre todo con mejores ventajas nutricionales.

Asimismo, el producto obtenido es el chocolate en polvo fortificado con harina de quinua, siendo un alimento también denominado “alimento para regímenes especiales” debido a su fortificación. Dicho alimento proporcionara proteínas, aminoácidos, vitamina, sustancias minerales y ácidos grasos esenciales de la quinua al contenido natural del chocolate en polvo.

Por otra parte, la fortificación es una forma de procesamiento de alimentos de especial interés para los nutricionistas y cuando se utiliza adecuadamente, puede ser una estrategia para controlar la carencia de nutrientes. Por lo general son elecciones que toma la industria para agregar valor a los productos.

En algunos casos, la fortificación puede ser el procedimiento más fácil, económico y útil para reducir un problema de deficiencia, pero se necesita cuidado evitando su excesiva adición del fortificante en nuestro caso, la quinua.

1.12 Metodología de obtención del Producto

1.12.1 Obtención de Chocolate en Polvo

El proceso de elaboración del chocolate en polvo fortificado inicia a partir de cacao en polvo previamente procesado por la industria chocolatera. Este insumo proviene de la molienda y prensado industrial de las semillas de cacao, donde se separa la manteca de cacao y se obtiene la torta, la cual posteriormente es pulverizada para producir el cacao en polvo comercial.

- **Pulverizado:** Es el proceso de reducción de las partículas sólidas del azúcar por medios mecánicos, para ser más fácil la disolución del producto en agua al emplear partícula mínima, como también generar una mezcla homogénea con el cacao al tener proporciones iguales al de una de partícula.
- **Tamizado:** Es un proceso físico para separar distintos tamaños de partículas. Consiste en hacer pasar partículas de diferentes dimensiones por un tamiz, y

obtener partículas de igual dimensión, como también eliminar residuos de cáscara de cacao que no se trituraron.

- Homogeneizado: Es definida como el proceso mediante el cual se produce la interposición de las partículas de cada componente de la mezcla. Es una de las operaciones básicas que se aplica con mayor frecuencia, porque en la práctica, la totalidad de las formas de dosificación sólidas, están constituidas por dos o más componentes, que deben mezclarse adecuadamente en nuestro caso, azúcar glass y cacao.

1.12.2 Obtención de la harina de quinua

En la obtención de la harina de quinua se emplean los siguientes procesos:

- Hidratación: Dado que la quinua tiene un sabor amargo al tener como componente la saponina que es glicósido tóxico, se debe eliminar dicho componente mediante la hidratación del grano mediante un lavado sucesivo hasta eliminar la formación de espuma.
- Pre cocción: Dicho proceso trata del aumento de temperatura de la quinua empleándolo para mejorar su sabor.

La quinua precocida, a diferencia de la quinua tradicional, está lista para consumir, dando la posibilidad que pueda adicionarse sobre un producto alimenticio justo antes de consumirlos, para darles color, textura, mejorar el sabor y aportar elementos nutricionales.

Asimismo, al emplear la pre cocción ya no sería necesario realizar un proceso de secado dado que el alimento al ser calentado perdería cantidad de humedad que contiene

- Laminado: El laminado es una técnica que permite mantener las propiedades nutritivas de los granos, se introducen los granos entre los rollos de una laminadora lo que produce el aplastamiento de los granos en forma de hojuelas.
- Triturado: con este proceso se obtiene una partícula mínima para la obtención de la harina de quinua y su posterior homogeneizado.

- Tamizado: Consiste en emplear una sola medida de quinua, siendo una harina que debe tener homogeneidad en el producto final.

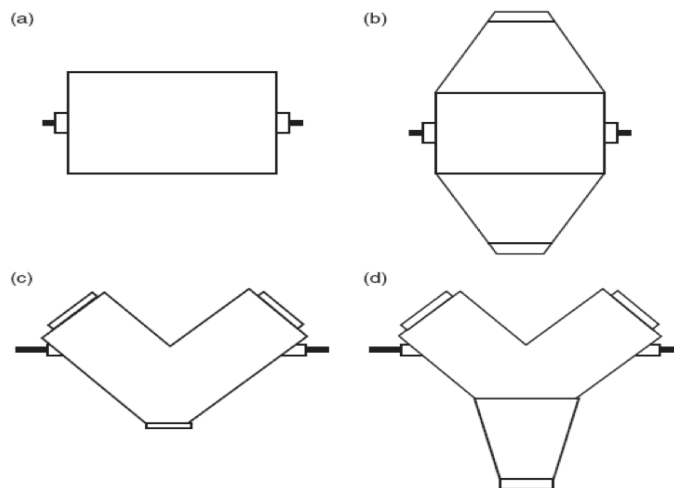
Entre los mecanismos de homogeneizado podemos mencionar tanto el realizado por tambor rotatorio, convectivo, lecho fluidizado y por alto corte.

1.13 Tipos de Homogeneizado

1.13.1 Homogeneizado por Tambor Rotatorio

El Mezclador de tambor o de volteo es sencillo pero útil. Consiste en un recipiente cilíndrico montado sobre un eje horizontal y que gira con él. Haciendo girar el cilindro o tambor se mezcla el contenido. Se usa mucho para homogeneizar partículas sólidas. Existen varias modificaciones de este tipo como los mostrados en la siguiente figura, en a) se puede ver un homogeneizador de cilindro horizontal, b) de doble cono, c) cono en V d) cono en Y.

Figura 0-2: Mezcladores de Tambor



Fuente: Mezclado y Segregación, Ortega & Rivas, 2014

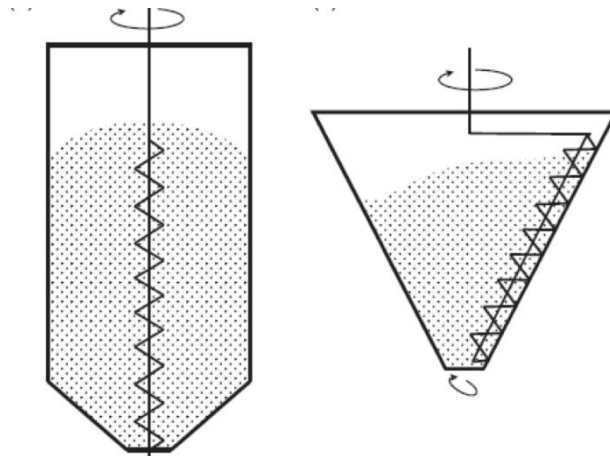
A este tipo de homogeneizador también se le puede añadir baffles internos para reducir la segregación.

1.13.2 Homogeneizador Convectivo

En este tipo de equipos la circulación de sólidos se logra dentro de carcassas estáticas en las que se disponen paletas que rotan. El mecanismo principal de mezclado es la convección, sin embargo, también se produce difusión y movimiento por esfuerzos de corte. Uno de los equipos más comunes es la mezcladora de cintas, donde paletas helicoidales rotan dentro de un cilindro estático.

Otros tipos de mezcladores son los de tornillos, los cuales se muestran en la Figura 10.4. Los tornillos elevan material desde el fondo y lo desplaza hacia el tope. (Ortega & Rivas , 2014)

Figura 0-3: Homogeneizador convectivo de tornillo



Fuente: Mezclado y Segregación, Ortega & Rivas,
2014

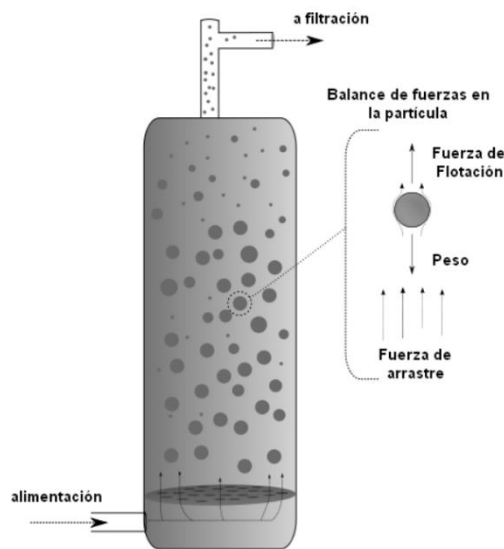
1.13.3 Homogeneizador de lecho Fluidizado

La fluidización ocurre de abajo hacia arriba. Las partículas son fluidizadas con el pasaje del gas (normalmente aire) por el material a granel. En lechos fluidizados, este movimiento aleatorio de las partículas es responsable de una buena homogeneización. La fluidización puede ser intensificada horizontalmente variándose el flujo de la aireación en diferentes puntos de entrada de aire; optimizándose la homogeneización y el tiempo de mezclado.

La homogeneización de las partículas ocurre suavemente porque durante la fluidización las partículas prácticamente no sufren fuerzas externas.

La composición de la mezcla es continua, garantizando un ciclo de descarga completo, con la retirada del aire del producto en forma simultánea. (Ortega & Rivas , 2014).

Figura 0-4: Homogeneizado por lecho fluidizado



Fuente: Mezclado y Segregación, Ortega & Rivas, 2014

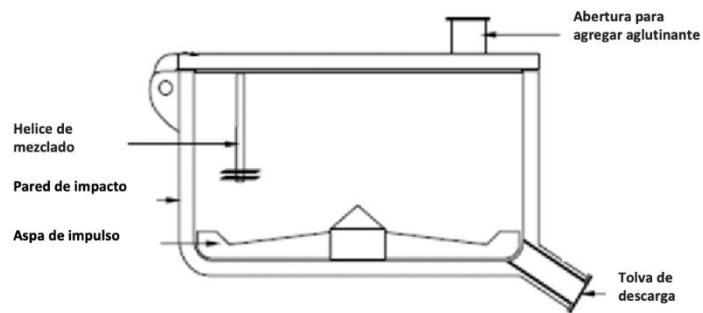
1.13.4 Homogeneizado de alto corte

Son parecidos a los roto granuladores, en este caso el mecanismo principal de mezclado, son los esfuerzos de corte generados. Son muy usados para el mezclado de polvos cohesivos.

Es una máquina técnicamente eficiente y versátil que dispersa y muele el sólido. De este modo, transformarlo en una sola fase homogénea importante que de otro modo sería inmiscible.

En términos simples, el mezclador hace la tarea de mezclar, granular, homogeneizar por completo las partículas.

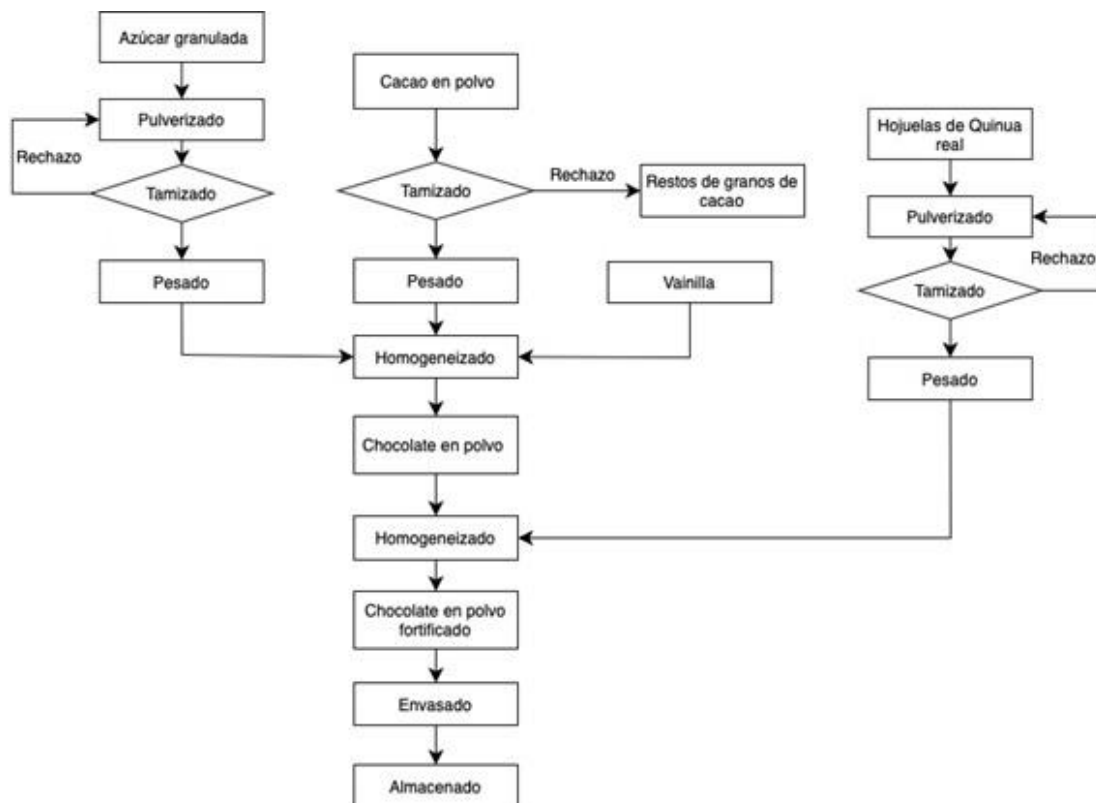
Figura 0-5: Homogeneizador de alto corte



Fuente: Mezclado y Segregación, Ortega & Rivas, 2014.

1.14 Diagramas de flujo de la elaboración de chocolate

Figura 0-6: Diagrama de flujo de la elaboración de chocolate en polvo fortificado



Fuente: Elaboración Propia, 2023

1.15 Descripción del Proceso

1.15.1 Elaboración de Chocolate en Polvo

1.15.1.1 Línea del azúcar

- **Recepción de azúcar granulada**

Se recepción y se verifica que no presente cuerpos extraños, humedad excesiva apelmazamiento. Este control inicial garantiza que la materia prima sea apta para pulverizarse sin generar grumos.

- **Pulverización del azúcar**

La azúcar granulada se somete a pulverización en un molino de acero inoxidable para reducir el tamaño de partícula, mejorar la solubilidad del producto final y permitir un mezclado más uniforme con el cacao y la quinua.

- **Tamizado de la azúcar pulverizada**

La azúcar pulverizada pasa por tamices normalizados para estandarizar el tamaño de partícula, eliminar aglomerados, homogeneizar granulometría, y obtener un polvo fino compatible con el cacao en polvo.

1.15.1.2 **Línea del cacao en polvo**

- **Recepción del cacao en polvo**

El cacao en polvo se obtiene de un proveedor industrial (El Ceibo). Se verifica su pureza, ausencia de impurezas y su textura final.

- **Tamizado del cacao en polvo**

Dado que el cacao ya viene procesado industrialmente, **no se pulveriza**. Solo se realiza un **tamizado de control** para eliminar partículas aglomeradas y mejorar la uniformidad en la mezcla sólido-sólido.

1.15.1.3 **Línea de la quinua**

- **Recepción de hojuelas de quinua real blanca**

Se inspecciona visualmente para descartar partículas extrañas o restos orgánicos.

- **Pulverización de hojuelas de quinua**

Las hojuelas se someten a molino pulverizador para transformarlas en harina fina de quinua real.

La harina pulverizada se pasa por tamices para obtener harina ultrafina, apta para mezclado sólido-sólido.

Una vez que cada materia prima es procesada por separado, las tres corrientes se integran en la siguiente etapa.

1.15.1.4 **Mezcla y homogeneización**

- **Carga de los tres insumos en el homogeneizador tipo “V”**

Se incorporan las cantidades definidas por la formulación experimental para asegurar una mezcla uniforme de partículas.

1.15.1.5 **Homogeneizado final**

Se continúa el mezclado hasta alcanzar una mezcla completamente uniforme, sin segregación visible y con color homogéneo.

1.15.1.6 **Envasado y almacenamiento**

- **Envasado**

El chocolate fortificado se envasa en bolsas o frascos herméticos para evitar absorción de humedad.

- **Almacenamiento**

Se guarda en condiciones controladas de temperatura y humedad, manteniendo su calidad hasta la etapa de análisis sensorial y fisicoquímico.

PARTE EXPERIMENTAL

1.16 Metodología de estudio

En este trabajo se empleará una metodología cuantitativa, y será un trabajo de tipo documental y experimental. Es documental puesto que para obtener información sobre el tema se precisará de la revisión de material bibliográfico referido al mismo. Y es experimental ya que los datos se obtendrán de manera directa mediante ensayos y pruebas en laboratorio y así obtener un producto fortificado a base de quinua

El presente proyecto de optimización también se identificará, analizará variables independientes y verificar los resultados mediante variables dependientes junto al diseño experimental, ya que, pretende controlar y observar variables, que permitan enfocar la investigación. Además, se puede validar con réplicas para disminuir el porcentaje de error en la obtención de resultados, según los principios fundamentales de diseño experimental.

1.17 Metodología del proceso a emplear

La homogeneización, hace referencia al proceso en el cual varios ingredientes con características determinadas se ponen en contacto, con el fin de obtener un sistema homogéneo con la máxima distribución de componentes posible. Cabe anotar que, para obtener un mezclado adecuado, es importante considerar elementos como el tipo de mezcladora a utilizar y las características de los componentes involucrados en el proceso como ser el tamaño de la partícula y la humedad de la mezcla. (Moreno, 2008)

Generalmente, este proceso se realiza por medio de agitación y constituye uno de los procesos más relevantes en la industria.

El proceso de mezclado que se realizará con el alimento fortificante obedece a un sistema sólido-sólido. En el mezclado de sólidos, se utilizan equipos de homogenización que tienen como principio realizar un movimiento al azar, más de dos grupos de partículas sólidas diferentes. Este movimiento, logra distribuir uniformemente las partículas en un tiempo determinado.

1.17.1 Selección del tipo de homogeneización

En las siguientes tablas presentadas a continuación se podrán observar las ventajas y desventajas de los tipos de homogeneización, y de esta forma tener una idea más clara de las características de los mezcladores y poder hacer una comparación.

Tabla 0-1: Ventajas y desventajas de mezclado según el tipo de homogeneizado

Tipo	Ventaja	Desventaja
Homogeneizado en V o Y	• Usa el mecanismo de convección para la mezcla. • Ideal para material abrasivo y de manipulación delicada. • Alta capacidad. • Moderado consumo de energía. • Fácil mantenimiento. • Fácil operación. • Generación mínima de Calor. • Uniformidad de Mezcla.	• No útil para polvos de alta cohesividad. • Dificultad en la limpieza de equipo (eje central). • No sirve para romper aglomerados.
Homogeneizador de tambor cilíndrico	• Mezclado a través de la Gravedad. • El mezclado se da por Difusión. • La inclinación mejora el flujo cruzado.	• Poca eficiencia • Adhesión del material a las paredes. • Dificultad para el vaciado. • No producen un buen flujo cruzado a lo largo del eje. • Mayor tiempo de mezcla.

Tipo	Ventaja	Desventaja
Homogeneizador Convectivo	• Mezclado mediante difusión (rotación del tornillo sin fin). • Mezclado mediante convección (movimiento planetario del tornillo sin fin). • Mezclado rápido. • Consumo bajo de energía. • Rompimiento de los aglomerados.	• Puede producir algo de abrasión por la caída libre a la que se somete los gránulos y por el choque de éstos contra las paredes del equipo. • Dificultad para la limpieza.
Homogeneizador de alto corte	• Puede mezclar polvos semisólidos y líquidos eficientemente. • Rompimiento de grumos.	• Son lentos. • Consumen bastante energía. • Generan calor dentro de la mezcla de polvos.
Homogeneizador de Lecho fluidizado	• Puede granular y secar el material.	• Los polvos no pueden ser cohesivos. • La diferencia entre densidades debe ser mínima para evitar la segregación.

Fuente: Elaboración Propia, 2023.

Tomando en cuenta las ventajas y desventajas planteadas anteriormente, se puede evidenciar que tienen características cuantitativas y cualitativas, por lo que, para establecer el tipo de homogenizado, se determinara mediante el método de Factores Ponderados, tomando valores de 0 a 10 dando mayor calificación si cumple con todas las expectativas de homogenizado.

Tabla 0-2: Factores de ponderación del tipo de Homogenizado

Factor	Factor de ponderación	V o Y		Tambor cilíndrico		Convectivo		Alto corte		Lecho fluidizado	
		C	P	C	P	C	P	C	P	C	P
Aplicabilidad del proceso	0,3	8,0	2,4	10,0	3,0	5,0	1,5	3,0	0,9	2,0	0,6
Disponibilidad del equipo	0,5	10,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Confiabilidad del proceso	0,1	8,0	0,8	7,0	0,7	6,0	0,6	9,0	0,9	10,0	1,0
Requerimiento energético	0,1	7,0	0,7	9,0	0,9	4,0	0,4	3,0	0,3	2,0	0,2
Total			8,9		4,6		2,5		2,1		1,8

Fuente: Elaboración Propia, 2023.

- C = Calificación (o puntaje)

Es la nota asignada al desempeño del equipo respecto a cada criterio. Se califica usualmente en una escala de 1 a 10, donde números altos significan mejor desempeño.

- P = Puntaje ponderado

Es el resultado de multiplicar la calificación (C) por el factor de ponderación del criterio.

$$P = C \times P$$

Según la evaluación realizada, se ha determinado que el tipo de homogeneizador en V o Y es más viable y óptimo para llevar a cabo el mezclado del chocolate fortificado, dicho tipo de homogeneizador presenta ventajas significativas. Presenta el mayor puntaje total (8,9), resultado de su alta aplicabilidad al manejo de polvos finos, su

disponibilidad en el laboratorio, su confiabilidad operativa y su bajo requerimiento energético. Los demás equipos muestran puntajes sustancialmente menores, por lo que se descartan técnica y operativamente para este proceso.

Adicionalmente, este método es viable dado que se tiene el equipo en el Taller de alimentos de la Universidad Juan Misael Saracho.

1.18 Descripción de la Materia prima

Entre las materias primas a emplear tanto para la producción de chocolate, como para fortificarlo se mencionan las siguientes:

1.18.1 Cacao en Polvo

El cacao en polvo es un material orgánico, derivado de la extracción de la grasa (manteca de cacao) de los granos. Dicha materia prima será obtenida de la empresa El Ceibo, ubicada en la ciudad de La Paz, este producto es reconocido por tener un proceso orgánico reconocido.

1.18.2 Azúcar Granulada

La azúcar granulada, también conocida como azúcar “refinada”, se la obtiene a partir de la caña de azúcar que se ha procesado, se ha dejado cristalizar y luego se ha secado para que los cristales no se agrupen. El azúcar empleado es el procesado por la empresa IABSA de la ciudad de Bermejo.

1.18.3 Quinoa

La quinoa real blanca será empleada para fortificar el chocolate, dado que este tiene varias vitaminas y nutrientes, pero primeramente, se procesará este cereal desde el grano hasta la obtención de la harina.

1.19 Variables del proceso de fortificación del chocolate

Las variables dependientes e independientes del proceso de fortificación de Chocolate en polvo se definen a continuación.

1.19.1 Variables Independientes

- **Contenido de quinua**

El contenido de quinua en el chocolate en polvo fortificado se define como la proporción de harina de quinua real ecotipo blanca presente en la mezcla final. Esta fortificación busca mejorar el perfil nutricional del producto al incrementar su contenido de proteínas. La quinua es rica en proteínas de alto valor biológico y aminoácidos esenciales, complementando el valor nutricional del chocolate en polvo.

La cantidad de quinua en la formulación debe ser adecuada para evitar afectar negativamente el sabor, aroma y textura del chocolate. Una distribución uniforme de la harina de quinua garantiza que el contenido del fortificante sea constante en cada porción del producto. (Rodriguez, 2005)

En el presente proyecto se emplearán dos niveles de esta variable, las cuales serán asignados mediante referencias bibliográficas.

- **Formulación de la mezcla Cacao y Azúcar**

La formulación del chocolate se refiere a la combinación y proporción de cacao en polvo, azúcar en la mezcla, con el objetivo de lograr un equilibrio entre buen sabor, textura aceptable y un contenido adecuado de cacao, como también puede mejorar el contenido de proteínas, vitaminas y minerales según la cantidad de cacao.

La cantidad de cacao y azúcar debe estar balanceada para mantener el sabor característico del chocolate sin que sea demasiado amargo o excesivamente dulce. La proporción de los ingredientes influye en la solubilidad y sensación en boca. Es importante mantener un nivel adecuado de cacao para asegurar que el producto sea percibido como chocolate en polvo y no como una bebida achocolatada con bajo contenido de cacao.

1.19.2 Variable Dependiente

Esta variable dependiente es el sabor que nos dará el puntaje de aceptación en el mercado, respecto a la variación de las variables independientes, la misma que se definirá a través de pruebas organolépticas.

- **Prueba Organoléptica**

La prueba organoléptica se realizará mediante prueba de escala hedónica del parámetro sabor. Para ello se empleará un panel de 20 catadores no entrenados, utilizando para evaluar el parámetro organoléptico de sabor, en las 4 formulaciones, se utilizará un instrumento de puntajes para ello y se entregará a cada persona para su evaluación 4 muestras previamente enumeradas.

1.20 Diseño Experimental

El presente proyecto se fundamenta en el diseño experimental, ya que, pretende controlar y observar variables que permitan enfocar la investigación. Además, se puede validar con réplicas para disminuir el porcentaje de error en la obtención de resultados

En esta investigación se puede medir la validez y confiabilidad de los resultados mediante la implementación de las matemáticas, es por ello que el enfoque adoptado es de tipo cuantitativo, permitiendo el desarrollo de destrezas adquiridas durante toda la formación académica.

1.20.1 Hipótesis

- **Hipótesis nula (H_0)**

El chocolate fortificado con harina de quinua no presenta ninguna variación en sus propiedades.

- **Hipótesis alternativa (H_a)**

El chocolate fortificado con harina de quinua presenta variación en sus propiedades.

1.20.2 Niveles

Para el presente proyecto de investigación se utiliza el siguiente Modelo matemático 2^k , en el cual se tiene 2 factores, 2 niveles.

$$\text{Diseño Factorial} = 2^K$$

Siendo:

$$K = 2 \text{ (dos variables)}$$

$$\text{Subniveles} = 2$$

$$\text{Diseño Factorial} = 2^2$$

Realizando este diseño el número de experimentos es igual a 4, para la confiabilidad de información del proyecto también se realizará 2 réplicas con esto se generará un número de experimentos de 8.

Los límites fueron seleccionados mediante referencia bibliográfica del proyecto desarrollo, de una formulación en polvo a base de Cereales y chocolate, desarrollada en la Universidad Autónoma de Barcelona. (Hernández, 2019).

- Factor A (Composición del chocolate):
 - $A_1 = 20\% \text{ cacao} / 80\% \text{ azúcar}$
 - $A_2 = 25\% \text{ cacao} / 75\% \text{ azúcar}$
- Factor B (Contenido de quinua real):
 - $B_1 = 10\%$
 - $B_2 = 15\%$

A partir del diseño planteado en dos niveles, se generan **cuatro combinaciones posibles $A \times B$** , mostrados en el siguiente cuadro:

Tratamiento	Factor A	Factor B
T1	A_1	B_1
T2	A_1	B_2

T3	A ₂	B ₁
T4	A ₂	B ₂

N° Exp.	Tratamiento	Nivel A	Nivel B
1	T1	A ₁	B ₁
2	T2	A ₁	B ₂
3	T3	A ₂	B ₁
4	T4	A ₂	B ₂
5	T1	A ₁	B ₁
6	T2	A ₁	B ₂
7	T3	A ₂	B ₁
8	T4	A ₂	B ₂
9	T1	A ₁	B ₁
10	T2	A ₁	B ₂
11	T3	A ₂	B ₁
12	T4	A ₂	B ₂

A =Composición del chocolate (A₁: 20 % cacao/80 % azúcar; A₂:25 % cacao /75 % azúcar).

B = Contenido de quinua real (B₁: 10 %; B₂: 15 %).

Este cruce de factores (A×B) permite identificar no solo el efecto principal de cada variable, sino también la interacción entre la composición base del chocolate y el porcentaje de quinua, lo cual es fundamental para determinar si la aceptación sensorial varía cuando ambos factores cambian simultáneamente.

Tabla 0-3:Factores y niveles en la Investigación

Factores	Límite Superior (%)	Límite inferior (%)
Cantidad de quinua	15	10
Chocolate	25 Cacao 75 Azúcar	20 Cacao 80 Azúcar
Análisis Organoléptico (Sabor)	Variable respuesta	

Fuente: Elaboración Propia, 2025.

En la siguiente tabla se observan los experimentos que se realizará en la parte experimental.

Tabla 0-4:Plan de experimentación

N° Experimento	Factor A (Composición del chocolate) (%)	Factor B (Cantidad de quinua real) (%)	Variable Respuesta
1	20 Cacao 80 Azúcar	10	-
2	20 Cacao 80 Azúcar	15	-
3	25 Cacao 75 Azúcar	10	-
4	25 Cacao 75 Azúcar	15	-

N° Experimento	Factor A (Composición del chocolate) (%)	Factor B (Cantidad de quinua real) (%)	Variable Respuesta
Primera réplica			
5	20 Cacao 80 Azúcar	10	-
6	20 Cacao 80 Azúcar	15	-
7	25 Cacao 75 Azúcar	10	-
8	25 Cacao 75 Azúcar	15	-
Segunda réplica			
9	20 Cacao 80 Azúcar	10	-
10	20 Cacao 80 Azúcar	15	-
11	25 Cacao 75 Azúcar	10	-
12	25 Cacao 75 Azúcar	15	-

Fuente: Elaboración Propia, 2023

1.21 Descripción del proceso experimental para el fortificado proteico del chocolate en polvo con harina de quinua

1.21.1 Recepción y control de materias primas

En esta etapa se reciben tres materias primas principales: cacao en polvo, azúcar granulada y hojuelas de quinua real blanca en una conservadora

Se realiza la inspección de cada insumo para verificar la ausencia de impurezas y contaminación física. El cacao es de procedencia comercial (empresa El Ceibo), y la quinua proviene de productores locales como se observa en la figura:

Figura 0-1: Recepción de materia prima



Fuente: Elaboración Propia, 2024

1.21.2 Pulverizado del azúcar

Se introducen 370 gr de azúcar granulada Bermejo para ser sometidos a (pulverización en molino de acero inoxidable durante 4 minutos hasta obtener un polvo fino. En esta etapa se determinó una pérdida de 1,32 % debido a la fricción y adherencia del polvo en las paredes del molino.

Luego de la molienda, el material fino obtenido se pesa y se almacena temporalmente en un recipiente cerrado para evitar humedad y pasar a etapa de tamizado.

Figura 0-2: Pulverizado del azúcar



Fuente: Elaboración Propia, 2024

1.21.3 Pulverización de la quinua real

La hojuela de quinua real blanca se somete al mismo tratamiento que el azúcar: Pulverización de 75 gr con 1,94 % de pérdidas. El objetivo es obtener un polvo de quinua homogéneo, con partículas finas que se integren fácilmente al cacao y al azúcar durante la mezcla, este proceso dura 7 min. Si se evidencia presencia de hojuelas o partículas gruesas, el material se reprocesa por el molino hasta alcanzar uniformidad total. Este control asegura la adherencia y dispersión óptima en la etapa de fortificación.

Figura**0-3:Pulverización de la quinua real**

Fuente: Elaboración Propia, 2024

1.21.4 Tamizado y control del cacao en polvo

El cacao en polvo se somete a tamizado de control antes de ser utilizado, con el fin de verificar la ausencia de cascarillas, residuos o grumos provenientes de la molienda industrial. Las partículas que no atraviesan la malla se descartan, ya que pueden alterar la textura o el sabor del producto final. Solo el cacao fino y libre de impurezas se utiliza para la mezcla base. En esta etapa se tamizan 125 gr de cacao teniendo 0,05% de pérdidas.

Figura 0-4: Tamizado y control del cacao en polvo



Fuente: Elaboración Propia, 2024

1.21.5 Tamizado y control granulométrico por insumo

Estandarizar la granulometría de las materias primas (azúcar, cacao y quinua) mediante tamizado mecánico, con el fin de lograr una mezcla homogénea y estable durante la homogeneización final. Se utilizó un tamiz vibratorio W.S. Tyler, bajo norma ASTM E-11, equipado con una torre de tamices de acero inoxidable con números 60, 170, 230, 270, 325, 400 y 635, cuyas aperturas varían entre 250 μm y 20 μm .

Figura 0-5: Control granulométrico



Fuente: Elaboración Propia, 2024

Para el proceso se seleccionaron como tamices operativos:

- Tamiz principal N°170 (90 μm), correspondiente al tamaño de partícula fina estándar para cacao y quinua pulverizada.
- Tamiz de control N°230 (63 μm), utilizado como corte final para garantizar uniformidad y eliminar partículas gruesas o aglomerados.
- Criterio de aceptación: Retención total $\leq 0,20 \%$ en el tamiz de control (N°230). Si el retenido supera ese valor, se reprocesa hasta cumplir la especificación.

Ecuaciones de cálculo a aplicar:

- Porcentaje de retención en la malla

$$\%Ret_i = \frac{m_{Ret\ i}}{m_{Alim}} * 100$$

- Porcentaje de retención total

$$\% Ret_{total} = \sum_i \%Ret_i$$

1.21.5.1 Tamizado del Azúcar (post-molienda)

- Alimentación a tamiz: $m_{Alim} = 375 \text{ g}$

Tabla 0-5: Rendimiento de tamizado de Azúcar

Corriente	Masa (g)	% sobre alimentación
Alimentación a tamiz	375,00	100,00
Retenido N° 170	0,00	0,00
Retenido N° 230 (descartado)	0,56	0,15
Pasante N° 230 (útil)	374,44	99,85

Fuente: Elaboración Propia, 2024

El azúcar pulverizado presentó una distribución granulométrica fina, con un 99,85 % pasante a 63 μm . La pérdida por tamizado (0.15 %) se considera el retenido descartado en N° 230, que contiene cristales gruesos sin homogenizar.

1.21.5.2 Tamizado del Cacao en polvo

- Alimentación a tamiz: $m_{Alim} = 125,00\text{g}$

Tabla 0-6: Rendimiento de tamizado de Cacao

Corriente	Masa (g)	% sobre alimentación
Alimentación a tamiz	125,00	100,00
Retenido N° 170	0,00	0,00
Retenido N° 230 (descartado)	0,06	0,05
Pasante N° 230 (útil)	124,95	99,95

Fuente: Elaboración Propia, 2024

El cacao en polvo mostró una excelente uniformidad de partícula, con un 99,8 % de material pasante a través de 63 μm , adecuado para mezclas finas. El 0,20 % retenido corresponde a aglomerados y partículas fibrosas descartadas.

1.21.5.3 Tamizado de Harina de quinua (post-molienda)

- Alimentación a tamiz: $m_{\text{Alim}} = 88,25 \text{ g}$

Tabla 0-7: Rendimiento del tamizado de la Quinua

Corriente	Masa (g)	% sobre alimentación
Alimentación a tamiz	88,25	100,00
Retenido N° 170 (reprocesado)	0,00	0,00
Retenido N° 230 (reprocesado)	0,18	0,19
Pasante N° 230 (útil)	88,082	99,81

Fuente: Elaboración Propia, 2024

Tras reprocesar el retenido, la harina de quinua alcanzó una granulometría homogénea, con 0,99 % de material pasante por el tamiz N° 230 y una masa final de 87,37g

1.21.6 Mezcla y homogeneización inicial

Una vez tamizados los dos componentes principales, se procede a su pesado y formulación como se describió en la formulación tomando en cuenta su pérdida:

- 75 % azúcar pulverizada
- 25 % cacao en polvo

Ambos ingredientes se introducen en un homogeneizador tipo “V” de acero inoxidable, operado a velocidad constante durante 20 minutos.

Durante este tiempo se genera una mezcla por convección y difusión que garantiza la distribución uniforme de partículas y la obtención de un chocolate base homogéneo. De esta etapa se obtiene el chocolate en polvo.

Figura 0-6: Homogenización inicial



Fuente: Elaboración Propia, 2024

1.21.7 Fortificación con harina de quinua

Una vez finalizada la homogeneización base, se adiciona 15 % (87,37 g) de harina de quinua real pulverizada por 500 gr de mezcla.

La mezcla se somete a una segunda homogeneización de 20 minutos, manteniendo la rotación continua del equipo tipo “V”. Realizando una inspección visual para identificar uniformidad en color y mezcla. Se determina una pérdida de 0,25%.

Esta etapa permite la adherencia efectiva de la quinua al chocolate en polvo, logrando una distribución uniforme y estable del fortificante. El resultado es un producto de textura fina, color uniforme y mayor contenido proteico respecto al chocolate convencional.

Figura 0-7: Homogenización final



Fuente: Elaboración Propia, 2024

1.21.8 Envasado

El chocolate fortificado obtenido se envasa en bolsas con cierre hermético, aptas para alimentos, con el propósito de evitar la absorción de humedad y el contacto con el aire. Cada envase se etiqueta con la fecha de producción, lote y peso neto.

Figura 0-8: Envasado



Fuente: Elaboración Propia, 2024

1.21.9 Almacenamiento

Los envases se almacenan en un ambiente seco, fresco y ventilado, con temperatura entre 20 y 25 °C y humedad relativa menor al 65 %. En estas condiciones, el producto conserva sus propiedades fisicoquímicas y sensoriales durante 6 a 8 meses.

Figura 0-9: Almacenamiento



Fuente: Elaboración Propia, 2024

1.22 Balance de materia y energía

Se presenta el siguiente balance:

1.22.1 Balance de materia

El presente capítulo desarrolla el balance de materia correspondiente al proceso de obtención del chocolate en polvo fortificado con harina de quinua real, considerando las pérdidas que se producen en las etapas de molienda, tamizado y envasado.

El cálculo se realizó para un lote de 500 gramos de mezcla base, compuesta por 75 % de azúcar y 25 % de cacao, a los cuales se adicionan 15 % de quinua pulverizada. El objetivo es determinar el rendimiento másico global del proceso y cuantificar las pérdidas específicas en cada etapa.

Se presenta la siguiente Tabla de Nomenclatura para cada corriente:

Tabla 0-8: Nomenclatura del balance de materia

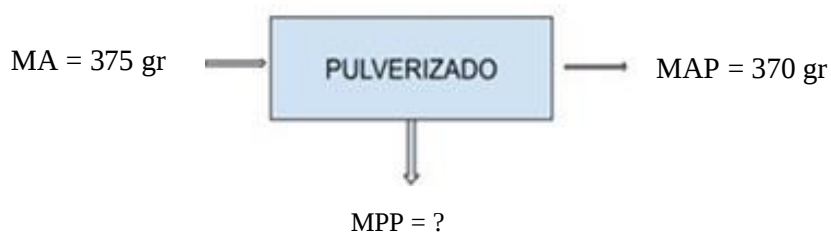
NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN
MA	Masa de Azúcar
MQ	Masa de Quinua
MC	Masa de Cacao
MAP	Masa de Azúcar Pulverizada
MPP	Masa de Azúcar Pulverizada Perdida
MAT	Masa de Azúcar Tamizada
MPAT	Masa Pérdida de Azúcar Tamizada
MQP	Masa Quinua Pulverizada
MPQ	Masa Pérdida de Quinua
MCT	Masa de Cacao Tamizado

NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN
MPCT	Masa Pérdida de Cacao Tamizado
MCHP	Masa de Chocolate en Polvo
MCHPF	Masa de Chocolate en Polvo Fortificado
MCHPFE	Masa de Chocolate en Polvo Fortificado Envasado
MPCHPF	Masa Perdida de Chocolate en Polvo Fortificado Envasado
MPCHPFA	Masa Perdida de Chocolate en Polvo Fortificado Almacenada

Fuente: Elaboración Propia, 2024

1.22.1.1 Pulverizado y tamizado de Azúcar

- Balance en Pulverizado



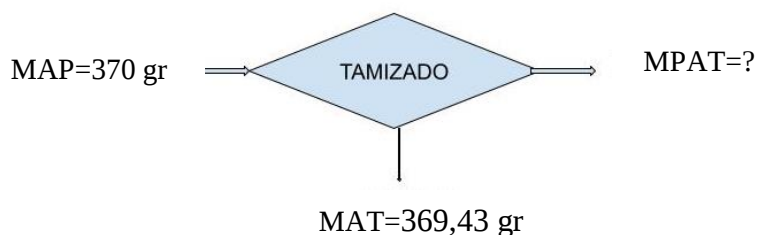
$$MA = MAP + MPP$$

$$375\text{gr} = 370\text{gr} + MPP$$

$$MPP = 5 \text{ g}$$

$$\% \text{ PÉRDIDAS} = 1,32$$

- Balance en Tamizado



$$MAP = MAT + MPAT$$

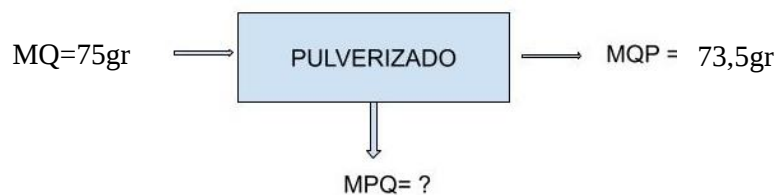
$$370 \text{ gr} = 369,43\text{gr} + MPAT$$

$$MPAT = 0,57\text{gr}$$

$$\% \text{ PÉRDIDAS} = 0,15$$

1.22.1.2 Pulverizado y tamizado de Quinua

- Balance en pulverizado



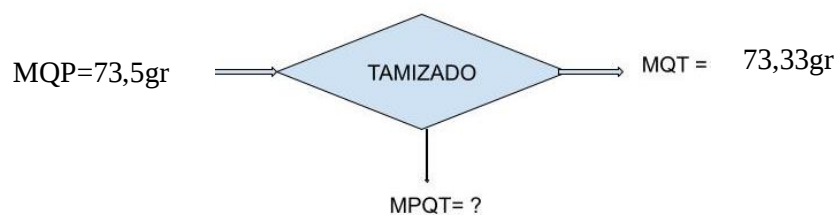
$$MQ = MQP + MPQ$$

$$75\text{gr} = 73,5\text{gr} + MPQ$$

$$MPQ = 1,75\text{gr}$$

$$\% \text{ PÉRDIDAS} = 1,94$$

- Balance en Tamizado



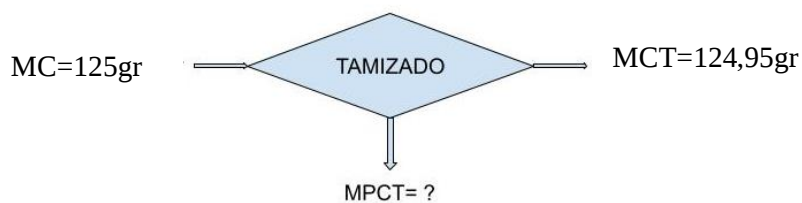
$$MQP = MQT + MPQT$$

$$73,5\text{gr} = 73,33\text{gr} + MPQT$$

$$MPQT = 0,17\text{gr}$$

$$\% \text{ PÉRDIDAS} = 0,23$$

1.22.1.3 Tamizado de Cacao



$$MC = MCT + MPCT$$

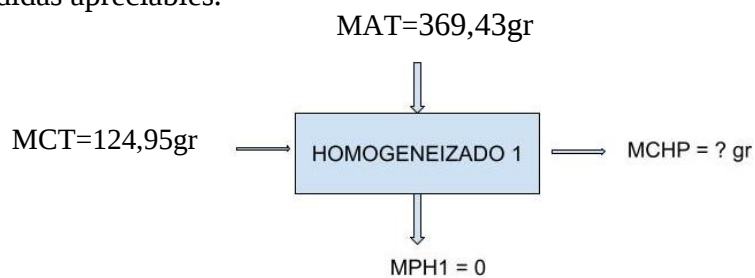
$$125\text{gr} = 124,95\text{gr} + MPCT$$

$$MPCT = 0,05\text{gr}$$

$$\% \text{ PÉRDIDAS} = 0,04$$

1.22.1.4 Homogeneización inicial

La homogeneización y fortificación se comportan como sistemas cerrados, sin pérdidas apreciables.

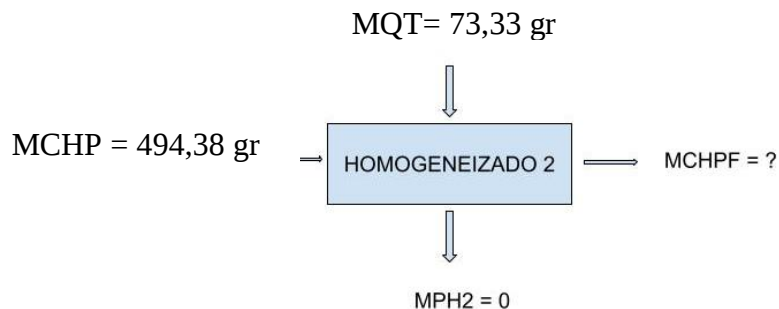


$$MAT + MCT = MCHP$$

$$MCHP = 369,43\text{gr} + 124,95\text{ gr}$$

$$MCHP = 494,38\text{ gr}$$

1.22.1.5 Homogeneización final y fortificación



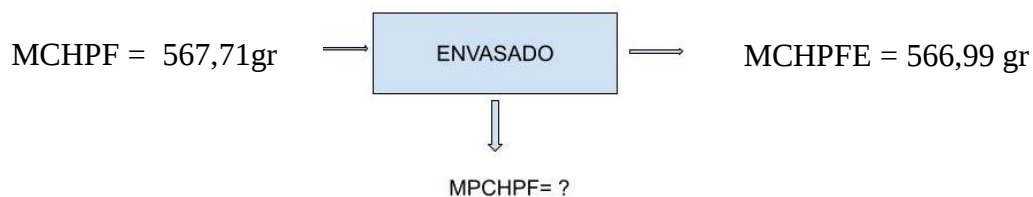
$$M_{CHP} + M_{QT} = M_{CHPF}$$

$$M_{CHPF} = 494,38\text{gr} + 73,33\text{ gr}$$

$$M_{CHPF} = 567,71\text{gr}$$

1.22.1.6 Envasado

En esta etapa se considera pérdida por manipulación y transferencia.



$$M_{CHPF} = M_{CHPFE} + M_{PCHPF}$$

$$M_{PCHPF} = 567,71\text{gr} - 566,99\text{ gr}$$

$$M_{PCHPF} = 0,72\text{ gr} = 0,15\%$$

1.22.2 Balance de energía

Condiciones: $T_{\text{ambiente}} \approx 25\text{ }^{\circ}\text{C}$; sin cambios de fase

No hay reacción química ni vaporación por lo tanto

$$\Delta H_{\text{reac}} = 0,$$

Ecuación general (sistema cerrado, sin flujo)

$$Q_{\text{ced}} * W_{\text{cons}} = \Delta U_{\text{sist}} + Q_{\text{ambiente}}$$

Donde:

$$Q_{\text{ced}} = 0$$

W_{cons} = trabajo eléctrico (molinillo y homogeneizador en V) se disipa casi por completo como calor al ambiente.

$\Delta U_{\text{sist}} = 0$ (Polvos secos con $C_p \approx 1,2\text{ kJ kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$; ΔT muy pequeña).

Por lo tanto:

$$W_{cons} = Q_{ambiente}$$

$$E \text{ (kWh)} = P \text{ (kW)} \times t \text{ (h)}$$

$$E \text{ (kJ)} = E \text{ (kWh)} \times 3600$$

1.22.2.1 **Pulverizado de azúcar**

Datos:

Molino = 1,00 kW

Tiempo = 4 min reducción por impacto/ fricción (1000–1200 rpm).

$$E = 1,00 \times (4 / 60) = 0,0667 \text{ kWh}$$

$$E = 240 \text{ kJ}$$

1.22.2.2 **Pulverizado de quinua**

Datos:

Molino = 1.00 kW

Tiempo= 7 min.

$$E = 1,00 \times (7/60) = 0,1167 \text{ kWh}$$

$$E = 419 \text{ kJ}$$

1.22.2.3 **Tamizado (azúcar y cacao)**

Datos:

Tamiz = 0,18 kW;

Ciclo único= 3 min para ambas corrientes en torre de tamices (norma UNE).

$$E = 0,18 \times (12/60) = 0,0360 \text{ kWh}$$

$$E = 129.6 \text{ kJ}$$

1.22.2.4 **Homogeneización en V (cacao +azúcar, luego +quinua)**

Datos:

Homogeneizador en V = 0,37 kW

Tiempos: 15 min + 20 min = 35 min (Mezcla convectiva con mínima generación de calor, ventaja de V)

$$.E = 0,37 \times (35/60) = 0,2158 \text{ kWh}$$

$$E = 776,99 \text{ kJ}$$

1.22.2.5 **Envasado**

Operación manual → consumo eléctrico despreciable.

Resultado: $\approx 0 \text{ kWh}$ ($\approx 0 \text{ kJ}$)

CAPITULO II

RESULTADOS Y

DISCUSIONES

2.1 Análisis de la materia prima

Los tres insumos principales: harina de quinua real, cacao en polvo El Ceibo y azúcar Bermejo presentan perfiles complementarios:

- El cacao aporta aroma, sabor y lípidos estructurales.
- El azúcar contribuye al poder edulcorante y estabilidad.
- La harina de quinua enriquece la mezcla con proteínas y fibra dietaria.

La integración de estos ingredientes genera una formulación balanceada en energía, proteínas y compuestos funcionales, cumpliendo con los criterios sensoriales y nutricionales del producto final.

2.1.1 Cacao en Polvo

Tabla IV-1: Descripción fisicoquímica del cacao

Parámetro	Unidad	Valor
Humedad	%	3,60
Proteína	%	12,00
Grasa	%	46,30
Carbohidratos	%	34,70
Fibra	%	8,60
Cenizas	%	2,80
Energía total	kcal/100 g	456,00
Calcio	mg	106,00
Fósforo	mg	537,00
Hierro	mg	3,60

Fuente: El Ceibo, 2025.

El cacao en polvo EL CEIBO se caracteriza por un alto contenido de grasa (46,3%) y carbohidratos (34,7 %), lo que le confiere una importante capacidad energética (456 kcal/100g).

El contenido de proteína (12%) y fibra (8,6%) aporta beneficios nutricionales adicionales, mientras que los minerales (Ca, P, Fe) lo convierten en una materia prima funcional para productos fortificados. Su baja humedad (3,6 %) garantiza estabilidad y conservación adecuada en almacenamiento

2.1.2 Hojuela de Quinua

El análisis bromatológico realizado por el CEANID permitió determinar la composición química de la quinua real variedad “Ecotipo Blanca”, utilizada como materia prima en el proceso de fortificación del chocolate en polvo. Los resultados reflejan un producto nutricionalmente equilibrado, con una notable proporción de proteínas, carbohidratos y minerales esenciales.

El contenido de proteína total (13,73 %) demuestra que la quinua es una fuente destacada de aminoácidos esenciales como la lisina, treonina y metionina, lo cual la diferencia de otros cereales comunes (FAO, 2020). Este valor contribuye directamente a mejorar la calidad proteica del chocolate fortificado, haciéndolo un alimento de mayor valor biológico.

Los resultados obtenidos se reflejan en la Tabla, permiten identificar la composición nutricional de la quinua, expresada en base a 100 gramos de muestra, con los siguientes valores: ceniza 3,12 %, grasa 4,54 %, hidratos de carbono 72,07 %, humedad 11,08 %, proteína total 13,73 % y valor energético 384 Kcal/100 g.

Tabla IV-2: Descripción fisicoquímica de la quinua

Parámetro	Unidad	Resultado
Ceniza	%	3,12
Grasa	%	4,54
Hidratos de carbono	%	72,07
Humedad	%	11,08
Proteína total (Nx6,25)	%	13,73
Valor energético	Kcal/100 g	384,00

Fuente: CEANID, 2025

Los resultados del análisis químico proximal de la quinua real (variedad Ecotipo Blanca) demuestran que esta materia prima posee un perfil nutricional completo y equilibrado, con un elevado contenido de proteínas, carbohidratos y minerales, además de un valor energético adecuado.

Estas propiedades respaldan su selección como agente fortificante en la formulación del chocolate en polvo proteico, aportando beneficios tanto nutricionales como funcionales al producto final.

2.2 Análisis del producto

El análisis químico proximal del chocolate en polvo fortificado con harina de quinua real (*Chenopodium quinoa* Willd.) permitió determinar los principales componentes nutricionales y microbiológicos del producto final.

Los resultados demuestran una formulación equilibrada, rica en carbohidratos y micronutrientes esenciales, con adecuada inocuidad microbiológica, cumpliendo con los parámetros esperados para alimentos en polvo de consumo humano, como se muestra en la siguiente tabla.

El contenido de hidratos de carbono (90,81 %) constituye la fracción predominante, responsable del valor energético total de 403 Kcal/100 g, que otorga al producto su carácter altamente energético, ideal para una bebida de rápida asimilación. Este valor

supera al del chocolate tradicional (360–380 Kcal/100 g), gracias al aporte de los carbohidratos complejos de la quinua.

Tabla IV-3: Descripción fisicoquímica producto final (Chocolate en polvo fortificado)

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
Ceniza	g/100g	1,20
Fósforo	mg/kg	190,00
Grasa	g/100g	2,24
Hierro	mg/kg	11,80
Hidratos de carbono	g/100g	90,81
Humedad	g/100g	0,93
Proteína total (Nx6,25)	g/100g	4,82
Valor energético	Kcal/100 g	403,00
Calcio	mg/kg	103,90

Fuente: CEANID, 2025

La proteína total (4,82 %), aunque moderada, mejora significativamente la calidad proteica del chocolate convencional, debido al perfil aminoacídico completo de la quinua, lo cual aporta lisina y metionina, aminoácidos esenciales ausentes en el cacao.

El contenido de grasa (2,24 %) es bajo, lo que confiere al producto una textura ligera y menor densidad lipídica, siendo favorable para dietas con restricción de grasa.

El nivel de ceniza (1,20 %) indica una cantidad apreciable de minerales totales, reforzada por la presencia de calcio (103,9 mg/kg), fósforo (190 mg/kg) y hierro (11,8 mg/kg), minerales que desempeñan un papel vital en la formación ósea, transporte de oxígeno y metabolismo energético. Estos valores reafirman el carácter funcional del chocolate fortificado.

La humedad (0,93 %) se encuentra dentro del rango óptimo (<2 %), lo que garantiza mayor estabilidad y vida útil del producto, minimizando riesgos de alteraciones microbiológicas o aglomeración del polvo durante el almacenamiento.

Tabla IV -4: Análisis microbiológicos en el producto final

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
Bacterias aerobias mesófilas	UFC/g	$1,2 \times 10^1$
Coliformes totales	UFC/g	$< 1,0 \times 10^1$
Escherichia coli	UFC/g	$< 1,0 \times 10^1$
Mohos y levaduras	UFC/g	$< 1,0 \times 10^1$

Fuente: CEANID, 2025

Los resultados microbiológicos evidencian ausencia de contaminación patógena:

Bacterias aerobias mesófilas: $1,2 \times 10^1$ UFC/g

Coliformes totales, E. coli, mohos y levaduras: $< 1,0 \times 10^1$ UFC/g

Estos valores están muy por debajo de los límites establecidos por el SENASAG y las normas NB 32003:02 y NB 32006:03, lo que confirma la inocuidad y calidad sanitaria del producto elaborado, asegurando su aptitud para el consumo humano.

2.3 Pruebas organolépticas

Las pruebas organolépticas se llevaron a cabo con 16 jueces, quienes evaluaron cuatro formulaciones (M1, M2, M3 y M4) de chocolate fortificado con harina de quinua real, considerando únicamente el atributo de sabor. La escala hedónica empleada fue de 1 a 7 puntos, donde 1 representa “me desagrada mucho” y 7 “me gusta mucho”.

El propósito de la evaluación fue determinar la formulación con mayor nivel de aceptación sensorial, en correspondencia con los tratamientos definidos en el diseño experimental.

Tabla IV -5: Análisis de Tendencia en pruebas organolépticas

Muestra	Promedio ($\pm$ DE)	Nivel de aceptación	Tendencia
M1	5,85 $\pm$ 0,62	Aceptable	—
M2	6,00 $\pm$ 0,55	Buena	↑
M3	6,20 $\pm$ 0.48	Buena	↑↑
M4	6,55 $\pm$ 0.38	Muy buena	Mayor preferencia

Fuente: Elaboración Propia, 2025

Los resultados obtenidos muestran una tendencia ascendente en la aceptación del sabor desde la muestra M1 hasta la M4. La muestra M4 alcanzó el mayor puntaje promedio (6.55 $\pm$ 0.38), evidenciando una preferencia sensorial significativa frente a las demás formulaciones.

Esta tendencia confirma los resultados del diseño experimental, donde la proporción empleada en M4 optimiza el equilibrio entre dulzura, intensidad del cacao y suavidad aportada por la harina de quinua real.

El puntaje promedio superior a 6 en todas las muestras demuestra que el producto fue altamente aceptado por los jueces, sin presencia de sabores residuales o amargor pronunciado.

Tabla IV-6: Resultado en análisis organolépticos

Posición	Muestra	Promedio (1–7)	Nivel de agrado
1°	M4	6.55 $\pm$ 0.38	Muy buena
2°	M3	6.20 $\pm$ 0.48	Buena
3°	M2	6.00 $\pm$ 0.55	Buena
4°	M1	5.85 $\pm$ 0.62	Aceptable

Fuente: Elaboración Propia, 2025

El análisis sensorial demuestra que el incremento del porcentaje de harina de quinua real dentro de la mezcla mejora el perfil gustativo general del producto, sin generar notas amargas ni astringentes. Los resultados concuerdan con lo reportado por estudios similares en la formulación de productos fortificados con pseudocereales, donde pequeñas proporciones de quinua mejoran el sabor final y la percepción de naturalidad

2.4 Análisis estadístico

El análisis estadístico del diseño factorial, se realizó con el programa spss para determinar las variables de mayor significancia del proceso. Utilizando los niveles y valores como se muestra en la tabla siguiente ,

- Variable respuesta o variable dependiente: Prueba organoléptica “Sabor”
- Variable independiente: Quinua y Chocolate

Tabla IV-7: Análisis de factores

Factor	Niveles	Valores (%)
Quinua	2	10 ; 15
Chocolate	2	20 Cacao;80 Azúcar 25 Cacao;75 Azúcar

Fuente: Elaboración Propia, 2025

En la tabla siguiente, se muestra las interacciones de las variables de proceso para el fortificado proteico del chocolate en polvo con harina de quinua, en el que el diseño corresponde a 2^2 con dos repeticiones.

Tabla IV-8: Interacción de variables

Experimento	Quinua	Chocolate	Réplica 1	Réplica 2
M1	-1	-1	5,13	5,18
M2	-1	1	4,47	4,55
M3	1	-1	4,73	4,93
M4	1	1	5,20	5,50

Fuente: Elaboración Propia, 2025

2.4.1 Análisis de Varianza Anova

Se aplicó un diseño factorial 2^2 con dos repeticiones por tratamiento, evaluando los factores Quinua y Chocolate sobre la variable respuesta. El análisis de varianza (ANOVA) indicó que el factor Quinua presentó un efecto moderadamente significativo ($F=7.64$; $p=0.051$), mientras que el factor Chocolate no mostró influencia significativa ($F=0.45$; $p=0.539$). Sin embargo, la interacción Quinua×Chocolate fue altamente significativa ($F=39.08$; $p=0.003$).

Tabla IV-9: Resultado del Análisis ANOVA

Factores	gl	SC	CM	F	Sig. (p)
Quinua	1	0.133	0.133	7.64	0.051
Chocolate	1	0.008	0.008	0.45	0.539
Quinua × Chocolate	1	0.679	0.679	39.08	0.003

Fuente: Elaboración Propia, 2025

Tabla IV-10: Resumen del modelo matemático

R	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	Error estandar
0,9601	0.9218	0.9632	0.1318

Fuente: Elaboración Propia, 2025

$R^2 = 0.922$, indica que el 92.2 % de la variabilidad de la variable respuesta es explicada por los factores Quinoa, Chocolate y su interacción.

El error estándar de la estimación es bajo (≈ 0.13), lo que confirma ajuste adecuado y buena precisión del modelo.

2.4.2 Análisis de Coeficientes

Tabla IV-11: Resumen de Coeficientes

Parámetro	Coeficiente (B)	Error estándar	Valor t	Significación (p)*
Constante	4.961	0.029	171.07	< 0.001
Quinoa	0.129	0.047	2.74	≈ 0.05
Chocolate	-0.031	0.047	-0.66	> 0.5
Quinoa × Chocolate	0.291	0.047	6.24	< 0.01

Fuente: Elaboración Propia, 2025

A partir del análisis factorial 2^2 con dos repeticiones, se obtuvo el siguiente modelo matemático de regresión (variable respuesta Y):

$$Y = 4.961 + 0.129X_1 - 0.031X_2 + 0.291X_1X_2$$

Donde:

- X_1 : nivel de Quinoa (+1 = alto)

- X2: nivel de Chocolate (+1 = alto)

Constante (4.961)

Representa el valor promedio de la variable respuesta cuando ambos factores están en sus niveles centrales (en este caso, el punto medio codificado como 0). Es decir, el valor base del proceso sin influencia de los factores.

Factor Quinoa ($B = +0.129$; $p \approx 0.05$)

El coeficiente positivo indica que al aumentar el nivel de Quinoa (de bajo a alto) la respuesta se incrementa en aproximadamente 0.13 unidades en promedio, manteniendo constante el nivel de Chocolate. Este efecto es moderadamente significativo, lo que sugiere que la Quinoa tiene una influencia favorable sobre la variable respuesta.

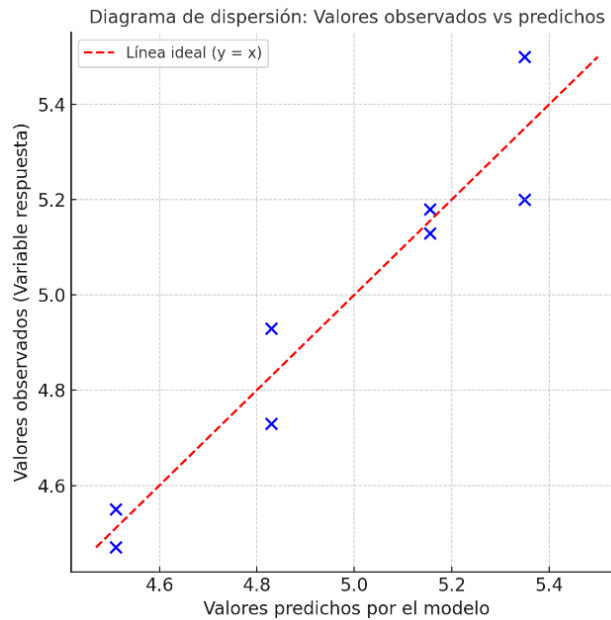
Factor Chocolate ($B = -0.031$; $p > 0.5$)

El signo negativo sugiere que, en promedio, aumentar el nivel de Chocolate provoca una ligera disminución en la respuesta. Sin embargo, el efecto no es estadísticamente significativo, lo cual indica que el Chocolate, por sí solo, no influye de manera relevante sobre la variable dependiente.

Interacción Quinoa $\times$ Chocolate ($B = +0.291$; $p < 0.01$)

Este coeficiente es el más importante del modelo: muestra que existe una interacción significativa entre los factores Quinoa y Chocolate. En otras palabras, la combinación simultánea de ambos factores en sus niveles altos genera un incremento adicional de 0.29 unidades sobre la respuesta, más allá de los efectos individuales. Esto demuestra un efecto sinérgico positivo, es decir, ambos ingredientes se potencian entre sí.

Figura IV-1: Diagrama de dispersión



Fuente: Elaboración Propia, 2025

En la figura IV-1 se observa el diagrama de dispersión donde:

- Los puntos azules representan los valores observados frente a los valores predichos por el modelo.
- La línea roja discontinua muestra la línea ideal $y=x$, donde los valores observados y predichos serían iguales.
- Los puntos se agrupan muy cerca de la línea roja, lo que confirma un ajuste excelente del modelo ($R^2 \approx 0.92$).

Esto demuestra que el modelo factorial propuesto predice adecuadamente la variable respuesta y tiene baja dispersión residual.

2.5 Resultados generales del balance

Tabla IV-12: Resumen del balance de masas

Etapas del proceso	Corriente de entrada (g)	Corriente de salida útil (g)	Pérdida (g)	% Pérdida
Pulverizado de azúcar	375,00	370,00	5,00	1,32
Tamizado de azúcar	370,00	369,43	0,57	0,15
Pulverizado de quinua	75,00	73,50	1,75	1,94
Tamizado de quinua	73,50	73,33	0,17	0,23
Tamizado de cacao	125,00	124,94	0,05	0,0
Homogeneización inicial (cacao + azúcar)	494,38	494,38	0,00	0,00
Homogeneización final y fortificación	567,71	567,71	0,00	0,00
Envasado	567,71	566,99	0,72	0,15

Fuente: Elaboración Propia, 2025

2.5.1 Cálculo de rendimiento

El rendimiento esta calculado según la siguiente relación:

entre la masa final del producto envasado y la masa total introducida al proceso:

$$\eta = \frac{\text{Masa producto final}}{\text{Masa total de materias primas}} \times 100 = \frac{587,46 \text{ gr}}{595 \text{ gr}} \times 100 = 98,73\%$$

Este valor indica que el proceso presenta pérdidas totales de aproximadamente 1,27 %, lo cual es técnicamente aceptable para procesos de laboratorio o planta piloto en operaciones de tipo sólido-sólido.

2.6 Análisis estimado costo

2.6.1 Costos del estudio

En las siguientes Tablas se especifican el costo que tendrá el proyecto de optimización.

Tabla IV-13: Detalle de Servicios y Materiales Directos e Indirectos

Actividad	Costo Unitario (Bs)	Unidad	Cantidad	Costo Total (Bs)
Impresión	0,5	Hoja	800	400
Transporte	1,8	Pasaje	230	414
Anillados	6,0	Anillado	10	60
Empastados	30,0	Empastado	3	90
Material de Laboratorio	-	Global	-	350
Mano de Obra (mes)	2.350,0	-	5	11.750
Total				13.064

Fuente: Elaboración Propia, 2024

Tabla IV-14:Detalle de costos de materias primas y reactivos

Item	Descripción	Unidad	Valor Unitario (Bs)	Cantidad	Costo (Bs)
Materia prima	Cacao en Polvo	Kg	72	6	432
	Azúcar	Kg	7	24	168
	Quinoa	Kg	35	5	175
Materiales	Bolsas con cierre hermético 100 unid	Unidad	10	1	10
	Cucharas	Unidad	5	3	15
	Cucharon	Unidad	10	1	10
Total					810

Fuente: Elaboración Propia, 2024

Tabla IV-15:Detalle de Gastos para Análisis de Laboratorio

Item	Descripción	Valor Unitario (Bs)	Cantidad	Costo (Bs)
Materia prima Quinoa	Análisis Fisicoquímico	820	1	370
Producto obtenido	Análisis Fisicoquímico	820	1	370
	Análisis Microbiológico	240	1	240
Total				980

Fuente: Elaboración Propia, 2024

Tabla IV-16:Detalle de costos totales

Descripción del Detalle	Costo Total (Bs)
Detalle de Servicios y Materiales Directos e Indirectos	13064
Detalle de costos de materias primas y reactivos	810
Detalle de Gastos para Análisis de Laboratorio	980
Total	14854

Fuente: Elaboración Propia, 2024

En la tabla IV- 16 presenta el desglose general de los costos totales asociados a la ejecución del proyecto de fortificación proteica del chocolate en polvo con harina de quinua real, expresados en bolivianos (Bs). El monto total asciende a 14.854 Bs, el cual integra los gastos vinculados con servicios, materiales, insumos y análisis técnicos necesarios para el desarrollo experimental y la validación del producto final.

2.6.2 Costo de Producción

A partir de los datos del balance de materia y energía se puede estimar un costo de producción reflejado en la tabla IV-17.

El análisis económico realizado permitió determinar que el costo total aproximado de producción asciende a 17,79 Bs, correspondiente a la obtención de 587,46 gramos de chocolate en polvo fortificado con un 15 % de harina de quinua real.

Tabla IV-17: Costo de producción del producto final

Categoría	Concepto	Cantidad	Und	Precio	Und	Costo (Bs)
Materia prima	Azúcar granulada	375,00	gr	7,00	Bs/kg	2,62
	Cacao en polvo	125,00	gr	72,00	Bs/kg	9,00
	Harina de quinua real	90,00	gr	35,00	Bs/kg	3,15
Material auxiliar	Bolsa hermética	1,00	un	0,10	Bs/un	0,10
Servicio	Energía eléctrica (molino+tamiz+homog.)	1,57	kWh	1,20	Bs/kWh	1,88
	Agua de proceso (lavado y limpieza)	10,00	L	0,10	L	1,00
TOTAL						17,79

Fuente: Elaboración Propia, 2024

Al aplicar un factor de seguridad de 1,5, destinado a cubrir posibles variaciones en costos indirectos, pérdidas menores o ajustes operativos, el costo corregido de producción se estima en 26,69 Bs.

De acuerdo con esta proyección, el costo unitario por presentación comercial de 500 gramos de chocolate fortificado sería de 22,71 Bs, valor que resulta competitivo frente a productos similares del mercado nacional, considerando el valor agregado nutricional que aporta la incorporación de la quinua real.

Estos resultados demuestran que el proceso propuesto es económicamente viable, con un costo de producción razonable en función de la escala piloto empleada, y con potencial de reducción si se optimizan los volúmenes de producción y la adquisición de materias primas a nivel industrial.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

2.7 Conclusiones

En función a los objetivos planteados y a los resultados experimentales obtenidos en la elaboración del chocolate en polvo fortificado con harina de quinua real (*Chenopodium quinua*), se establecen las siguientes conclusiones:

- Los resultados del análisis fisicoquímico de las materias primas utilizadas evidencian que cada insumo cumple un rol fundamental en la formulación del chocolate fortificado. El cacao en polvo El Ceibo presentó un contenido de grasa del 46,3 %, carbohidratos del 34,7 %, proteína del 12 % y valor energético de 456 kcal/100 g, parámetros que confirman su alto potencial energético y funcional. Por su parte, la harina de quinua real mostró 13,73 % de proteína, 4,54 % de grasa, 72,07 % de carbohidratos, 3,12 % de ceniza y 384 kcal/100 g de energía, lo que demuestra su calidad nutricional superior y su idoneidad como agente fortificante, aportando aminoácidos esenciales y minerales que elevan el valor biológico del producto. El azúcar Bermejo, empleado como fuente de carbohidratos simples, garantizó la estabilidad, dulzura y aceptabilidad sensorial del producto final. En conjunto, estas materias primas presentan una composición química complementaria, que respalda la viabilidad técnica y nutricional del proceso de fortificación, asegurando que el chocolate en polvo obtenido cumpla con los estándares de calidad e innovación alimentaria propuestos en la investigación.
- El análisis fisicoquímico y microbiológico del chocolate en polvo fortificado con harina de quinua real, evidencia un producto de alta calidad nutricional y sanitaria, cumpliendo con los parámetros establecidos para alimentos en polvo de consumo humano. El contenido de carbohidratos (90,81 %) determina su elevado valor energético (403 kcal/100 g), superior al del chocolate convencional, gracias al aporte de almidones complejos de la quinua. La proteína total (4,82 %) mejora el perfil aminoacídico del producto, incorporando lisina y metionina, aminoácidos esenciales ausentes en el cacao, mientras que el bajo contenido graso (2,24 %) le otorga una textura ligera y

adecuada para dietas hipolipídicas. El nivel de ceniza (1,20 %) y los minerales confirman su carácter funcional y su contribución a la nutrición mineral. Además, la humedad reducida (0,93 %) garantiza estabilidad físico-química y una vida útil prolongada del producto. Los resultados microbiológicos verifican su inocuidad, validando así el éxito del desarrollo experimental propuesto en la investigación.

- El proceso de obtención mostró un rendimiento másico global del 98,73%, con pérdidas mínimas localizadas en las etapas de pulverizado, tamizado y envasado. En el balance energético, las operaciones mecánicas de molienda, tamizado y homogeneización implicaron un consumo total aproximado de 1,57 kWh ($\approx$ 5.666 kJ), reflejando un proceso eficiente y de baja demanda energética. De acuerdo a los datos obtenidos en el balance general el costo unitario por presentación comercial de 500 gramos de chocolate fortificado sería de 22,71 Bs, valor que resulta competitivo frente a productos similares del mercado nacional, considerando el valor agregado nutricional que aporta la incorporación de la quinua real.
- Los resultados de la prueba organoléptica con 16 jueces no entrenados mostraron una tendencia clara hacia la muestra M4, con promedios superiores en el atributo de sabor (escala de 1 a 7), evidenciando la aceptación del producto fortificado frente a las formulaciones con menor proporción de quinua. Los factores de las variables con mejor aceptación fueron 15% de quinua en una mezcla de 25% de chocolate en polvo y 75% de azúcar.
- El análisis estadístico basado en un diseño factorial 2^2 con dos repeticiones por tratamiento permitió evaluar el efecto de los factores Quinua y Chocolate sobre la variable respuesta del proceso de fortificación. Los resultados del ANOVA revelaron que el factor Quinua ejerció un efecto moderadamente significativo ($F = 7,64$; $p = 0,051$), mientras que el Chocolate no mostró influencia estadística relevante ($F = 0,45$; $p = 0,539$). Sin embargo, la interacción Quinua $\times$ Chocolate fue altamente significativa ($F = 39,08$; $p = 0,003$), demostrando un efecto sinérgico positivo entre ambos componentes.

2.8 Recomendaciones

- Ampliar la investigación hacia el escalado industrial del proceso, incorporando sistemas de control automatizado para asegurar uniformidad y reproducibilidad en la mezcla.
- Implementar estudios de vida útil y estabilidad microbiológica, considerando condiciones de almacenamiento y humedad relativa para definir la fecha de caducidad del producto.
- Explorar la incorporación de otros cereales andinos (amaranto, cañahua o kiwicha) en formulaciones combinadas, con el fin de potenciar el valor nutricional y funcional del chocolate.
- Estandarizar las especificaciones técnicas del producto final (humedad, granulometría, proteína, grasa y carbohidratos) para su registro sanitario ante el SENASAG.
- Realizar campañas de difusión y degustación para promover el consumo del chocolate fortificado como alimento saludable, especialmente en programas de alimentación escolar.
- Fomentar alianzas entre productores de cacao y quinua, universidades y microempresas locales para fortalecer la cadena agroindustrial del cacao andino.
- El proceso puede adaptarse a equipos de mayor capacidad (≥ 10 kg/lote) utilizando los mismos parámetros de molienda y tamizado. Esto permitiría el desarrollo de una línea piloto de producción artesanal, apta para emprendimientos locales

