

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

La maca es un producto originario de los Andes Centrales del Perú, se cultiva desde la época incaica en altitudes comprendidas entre los 3800 a 4500 m.s.n.m. Esta planta herbácea, presenta no solo un alto valor nutricional sino también es valorada por su papel medicinal. Entre los componentes químicos de este cultivo andino que se han relacionado con sus acciones terapéuticas como el aumento de la fertilidad, niveles de energía, acción antioxidante y la tasa de crecimiento, destacan: los glucosinolatos, esteroides, ácidos grasos y amidas (macamidas), alcaloides (lepidilinas A y B, macaridina) y polifenoles (Gabriel Sifuentes-Penagos, 2015).

El consumo de la maca (*lepidium meyenii*) está asociado con beneficios a la salud, destacando su potencial para ayudar en el síndrome de fatiga, prevenir la osteoporosis y puede actuar como un antidepresivo. Si bien sus propiedades para la salud son variadas cabe señalar que, esta planta cuenta con distintas variedades dependiendo del color de su hipocótilo clasificándose en tres tipos: maca negra, amarilla y roja, cada una con características distintas que pueden influir en su aplicación.

Producción de maca en el mundo

En el mercado asiático China se posiciona como el mayor productor, debido a que la planta se ha importado en el año 2002 y se trasplantó con éxito en el año 2003, desde entonces la maca ha sido cultivada en este país por más de una década.

La principal provincia productora de maca en China es Yunnan seguida por Xinjiang, debido a que ambas regiones presentan ciertas condiciones agroclimáticas las cuales son similares a su lugar de origen andino. En estas regiones la maca se cultiva a una altura aproximada de 4000 m.s.n.m., rango que es considerado óptimo para su desarrollo. No obstante, a pesar de estas condiciones, la adaptación de la planta en el territorio chino no ha sido completamente exitosa, lo cual ha llevado al uso de agroquímicos para mejorar el cultivo.

La producción de la maca (*lepidium meyenii*) tiene un crecimiento anual de 3,7% a nivel global, con el transcurso de los años la producción de China ha crecido en gran

medida, si tomamos en cuenta los datos desde el 2019 donde se tuvo una superficie cultivada de 1.116,13 hectáreas y 2021 con una superficie de 13.000 hectáreas, con un rendimiento de 1 a 3 toneladas por hectárea, datos representados a continuación:

Tabla In - 1: Producción Histórica de Maca en China

Gestión	Superficie Cultivada (Ha)	Producción (Ton)
2022	13481,00	26962,00
2023	13979,80	27959,59
2024	14497,05	28994,10

Fuente: Elaboración propia en base a (Emilio Yábar Villanueva, 2019), (CIEN, 2024)

Producción de maca en Latinoamérica

La producción de maca en Latinoamérica presenta una superioridad en comparación al mercado asiático, dado que esta planta es originaria de la región, específicamente de Perú, quien es el mayor productor de maca tanto en Latinoamérica como a nivel global, de igual forma países como Argentina y Bolivia son también productores de maca, pero, a menor escala en comparación a Perú.

Perú es el principal productor de esta planta a nivel mundial dado que ha mostrado un crecimiento sostenido a lo largo de los años cubriendo casi el 90% del mercado, según datos del Sistema Integrado de Estadística Agraria de Perú, en el 2023 se tuvo una producción de 18.700 toneladas de maca donde las principales regiones productoras dentro del país fueron: Junín, Huancavelica, Pasco y Puno. Datos de producción desde el año 2018 – 2024, que son representados en la tabla a continuación

Tabla In - 2: Producción Histórica de Maca en Perú

Gestión	Superficie Cultivada (Ha)	Producción (Ton)
2022	2575	14242
2023	3467	18700
2024	3308,13	18735,87

Fuente: (SiEA, 2025)

En Argentina la producción de maca es muy limitada, a pesar de que las condiciones agroclimáticas en ciertas regiones del país son óptimas para el cultivo de esta planta. Actualmente la producción de maca en el país está destinado principalmente al autoconsumo y venta a pequeña escala dentro de su región. A pesar, que Argentina no produce maca a gran escala, existe un interés por el consumo de esta planta debido a sus propiedades a favor de la salud, según la Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT) el consumo de esta planta está estrictamente regulado, debido a la gran demanda de productos derivados de maca.

Producción de maca en Bolivia

En Bolivia, el cultivo de maca (*lepidium meyenii*) ha sido reintroducido desde hace más de una década. Actualmente, la producción se encuentra centrada en las regiones del Altiplano y valles altos debido a sus exigencias agroclimáticas. Según Quispe (2010), las comunidades de Chirumen, Jachapampa, Laurani y Huaylloma del municipio de Yaco (La Paz), así como regiones en Potosí y el municipio de Icla en Chuquisaca, representan las zonas productivas más importantes.

En los últimos años, la producción de maca ha tomado relevancia no solo como cultivo alternativo, sino como un recurso con potencial industrial para la elaboración de productos con valor agregado.

Tabla In - 3: Producción de maca en Bolivia

Gestión	Producción (Ton)	Producción (kg)
2022	857	857000
2023	888,71	888709
2024	921,59	921590

Fuente: Elaboración propia con base en INE, MDPYEP – DAPRO

A nivel departamental, La Paz se destaca como el principal productor, seguido por Oruro, Potosí y Chuquisaca que presentan niveles de producción intermedios, mientras que Cochabamba y Tarija registran una menor participación. Esta distribución evidencia una concentración productiva en el altiplano.

Tabla In - 4: Producción de maca por departamento

Departamento	Producción 2022 (kg/año)	Producción 2023 (kg/año)	Producción 2024 (kg/año)
La Paz	565000	585905	607583
Oruro	155000	160735	166682
Potosí	78000	80886	83878
Chuquisaca	52000	53924	55919
Cochabamba	4000	4129	4253
Tarija	3000	3130	3275

Fuente: Elaboración propia en base a INE, MDPYEP – DAPRO

De acuerdo a la información recopilada, las exportaciones de maca en su forma natural (raíz) ha decrecido a lo largo de los años, logrando que de esta manera las exportaciones a partir del 2018 sean prácticamente nulas, debido que con el paso de los años se ha dado un valor agregado a esta raíz, logrando que de esta manera Bolivia empiece a exportar maca en polvo y capsulas de la misma, según el (IBCE), durante la gestión 2007 se exportó más de 2.400 kg y en el año 2008 se llegó a exportar 1135 kg de capsulas de maca.

Tabla In - 5: Exportaciones de Bolivia de Maca en Polvo

Gestión	Valor en (Ton)	Valor en (\$US)
2022	9,32	254534
2023	9,80	3617
2024	10,28	235

Fuente: INE, MDPYEP – DAPRO

Bebidas energéticas

El mercado de las bebidas energéticas ha ganado relevancia en los últimos años, debido a la búsqueda de alternativas saludables, puesto que muchas de las bebidas que se encuentran en el mercado tienen exceso de azúcares, cafeína u otros aditivos.

El origen de este tipo de bebidas se debe al consumo de diferentes culturas de plantas u alimentos medicinales que tienen propiedades estimulantes. La región Asia Pacífico dominó el mercado mundial de bebidas energéticas en 2023, gracias a diversos factores, como la creciente concienciación de los consumidores sobre los beneficios de un estilo de vida saludable y la adopción de dichas prácticas (POLARIS, 2024)

En Latinoamérica el uso de plantas como la coca, yerba mate, guaraná ginseng andino o la maca andina, son usados ampliamente para medicina tradicional o para mejorar el rendimiento físico. El consumo de bebidas energéticas en esta región tiene cierta popularidad, especialmente en países como Perú que tienen el 30% de consumo, Brasil con el 29% y Chile con un 27% (STATISTA, 2024).

Sin embargo, el uso de estas plantas o raíces naturales no solo contribuyen a mejorar el rendimiento, sino que son una fuente rica en antioxidantes y anti inflamatorios, tomando en cuenta que Bolivia cuenta con el suelo muy rico para el cultivo de varias planta y raíces, ha incursionado en el mercado de las bebidas energéticas y energizantes desde el año 2023

Tabla In - 6: Exportaciones de Bolivia (bebidas energéticas – energizantes)

Gestión	Valor en (Ton)	Valor en (\$US)
2023	4,31	3.383,30
2024	7,00	5.426,98
2025	4,65	4.114,08

Fuente: INE, MDPYEP – DAPRO

Uso actual de la maca y su aplicación en bebidas energéticas

En la actualidad, la maca (*Lepidium meyenii*) ha evolucionado desde su consumo tradicional en preparaciones caseras hacia su incorporación en productos con mayor valor agregado, como harinas, extractos, cápsulas y bebidas funcionales. Esta transformación responde a la creciente demanda de alimentos naturales que, además de nutrir, aporten beneficios para la salud.

En este contexto, la maca ha comenzado a utilizarse en la elaboración de bebidas energéticas naturales, posicionándose como una alternativa frente a las bebidas

convencionales. Su consumo en formato líquido favorece una mejor absorción de sus nutrientes, lo que contribuye a una liberación de energía más eficiente en el organismo. A diferencia de las bebidas energéticas tradicionales, que contienen altos niveles de cafeína y azúcares, la maca contribuye a mejorar el rendimiento físico y mental de manera sostenida, sin generar efectos adversos como fatiga posterior o alteraciones en el sistema nervioso. Asimismo, su consumo puede ayudar a reducir la fatiga y mejorar la resistencia física, siendo adecuada para personas con alta demanda energética (Gustavo F Gonzales, 2014).

Estas características, sumadas a su aporte de nutrientes y antioxidantes, posicionan a la maca como una materia prima adecuada para el desarrollo de bebidas energéticas naturales, en concordancia con las tendencias actuales de consumo hacia productos más saludables. En Bolivia, su uso con valor agregado se ha incrementado en los últimos años, evidenciado en la elaboración de productos derivados como polvos y suplementos por parte de empresas como Natur Alimentos SRL, Naturacell Nutrition S.R.L., Grupo Alcos S.A. y Bolivian Andean Maca Export.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Elaborar una bebida energética natural en base a maca.

Objetivos Específicos

- Caracterizar la materia prima mediante análisis fisicoquímicos (humedad, ceniza y pH).
- Realizar el diseño factorial en las etapas de extracción y formulación de la bebida energética de maca.
- Calcular y evaluar el rendimiento del proceso seleccionado mediante un balance de materia y energía para la elaboración de la bebida.
- Caracterizar el producto final mediante análisis fisicoquímicos (proximales, pH, °Brix, acidez, azúcares y sólidos totales) y microbiológicos (E.coli, aerobias mesófilas, coliformes totales, mohos y levaduras).
- Realizar el análisis sensorial de la bebida energética en base a maca mediante un test de escala hedónica.
- Determinar el costo del producto terminado.

JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

El desarrollo de un trabajo para la elaboración de una bebida energética natural hecha en base a maca (*lepidium meyenii*) nace de la necesidad de darle un valor agregado a este tubérculo andino, que es reconocida por sus múltiples beneficios a la salud, como sus propiedades energizantes, de igual forma debemos tomar en cuenta el incremento en la demanda en productos naturales porque la población busca alternativas saludables que sustituyan las bebidas energéticas industriales.

Justificación tecnológica

La elaboración de la bebida energética a base de maca se basa en un proceso que incluye la extracción acuosa de la materia prima mediante calentamiento en baño maría, seguida de la filtración y formulación. La elección de esta tecnología permite trabajar con equipos accesibles y seguros, a diferencia de métodos que emplean solventes químicos u orgánicos. Asimismo, el uso de agua como solvente y el control de la temperatura favorecen la conservación de los compuestos de la maca, permitiendo obtener un producto inocuo y de calidad.

Justificación económica

En la actualidad, las bebidas energéticas industriales presentan un alto consumo, pero dependen de insumos sintéticos y procesos más complejos, lo que incrementa sus costos. En comparación, las bebidas naturales han ganado interés en el mercado debido a la preferencia por productos más saludables.

En este contexto, la bebida a base de maca se plantea como una alternativa, ya que utiliza materia prima nacional y un proceso productivo basado en extracción acuosa, lo que permite optimizar los costos operativos. Además, al tratarse de un producto con valor agregado, puede resultar competitivo en el mercado, contribuyendo al aprovechamiento de la maca y a la generación de oportunidades de emprendimiento.

Justificación social

El presente proyecto beneficia directamente a consumidores que buscan alternativas más saludables frente a las bebidas energéticas convencionales, las cuales pueden

generar efectos negativos por su alto contenido de cafeína, azúcares y otros aditivos. En este contexto, la bebida a base de maca se plantea como una alternativa natural, orientada a mejorar los hábitos de consumo y el bienestar de la población.

Asimismo, el proyecto aporta al aprovechamiento de la maca como recurso ancestral andino, beneficiando a familias agricultoras del Altiplano y promoviendo el aprovechamiento de materia prima nacional. Desde el punto de vista cultural, revaloriza un recurso ancestral andino mediante su incorporación en productos innovadores, y además puede generar un impacto positivo a nivel local mediante actividades de producción y comercialización.

Justificación ambiental

El proceso propuesto reduce la contaminación al utilizar agua como único solvente de extracción, evitando la generación de efluentes químicos agresivos. Asimismo, el uso de baño María permite un control adecuado de la temperatura y un menor consumo energético. En cuanto a los residuos, el subproducto sólido obtenido después de la filtración (bagazo de maca) es de origen orgánico y puede ser aprovechado como abono, disminuyendo la generación de desechos. Por otro lado, los residuos inorgánicos son mínimos y pueden ser gestionados mediante reciclaje. Además, los efluentes generados en el proceso presentan baja carga contaminante, por lo que pueden ser manejados sin impacto significativo en el medio ambiente.

Justificación personal

La realización de este proyecto responde al objetivo de cumplir con el requisito académico para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Química. Al mismo tiempo, representa una oportunidad para integrar los conocimientos adquiridos durante la formación profesional. La elección del tema está motivada por un interés personal en promover el consumo de alternativas energéticas naturales que no afecten a la salud.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Descripción de la planta de maca

La familia botánica Brasicásea, presenta más de 350 géneros, que cuenta con aproximadamente 2500 especies, la más conocida es la maca, la única planta brasicásea andina que se cultiva a una altitud de 3950 y 4500 m.s.n.m., puede alcanzar una altura de más de 15 cm, y llegar a tener de 12 a 20 hojas, las cuales cubren sus raíces de las bajas temperaturas del ambiente; es una típica planta de puna, compuesta por una roseta externa de hojas y un órgano subterráneo de almacenamiento que deriva del hipocótilo; la parte superior mide aproximadamente de 1- 3 cm. por 1,5 - 2,0 cm, presenta diferentes ecotipos: amarillo, negro y rojo. (Hernan Boris Valdivia Zambrana, 2013)

Figura I - 1: Planta de maca



Fuente: (EcoRiche, 2023)

1.2. Composición nutricional de la maca

La maca (*lepidium meyenii*) es un alimento natural completo debido a su alto valor proteico y contenido vitamínico, según estudios realizados por la Revista Boliviana de Química, la composición nutricional de la maca incluye una cantidad significativa de hidratos de carbono, lo cual la convierte en una fuente importante de energía. Adicionalmente el contenido graso de esta planta es relativamente bajo y en su composición se encuentran macronutrientes y micronutrientes los cuales son fundamentales para el cuerpo humano.

Tabla I - 1: Composición nutricional de la maca

Componente	Raíz de Maca Seca 100 g
Calorías	314,0 kcal
Humedad	15,30 g
Proteínas	14,00 g
Grasas	1,60 g
Carbohidratos	64,40 g
Fibras	8,50 g
Cenizas	5,0 g
Calcio	247,0 mg
Fosforo	183,00 mg
Hierro	14,70 mg
Tiamina	0,20 mg
Riboflavina	0,35 mg
Ácido Ascórbico	2,50 mg

Fuente: (Yapu, 2007)

1.3. Propiedades nutricionales de la maca

Las propiedades nutricionales de la maca, derivan directamente de la composición de la misma. El contenido proteico y vitamínico de esta raíz, contribuye al crecimiento y reparación de los tejidos del cuerpo, las vitaminas que se encuentran en la maca ayudan al metabolismo del cuerpo, funcionan como antioxidante, ayudan al equilibrio hormonal y al aumento de fertilidad.

De acuerdo a su composición nutricional de la maca, se concluye que, esta raíz tiene un gran potencial para poder emplearla como extracto en la elaboración de bebidas energéticas, debido a que, los principales componentes de ese producto son los hidratos de carbono, que son los que proporcionan energía.

1.4. Maca liofilizada en polvo

La liofilización es un proceso de deshidratación por sublimación al vacío, diseñado para eliminar el agua de un material biológico sin alterar su estructura molecular. A diferencia del secado térmico convencional, la liofilización consiste en congelar la materia prima (maca) y reducir la presión circundante para permitir que el agua congelada pase directamente del estado sólido al gaseoso (Enrique Fuentes P, 2018)

1.4.1. Proceso de liofilización

La liofilización es un procedimiento de secado cuyo principio es la sublimación del hielo de un producto congelado. El ciclo se desarrolla en dos fases:

La fase de sublimación, también llamada “secado primario”, que elimina alrededor del 90 % del agua y la fase de desorción o de “secado secundario”, que elimina el 10 % del agua ligada restante y que permite obtener un producto con una humedad final del 2%. Esta fase es una evaporación al vacío a temperatura de 20 a 60 °C.

1.4.2. Características de la maca liofilizada

La maca liofilizada se distingue por conservar su porosidad original, lo que facilita una rehidratación rápida. A diferencia de la maca sometida a secado convencional, la liofilización permite mantener el color claro natural y el aroma característico de la raíz fresca, evitando la aparición de sabores indeseables asociados a la degradación térmica, como notas amargas o “quemadas” (Enrique Fuentes P, 2018).

Tabla I - 2: Características de la maca liofilizada

Parámetro	Maca liofilizada (100g)
Humedad	2% – 5 %
Valor energético	350 kcal
Carbohidratos	65 – 80 %
Proteína	10% – 15 %
Fibra	8% – 12 %
Grasa	1% – 3 %

Fuente: Elaboración propia en base a (Gabriel Sifuentes-Penagos, 2015), (Korkmaz, 2018)

1.4.3. Beneficios del uso de la maca liofilizada en polvo

La maca liofilizada en polvo presenta diversas ventajas desde el punto de vista nutricional y tecnológico. En primer lugar, el proceso de liofilización permite preservar en mayor medida los compuestos bioactivos presentes en la raíz, tales como las macamidas y los macaenos, los cuales están asociados a sus propiedades funcionales (Emilio Yábar Villanueva, 2019).

Asimismo, la estructura porosa característica del producto liofilizado favorece una mayor solubilidad y dispersión en medios acuosos, lo que puede contribuir a una mejor disponibilidad de los nutrientes. Estas características hacen de la maca liofilizada una alternativa adecuada frente a otros métodos de secado que implican el uso de altas temperaturas.

Adicionalmente, el bajo contenido de humedad característico de la maca liofilizada contribuye a una mayor estabilidad durante el almacenamiento, al reducir la actividad de agua y limitar el crecimiento microbiano. Esto permite que el insumo mantenga sus propiedades nutricionales y sensoriales durante periodos prolongados, los cuales pueden alcanzar entre 18 y 24 meses bajo condiciones adecuadas de almacenamiento.

1.5. Dosis diaria recomendada de maca

La maca es un alimento funcional cuyo consumo debe realizarse en cantidades moderadas para evitar posibles efectos adversos y asegurar sus beneficios nutricionales. Diversos estudios señalan que la dosis diaria recomendada de maca para una persona adulta es aproximadamente de 5 g por día.

Esta cantidad permite aprovechar sus propiedades nutricionales y energéticas, relacionadas principalmente con su contenido de carbohidratos, proteínas y compuestos bioactivos, sin generar desequilibrios en el organismo (Urrutia, 2021).

1.6. Definición de bebida energética

El término “bebida energética” se asocia con aquellas bebidas destinadas a proporcionar energía al organismo. Generalmente, contienen carbohidratos como fuente energética y compuestos como cafeína, taurina o extractos vegetales que

contribuyen a su efecto estimulante. En muchos casos, las bebidas comercializadas presentan un contenido calórico superior a 45 kcal por cada 100 mL debido a la presencia de azúcares. Sin embargo, su clasificación no depende únicamente del aporte calórico, sino también de su composición y finalidad de consumo.

1.6.1. Tipos de bebidas energéticas

1.6.1.1. Según contenido calórico

1.6.1.1.1. Bebidas energéticas altas en calorías

Este tipo de bebidas altas en calorías, aportan energía al cuerpo, debido a la cantidad elevada de estas que es suministrada principalmente por azúcares.

1.6.1.1.2. Bebidas energéticas bajas en calorías

Este tipo de bebidas emplean edulcorantes artificiales para poder darle el dulzor necesario, reciben este nombre debido a su alto contenido de nutrientes.

1.6.1.2. Bebidas energéticas deportivas

Estas bebidas contienen carbohidratos, que ofrecen un aporte inmediato de energía, también contienen sodio y potasio, que el cuerpo pierde a través del sudor. Estas sustancias ayudan a mantener el equilibrio de los fluidos corporales (Anzilotti, 2019).

1.6.1.3. Bebidas energéticas a base de plantas

En los últimos años el uso de distintos tipos de plantas para elaborar bebidas energéticas ha sido bastante común, las principales plantas que se usan son: té verde, maca, coca, jengibre, guaraná, entre otros.

1.7. Diferencia entre bebidas energéticas y bebidas energizantes

La "bebida energizante" contienen estimulantes, tales como la cafeína y taurina, además de otros ingredientes que cumplen la misma función para mejorar el rendimiento físico. Estas bebidas se caracterizan por un contenido en exceso de estimulantes y vitaminas del grupo B. El efecto de este tipo de bebidas, se debe a la potente estimulación que provocan la cafeína y otras sustancias presentes, lo que genera

una sensación de activación en el organismo en lugar de proporcionar energía metabólica sustancial (Paola Silva Maldonado, 2022).

Las bebidas energéticas aportan la energía de manera gradual, mientras que las bebidas energizantes actúan principalmente sobre el sistema nervioso, generando una estimulación rápida, pero de corta duración. Por el contrario, las bebidas energéticas están formuladas de tal manera que aportan nutrientes y compuestos que ayudan al metabolismo y mantiene los niveles de energía por más tiempo.

1.8. Insumos y componentes en bebidas energéticas

1.8.1. Pulpa de frutas

La incorporación de pulpa de frutas en las bebidas energéticas naturales tiene como objetivo principal mejorar la aceptabilidad del producto, en el desarrollo de bebidas la pulpa de frutos rojos es utilizada por su aporte en compuestos bioactivos y especialmente antioxidantes. Además, contribuyen al perfil sensorial al proporcionar color, aroma y sabor característicos, mejorando la aceptabilidad del producto.

1.8.2. Ácido cítrico como regulador de pH

El ácido cítrico es ampliamente utilizado en la industria de bebidas como regulador de pH, debido a su capacidad para acidificar el medio. Asimismo, contribuye al perfil sensorial al proporcionar un sabor ácido característico, lo cual favorece la aceptación del consumidor. Su uso es común en bebidas energéticas y funcionales.

1.8.3. Azúcar

El azúcar es uno de los edulcorantes más utilizados en la industria de bebidas, debido a su capacidad para proporcionar dulzor y mejorar el sabor del producto. Además, contribuye al equilibrio del perfil sensorial al contrarrestar sabores ácidos o amargos.

1.9. Composición nutricional de las bebidas con aporte energético

El conocimiento de la composición nutricional de las bebidas con aporte energético es fundamental, debido al incremento de su consumo en los últimos años. Estas bebidas suelen contener componentes como cafeína, carbohidratos, taurina y ginseng, los

cuales contribuyen a su efecto estimulante o energético. A continuación, se presenta una tabla comparativa de bebidas con y sin estimulantes.

Tabla I - 3: Composición nutricional de bebidas con aporte energético

Componente	Gatorade “Manzana” Bebida S/E (200ml)	Rockstar Bebida C/E (200ml)
Energía	48 kcal	96 kcal
Carbohidratos	12 g	24 g
Azúcar	12 g	24 g
Proteína	0,00 g	0,00 g
Grasa	0,00 g	0,00 g
Grasa Saturada	0,00 g	0,00 g
Grasa Trans	0,00 g	0,00 g
Sodio	90 mg	12 mg
Potasio	24 g	0,00 mg

Fuente: Elaboración propia 2026

1.10. Procesos de elaboración de una bebida energética

Para la elaboración de una bebida energética natural, es importante conocer distintas técnicas o procesos, con la finalidad de seleccionar el método más adecuado de acuerdo a los recursos disponibles, asegurando la obtención de un producto de calidad. A continuación, se describen algunos de los principales métodos de elaboración:

1.10.1. Método de extracción solido – liquido (medio acuoso)

1.10.1.1. Preparación de la materia prima

Es la etapa inicial del proceso, donde consta de la recepción y pesado de la materia prima.

1.10.1.2. Extracción solido – liquido (medio acuoso)

La extracción mediante este método consiste en verter agua caliente no mayor a una temperatura de 80°C sobre la materia prima, se prosigue a agitar constantemente para permitir el contacto íntimo entre la materia prima y el agua, con la finalidad de obtener una solución cargada de todos los principios activos de la maca (PÉREZ, 2017).

1.10.1.3. Filtración

1.10.1.3.1. Tipos de filtración

1.10.1.3.1.1. Filtración por gravedad

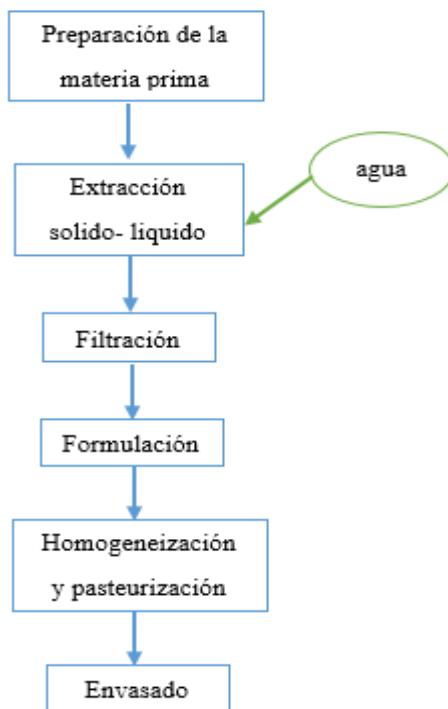
Es el método de filtración más básico, la mezcla pasa por un filtro, en su mayoría papel filtro u otro, se utiliza la gravedad como fuerza impulsora para que el fluido pueda a travesar el material filtrante, dejando a su paso las impurezas y solidos no deseados.

1.10.1.3.1.2. Filtración al vacío

Se utiliza un sistema con bomba al vacío para acelerar el paso del fluido, es muy similar a la filtración por gravedad, con la diferencia que en este proceso se utiliza una bomba para que la presión sea menor a la atmosférica.

Este proceso concluye con las etapas de formulación, homogeneización, pasteurización y su respectivo envasado.

Figura I - 2: Diagrama del proceso 1.7.1. extracción solido – liquido (medio acuoso)



Fuente: Elaboración Propia 2026

1.10.1.4. Ventajas y desventajas del método de extracción sólido – líquido (medio acuoso)

Cuadro I - 1: Ventajas y desventajas de la extracción sólido – líquido (medio acuoso)

Criterio	Ventajas	Desventajas
Tiempo del proceso	Puede tardar entre 15 a 30 min dependiendo de la temperatura que se quiera tomar	No se llega a una extracción del 100% de sus componentes
Seguridad Alimentaria	El extracto acuoso es considerado seguro para el consumo humano y no presenta toxicidad aguda.	La falta de estandarización del extracto puede afectar la consistencia del producto final.
Conservación de compuestos bioactivos	La extracción acuosa conserva compuestos hidrosolubles como proteínas y algunas vitaminas.	Algunos compuestos liposolubles pueden perderse o reducirse en la extracción acuosa.
Aplicación en bebidas	Es compatible y no altera significativamente el sabor ni la estabilidad del producto.	La estabilidad de la bebida puede verse afectada por el pH, temperatura y almacenamiento.
Equipo a usar	No es necesario un equipo sofisticado para poder aplicar este método	

Fuente: Elaboración propia con base en (Korkmaz, 2018) y (Huerta Ojeda, y otros, 2025)

1.10.2. Método de extracción asistida por ultrasonido (EAU)

Este método de extracción utiliza sonidos de alta frecuencia, con el fin de desprender el compuesto buscado del material vegetal. Las partículas sólidas y líquidas vibran y se aceleran ante la acción ultrasónica, como resultado el soluto pasa rápidamente de la fase sólida al solvente (Rocio Azuola, 2007).

Este proceso cuenta con una previa preparación de la materia prima y sus etapas son.

1.10.2.1. Preparación del disolvente

Consta de selección y preparación el disolvente adecuado, tomando en cuenta los compuestos que se desean obtener de la materia prima.

1.10.2.1.1. Disolvente acuoso

Se emplea agua destilada, con el propósito de que contaminantes o minerales no afecten la extracción o varíen el pH, este disolvente es el más seguro y permite la extracción de compuestos hidrosolubles, asegurando un proceso 100% natural.

1.10.2.1.2. Disolvente hidroalcohólico

Es una mezcla de etanol – agua en relación (1:30, 1:50, 1:70) deben estar homogenizados antes de entrar en contacto con la materia prima, el tipo de alcohol puede ser de grado alimenticio tomando en cuenta el uso del producto final, con este disolvente se requiere de una etapa adicional de evaporación (Abner F. Obregón, 2024).

1.10.2.2. Mezcla y aplicación del ultrasonido

Se realiza la mezcla de la materia prima con el disolvente en un recipiente adecuado, puede ser baño o sonda ultrasónica y se aplica una frecuencia entre 20 a 40 kHz por un periodo de tiempo, controlando la temperatura de operación (Abner F. Obregón, 2024).

1.10.2.3. Evaporación

Tiene el objetivo de eliminar el etanol del extracto obtenido, sin dañar los compuestos bioactivos presentes en el extracto resultante de la etapa anterior.

1.10.2.3.1. Evaporación por rotavapor

El proceso no daña las propiedades del extracto, se realiza con una combinación de rotación, calentamiento no mayor a 50°C y con una bomba al vacío.

1.10.2.3.2. Evaporación simple a baja temperatura

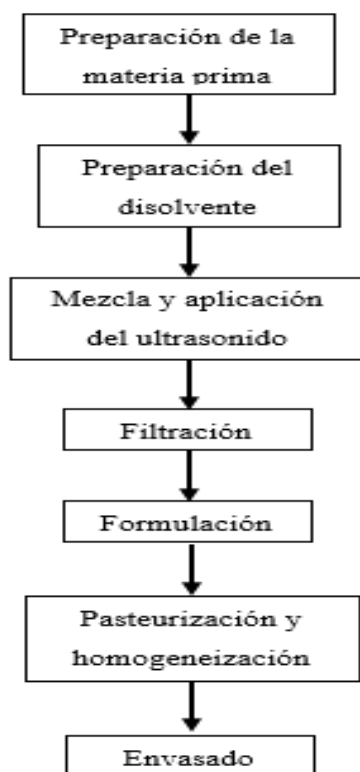
Se puede realizar en recipiente donde se tenga un control constante de la temperatura, precautelando que no exceda 50 o 60°C para evitar daño en los principios bioactivos de la maca y con una agitación constante.

1.10.2.4. Filtración

Se pueden emplear los mismos tipos de filtración que se mencionan en el proceso anterior (1.7.16.).

En la etapa final del proceso se realiza una formulación, homogeneización y pasteurización de la bebida energética para poder envasarla.

Figura I - 3:Diagrama del proceso 1.7.2. extracción asistida por ultrasonido



Fuente: Elaboración Propia 2026

1.7.2.5. Ventajas y desventajas del método de extracción asistida por ultrasonido

Cuadro I - 2: Ventajas y desventajas de la extracción asistida por ultrasonido

Criterio	Ventajas	Desventajas
Tiempo del proceso	Reduce drásticamente el tiempo de extracción (de horas a minutos).	Requiere optimización de parámetros para evitar pérdida de actividad biológica.
Sostenibilidad y seguridad	Utiliza solventes seguros (agua-etanol), reduce el uso de productos químicos tóxicos.	El equipo de ultrasonido de alta potencia puede tener un costo inicial elevado.
Conservación de compuestos bioactivos	Aumenta significativamente el rendimiento de compuestos bioactivos en menos tiempo.	El exceso de potencia o tiempo puede degradar compuestos termo sensibles.
Aplicación en bebidas	Los extractos obtenidos por EAU son estables, solubles y compatibles.	La escalabilidad industrial puede requerir adaptación de equipos y validación de procesos.
Equipo a usar		El equipo que se requiere para la aplicación de este método no se tiene disponible en el L.O.U.

Fuente: Elaboración propia con base en (Abner F. Obregón, 2024) y (Rocio Azuola, 2007)

1.11. Estándares normativos y requisitos de calidad

Para la elaboración de bebidas a base de extractos vegetales y pulpas de fruta, se consideran como referencia los lineamientos establecidos en las normas bolivianas NB 325001:2024 y NB 36007:2016, complementados con el estándar internacional Codex Alimentarius CXS 247-2005. Este marco normativo permite establecer los parámetros técnicos de calidad e inocuidad aplicables a este tipo de productos.

1.11.1. Parámetros fisicoquímicos

Para asegurar la calidad y estabilidad de la bebida, es fundamental establecer parámetros técnicos que sirvan como referencia en la formulación. Estos criterios garantizan que el producto no solo cumpla con su función energética, sino que también sea seguro y agradable para el consumidor.

Tabla I - 4: Requisitos fisicoquímicos y organolépticos según normativa

Parámetro	Valor requerido	Norma Referencial
pH	$\leq 4,5$	NB 325001:2024
Valor energético	> 20 kcal / 100ml	NB 325001:2024
Sólidos Solubles	10,00 – 14,00 °Brix	CXS 247-2005 / NB 36007
Acidez	0,1 – 0,4 %	CXS 247-2005
Color	Característico	NB 325001:2024
Olor	Característico	NB 325001:2024
Sabor	Característico	NB 325001:2024
Pureza física	Libre de materias extrañas	NB 325001:2024

Fuente: CXS 247-2005, NB 36007, NB 325001:2024

1.11.2. Parámetros microbiológicos

Según la NB 325001:2024, establece los criterios microbiológicos de aceptación o rechazo que garantizan la inocuidad y estabilidad del alimento durante su vida útil. Estos estándares actúan como límites críticos de control que todo producto debe cumplir

Tabla I - 5: Requisitos microbiológicos según normativa NB: 325001:2024

Parámetro	Unidad	Categoría	Clase	n	c	Límite		Técnica/Método de ensayo de referencia
						m	M	
Recuento de Aerobios Mesófilos Totales	UFC/ml	3	3	5	1	$<2 \times 10^1$	1×10^2	Recuento en placa NB32016
Mohos y levaduras	UFC/ml	3	3	5	1	$<1 \times 10^1$	1×10^1	Recuento en placa NB32006 / NB32015

Fuente: NB 325001:2024

Donde:

n: número de unidades de muestras a ser examinadas.

c: número máximo de unidades de muestra que puede contener un número de microorganismos comprendidos entre "m" y "M" para que el alimento sea aceptable.

m: valor del parámetro microbiológico por el cual o por debajo del cual el alimento no representa un riesgo para la salud.

M: valor del parámetro microbiológico por encima del cual el alimento representa un riesgo para la salud.

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Descripción del método de investigación

La presente investigación se enmarca dentro de la modalidad de “Investigación Aplicada”, ya que su objetivo es desarrollar y formular una bebida energética a base de maca (*Lepidium meyenii*). Para ello, se emplearon dos diseños factoriales 2x2, cada uno con tres réplicas, lo que permitió evaluar el efecto de dos variables independientes sobre una variable de respuesta.

En el primer diseño, las variables independientes fueron la relación extracto de maca-agua y el tiempo de extracción, considerando como variable respuesta el rendimiento del extracto. En el segundo diseño, las variables fueron la cantidad de extracto y el nivel de endulzante, tomando como variable respuesta la aceptabilidad sensorial de la bebida.

2.2. Selección del proceso utilizado

En el capítulo anterior se describieron los métodos de obtención del extracto de maca, incluyendo la extracción sólido-líquido (medio acuoso) y la extracción asistida por ultrasonido (EAU). En el desarrollo experimental de esta investigación fue necesario comparar ambos métodos de manera directa, tomando en cuenta las condiciones reales del laboratorio, la disponibilidad de equipos, los recursos existentes y la calidad del extracto obtenido. Este análisis permitió seleccionar el proceso más adecuado, garantizando la viabilidad técnica y la calidad del producto final, en este caso una bebida energética natural a base de maca.

Cuadro II - 1: Comparación entre extracción sólido-líquido y extracción asistida por ultrasonido

Criterio	Extracción sólido – líquido (medio acuoso)	Extracción asistida por ultrasonido
Equipos a usar	Uso de estufa o baño María.	Generador ultrasónico de sonda ($\geq 20\text{kHz}$, 200–500W), no disponible. Rotavapor para eliminar el solvente que se emplea en la E.A.U.
Conservación de compuestos	60–70 % del máximo teórico.	90–100 % en la etapa de extracción. Posible pérdida de compuestos en la etapa de evaporación del solvente.
Tiempo-energía a usar	Uso de baño maría entre 30 – 50 min	30 min , pero requiere 0,2–0,4 kWh de potencia ultrasónica.
Escalabilidad con recursos actuales	Se puede escalar fácilmente con otros equipos de laboratorio.	Es muy difícil escalar, se requiere reactor ultrasónico de 1–5 L.
Aplicación en bebidas	Es compatible y no cambia perfil sensorial	Es compatible, estable y soluble. Posible cambio de perfil sensorial

Fuente: Elaboración propia 2026

En base en los criterios analizados, la extracción sólido-líquido en medio acuoso se define como la opción más adecuada para esta investigación. Aunque presenta un mayor tiempo de operación, su aplicabilidad es viable con los equipos disponibles en el Laboratorio de Operaciones Unitarias y no requiere tecnologías especializadas. Asimismo, utiliza agua como solvente, lo que garantiza un extracto natural y seguro. Desde el punto de vista práctico, permitió obtener un extracto estable, conservar sus características sensoriales y facilitar su incorporación en la formulación de la bebida.

En contraste, la extracción asistida por ultrasonido ofrece un mayor rendimiento, pero su aplicación se ve limitada por la ausencia de un generador ultrasónico y la necesidad de equipos adicionales, además del riesgo de degradación de compuestos durante la evaporación del solvente.

Por estas razones, se determinó que la extracción sólido-líquido en medio acuoso es el método más adecuado para la obtención del extracto base en la bebida energética natural desarrollada en esta investigación.

2.3. Equipos, materiales e insumos utilizados en el proceso

Para la ejecución del proceso de obtención del extracto de maca y la formulación de la bebida energética natural, se emplearon los siguientes equipos, materiales e insumos:

2.3.1. Equipos

- **Baño María:** utilizado en la etapa de extracción y etapa de pasteurización, permitiendo mantener condiciones controladas y uniformes de temperatura durante el proceso.
- **Balanza analítica:** empleada para la medición precisa de las materias primas e insumos utilizados en la formulación.
- **pH-metro:** utilizado para el control y ajuste del pH durante las etapas de extracción y formulación de la bebida.
- **Refractómetro:** empleado para la determinación del contenido de sólidos solubles, expresados en grados Brix (°Brix).
- **Termómetro:** utilizado para el monitoreo continuo de la temperatura durante las diferentes etapas del proceso.
- **Estufa:** empleada para la determinación del rendimiento del proceso de extracción mediante secado de muestras.

2.3.2. Materiales

- **Frascos de vidrio resistentes a temperatura:** utilizados en la etapa de extracción y pasteurización para contener la mezcla sólido-líquido.
- **Tela de poro fino:** empleada en la etapa de filtración para la separación del extracto líquido de los residuos sólidos.
- **Jarras y recipientes auxiliares:** utilizados para la manipulación, mezcla y almacenamiento temporal de los componentes.

2.3.3. Insumos

- **Maca:** materia prima principal utilizada para la obtención del extracto.
- **Azúcar:** utilizado como agente endulzante en la formulación.

- **Ácido cítrico:** empleado como regulador de pH.
- **Pulpa de fruta:** utilizada para mejorar las características sensoriales de la bebida.
- **Agua:** utilizada como solvente en la etapa de extracción y como componente en la formulación.

2.4. Descripción del proceso para la elaboración de una bebida energética natural

El proceso de elaboración de la bebida energética natural incluye una serie de etapas que incorporan operaciones unitarias como la extracción, el filtrado y la pasteurización. A continuación, se describe el proceso seguido en la presente investigación.

2.4.1. Preparación de la materia prima

La materia prima utilizada corresponde a maca liofilizada en polvo, envasada en bolsas trilaminadas selladas herméticamente, lo que garantiza su estabilidad y protección frente a factores externos como la humedad y la contaminación.

En esta etapa se realizó la verificación de la integridad del envase y el pesado de la cantidad requerida de maca para cada ensayo. El agua empleada como solvente fue agua purificada comercial, envasada en botellones de 15–16 L, apta para consumo humano. Se trabajó con agua a temperatura ambiente, aproximadamente 20 °C, verificando de manera práctica su apariencia (ausencia de turbidez visible).

Figura II - 1: Maca liofilizada en polvo



Fuente: Elaboración propia 2026

2.4.2. Extracción sólido – líquido (medio acuoso)

La extracción se realizó con el objetivo de obtener los compuestos solubles de la maca mediante un proceso sólido-líquido en medio acuoso.

Se mezcló maca en polvo con agua purificada en relaciones 1:5 y 1:10. Las mezclas fueron llevadas a baño María hasta alcanzar 50 °C, iniciando en ese punto el tiempo de extracción (30 y 50 minutos). Durante el proceso se mantuvo agitación manual constante, con intervalos menores a 1 minuto entre agitaciones.

Se controlaron los siguientes parámetros:

Temperatura (50 °C)

Tiempo (30 y 50 minutos)

Agitación constante

Estos parámetros fueron definidos a partir de pruebas preliminares, debido a su influencia en la eficiencia del proceso. Adicionalmente, se evaluaron parámetros fisicoquímicos antes y después de la extracción, determinando pH y sólidos solubles (°Brix).

Figura II - 2: Extracción sólido - líquido (maca - agua)



Fuente: Elaboración propia 2026

Tabla II - 1: Control de pH y °Brix antes y después de la extracción

Prueba	Antes de Extracción		Después de Extracción	
	°Brix	pH	°Brix	pH
P ₁₋₁	3,1	6,0	6,9	5,52
P ₁₋₂	6,7	5,83	12,8	5,03
P ₁₋₃	3,1	5,98	6,7	5,48
P ₁₋₄	6,7	5,88	12,4	5,34
P ₂₋₅	3,1	6,01	7,0	5,52
P ₂₋₆	6,8	5,83	12,7	5,02
P ₂₋₇	3,2	5,98	6,7	5,48
P ₂₋₈	6,7	5,87	12,3	5,34
P ₃₋₉	3,0	6,0	7,0	5,52
P ₃₋₁₀	6,8	5,84	12,7	5,02
P ₃₋₁₁	3,1	5,99	6,6	5,5
P ₃₋₁₂	6,8	5,88	12,4	5,33

Fuente: Elaboración propia 2026

2.4.2.1. Determinación del rendimiento de extracción

Para evaluar la eficiencia del proceso de extracción, se determinó el rendimiento, mediante el método gravimétrico, empleando secado en estufa hasta un peso constante, técnica que es utilizada en análisis cuantitativo para determinar sólidos (Skoog, 2015).

El rendimiento se calculó mediante la siguiente ecuación, basada en el método mencionado y adaptada a las condiciones del trabajo.

$$\%R = \left(\frac{m_{aliquotaF.}}{m_{aliquotaI.}} \right) \times \left(\frac{m_{extracto}}{m_{maca}} \right) \times 100$$

Donde:

$m_{aliquotaI.}$ = Es la cantidad de muestra colocada en la estufa para el secado.

$M_{aliquotaF.}$ = Es el peso de la muestra después del secado, hasta peso constante.

$m_{extracto}$ = Es el peso del extracto obtenido después del proceso de filtración.

m_{maca} = Es la cantidad de materia prima (maca) utilizada en la extracción.

2.4.3. Filtración del extracto

Finalizada la etapa de extracción, la mezcla obtenida fue sometida a un proceso de filtración utilizando una tela de poro fino previamente desinfectada, con el fin de separar los sólidos no solubilizados del extracto líquido.

Como resultado de esta operación se obtuvo un extracto más claro y homogéneo, adecuado para las etapas posteriores del proceso.

El residuo sólido generado (bagazo de maca) fue recolectado y sometido a un proceso de secado con el objetivo de reducir su contenido de humedad y facilitar su conservación. Debido a su contenido de fibra, este subproducto presenta potencial de aprovechamiento en aplicaciones alimentarias o como insumo para el desarrollo de alimentos funcionales (Emilio Yábar Villanueva, 2019).

Figura II - 3: Extracto de maca ya filtrado



Fuente: Elaboración propia 2026

2.4.4. Formulación de la bebida

En esta etapa se definió la formulación de la bebida considerando aspectos nutricionales, fisicoquímicos y sensoriales.

Se establecieron niveles de dosificación del extracto equivalentes a 3,0 y 5,0 g de maca por porción, en concordancia con la ingesta diaria recomendada.

Debido al sabor característico de la maca, se incorporó pulpa de frutos rojos (mora, frutilla y frambuesa) con el fin de mejorar la aceptabilidad sensorial. La pulpa utilizada

fue natural, sin conservantes ni otros aditivos, y se incorporó en estado descongelado. Se añadió azúcar en una proporción del 5% del volumen total de la bebida, con el objetivo de aportar dulzor y equilibrar el sabor. Asimismo, se incorporó ácido cítrico como regulador de pH, permitiendo ajustar el extracto (pH 5–5,5) a valores cercanos a 4, favoreciendo la estabilidad del producto.

Figura II - 4: Formulación de la bebida



Fuente: Elaboración propia 2026

Tabla II - 2: Control de pH y °Brix en la etapa de formulación

Muestra	°Brix	pH
M ₁ – 1	9,6	3,2
M ₁ – 2	9,3	3,7
M ₁ – 3	9,9	3,0
M ₁ – 4	10,5	3,5
M ₂ – 5	9,5	3,2
M ₂ – 6	9,3	3,7
M ₂ – 7	10	3,0
M ₂ – 8	10,6	3,6
M ₃ – 9	9,6	3,3
M ₃ – 10	9,3	3,6
M ₃ – 11	9,9	3,0
M ₃ – 12	10,6	3,5

Fuente; Elaboración propia 2026

2.4.5. Homogeneización y pasteurización de la bebida

Una vez formulada la bebida, se procedió a su homogeneización con el fin de obtener una mezcla uniforme.

Posteriormente, el producto fue sometido a un proceso de pasteurización a 80 °C durante 15 minutos, con el objetivo de reducir la carga microbiana y asegurar la inocuidad del producto. No se emplearon conservantes ni antioxidantes adicionales. La estabilidad de la bebida se logró mediante la combinación del tratamiento térmico y la adición de ácido cítrico como regulador de pH, permitiendo alcanzar valores cercanos a 4, lo que contribuye a la conservación y estabilidad microbiológica del producto.

2.4.6. Envasado

Finalizada la pasteurización, la bebida se sometió a un enfriamiento previo hasta una temperatura inferior a 60 °C, procediendo luego a su envasado en botellas de Polietileno Tereftalato (PET) de grado alimenticio bajo rigurosas condiciones de higiene. Si bien el vidrio es el estándar industrial óptimo por su inercia química, reciclabilidad y protección contra la radiación UV —factores que preservan mejor las vitaminas y glucosinolatos de la maca; sin embargo, para los fines de esta investigación a escala laboratorio, la selección del envase plástico se realizó considerando las condiciones de operación, priorizando la facilidad de manipulación, disponibilidad y seguridad. Para mitigar el riesgo de migración de acetaldehído y deformación del polímero, el llenado no se realizó en caliente (evitando temperaturas > 60°C), sino mediante un llenado en frío bajo condiciones asépticas tras el enfriamiento controlado. Asimismo, para compensar la permeabilidad lumínica y proteger los compuestos termolábiles, las muestras se almacenaron inmediatamente en refrigeración (4°C) y oscuridad, garantizando la estabilidad del producto. Si bien el PET facilitó la viabilidad económica y operativa en esta etapa del proceso, Se reconoce que el envase de vidrio presenta ventajas en términos de inercia química, propiedades de barrera y mayor vida útil del producto, por lo que constituye una alternativa más adecuada para su aplicación a nivel industrial.

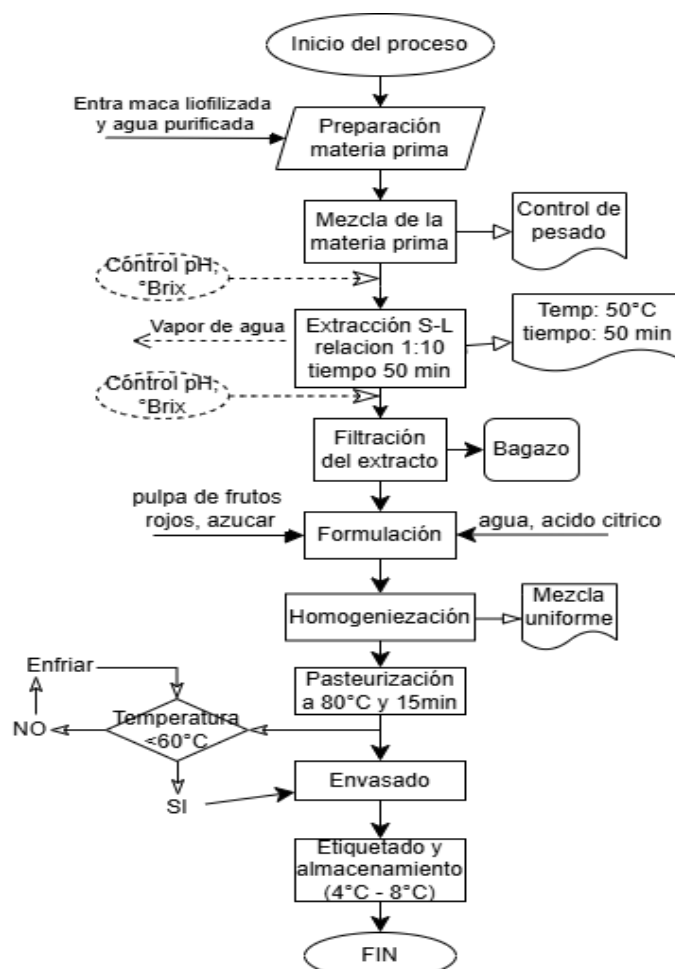
2.4.7. Etiquetado y almacenamiento

El producto final fue etiquetado incluyendo información básica como nombre del producto, lista de ingredientes usados en la formulación, contenido neto, fecha de elaboración y condiciones de almacenamiento. Así mismo, también se incluyó una tabla de la información nutricional de la bebida.

Posteriormente, las muestras fueron almacenadas en condiciones de refrigeración (4 – 8°C) y protegidas de la luz, con el fin de mantener su estabilidad microbiológica, fisicoquímica y sensorial durante el tiempo de estudio.

2.4.8. Diagrama de la elaboración de la bebida energética

Figura II - 5: Diagrama del proceso de elaboración de una bebida de maca



Fuente: Elaboración propia 2026

2.5. Diseño factorial

Un diseño factorial es un tipo de experimento diseñado que permite estudiar los efectos que varios factores pueden tener en una respuesta. Al realizar un experimento, variar los niveles de todos los factores al mismo tiempo en lugar de uno a la vez, permite estudiar las interacciones entre los factores (Urrutia, 2021).

En los diseños factoriales 2^k , cada uno de los factores se analiza a dos niveles: un nivel bajo (-1) y un nivel alto (+1), generando todas las combinaciones posibles entre ellos.

En esta investigación, el diseño factorial permitió identificar las variables más significativas dentro del proceso, ayudando a la optimización de los resultados. Por tal motivo, el diseño experimental se aplicó en dos etapas esenciales del proceso que son, en la etapa de extracción sólido – líquido y formulación de la bebida.

2.5.1. Diseño en la etapa de extracción (sólido – líquido)

El diseño experimental planteado para esta etapa corresponde a un diseño de 2^k . Es decir, se realizó un diseño factorial de 2^2 , en este caso dos factores (variables independientes) y dos niveles. Además, el diseño incluye tres repeticiones por tratamiento y se evaluará una variable respuesta definida para esta etapa del proceso.

El número de experimentos que se va a realizar se determina en la siguiente expresión:

$$N^{\circ} \text{ experimentos} = (2^2) \times 3 = 12$$

2.5.1.1. Variables independientes

Relación de maca – agua (1:5 y 1:10)

Tiempo de extracción (30 y 50min)

2.5.1.2. Variable dependiente

Rendimiento

2.5.1.3. Justificación de las variables seleccionadas

La selección de los niveles para cada uno de las variables no se realizó de manera arbitraria, sino que fue el resultado de una serie de pruebas preliminares orientadas a

identificar las condiciones que influyen con mayor intensidad en la etapa de extracción. Estas pruebas permitieron determinar rangos operativos adecuados que garantizaran una extracción eficiente.

La relación entre la cantidad de maca y agua se eligió como variable independiente debido a que este factor afecta de manera significativa la eficiencia del proceso de extracción sólido-líquido. En las pruebas preliminares se observó que, relaciones muy concentradas (1:2, 1:3) generaban mezclas demasiado densas, dificultando la agitación durante la extracción y reducía el volumen disponible para el proceso, afectando negativamente el rendimiento. Las relaciones demasiado diluidas (1:15 o 1:20) producían extractos con concentraciones muy bajas, lo que requeriría tiempos mucho mayores para alcanzar una suficiente transferencia de masa. Esto, a su vez, implica riesgo de pérdida de compuestos termo sensibles, ya que la extracción se realiza a 50 °C. Por estos motivos, se definió como intervalo de trabajo el rango entre 1:5 y 1:10.

El tiempo se seleccionó como segunda variable porque, según las pruebas preliminares, influye directamente sobre el rendimiento y puede llegar a afectar la calidad del extracto. Los valores elegidos para esta variable son 30 y 50 minutos, esto debido a que por bibliografía tiempos menores como ser 20 minutos pueden llegar a ser insuficientes para lograr una buena extracción. El tiempo de 50 minutos permitió evaluar el efecto de una extracción más prolongada sin prolongarla en exceso, evitando el riesgo de degradación térmica de compuestos, lo cual podría afectar la calidad del extracto.

De acuerdo a las justificaciones anteriores, en la siguiente tabla se resume la selección de variables y los niveles evaluados durante esta etapa del proceso.

Tabla II - 3: Variables y niveles seleccionados

Variables	Unidad de medida	Niveles	
		Alto (+)	Bajo (-)
Relación maca – agua	g/g	1:5	1:10
Tiempo	minutos	50	30

Fuente: Elaboración propia 2026

Los niveles que fueron seleccionados se representan por -1 que es el nivel bajo y +1 el cual representa el nivel alto, por lo tanto, se tiene a continuación la tabla donde se muestra el plan de experimentos que se ha seguido para esta investigación.

Tabla II - 4: Plan de experimentos para la etapa de extracción

Prueba	Plan de experimentos	
	Variable 1 (maca – agua)	Variable 2 (tiempo)
P_{1-1}	-1	-1
P_{1-2}	+1	-1
P_{1-3}	-1	+1
P_{1-4}	+1	+1
P_{2-5}	-1	-1
P_{2-6}	+1	-1
P_{2-7}	-1	+1
P_{2-8}	+1	+1
P_{3-9}	-1	-1
P_{3-10}	+1	-1
P_{3-11}	-1	+1
P_{3-12}	+1	+1

Fuente: Elaboración propia 2026

Dónde:

P_{N-i}

P: Muestra

N: es el número de réplica específica

i: es el número de experimento dentro del diseño

Por lo tanto, si tenemos P_{1-3} , indica que la muestra, corresponde a la primera réplica (P_1) y al experimento número 3 ($i=3$) dentro del diseño factorial.

2.5.2. Diseño experimental en la etapa de formulación

El diseño experimental que se ha planteado para esta etapa corresponde a un diseño de 2^2 , quiere decir que se va a llevar a cabo un diseño que tiene dos factores (variables independientes) y dos niveles, donde se evaluara una variable respuesta. Este diseño experimental al igual que el de la anterior etapa tendrá tres replicas por tratamiento. Por lo tanto, el número total de experimentos es igual al que se muestra en punto 2.5.1.

2.5.2.1. Variables independientes

Cantidad de extracto requerido según contenido de maca

Porcentaje de pulpa

2.5.2.2. Variable dependiente

Aceptación global de la bebida

2.5.2.3. Justificación de las variables seleccionadas

Las variables seleccionadas para esta etapa del proceso se definieron a partir de criterios técnicos, restricciones de consumo y pruebas preliminares, con el fin de garantizar una bebida sensorialmente aceptable y segura para el consumidor.

En primer lugar, la cantidad de extracto según contenido de maca se estableció como variable independiente debido a que determina directamente el aporte funcional del producto. De acuerdo a ensayos clínicos realizados en adultos sanos, las dosis que ha demostrado seguridad y eficacia oscilan entre 1,5 y 5 g de maca al día; por encima de 5 g no se ha reportado beneficio adicional y aumenta la frecuencia de efectos gastrointestinales leves (Ulloa Del Carpio N, 2024). Durante las pruebas preliminares se observó que niveles muy bajos de extracto generaban bebidas con escaso valor energético y débil percepción del ingrediente principal, mientras que niveles excesivos producían sabores intensos o amargos que disminuían la aceptabilidad. Por ello, los niveles seleccionados representan proporciones seguras y sensorialmente viables dentro de la formulación.

La segunda variable independiente, el porcentaje de pulpa, se incluyó debido a su influencia en atributos clave como textura, color y percepción de naturalidad de la bebida. En las pruebas preliminares se identificó que porcentajes demasiado bajos generaban bebidas acuosas, mientras que porcentajes muy altos producían viscosidades elevadas y se perdía completamente el sabor característico de la maca. Por tanto, el rango elegido busca un equilibrio adecuado y armonía sensorial.

Finalmente, la aceptación global se empleó como variable respuesta, ya que permite evaluar integralmente la percepción del consumidor respecto a la formulación. Esta variable integra análisis sensoriales como sabor, aroma, textura y aceptabilidad general, lo cual es fundamental para identificar la combinación de niveles más adecuada para el desarrollo del producto final.

A partir de estas consideraciones, la siguiente tabla resume las variables seleccionadas y los niveles evaluados en esta etapa del proceso.

Tabla II - 5: Variables seleccionadas para la etapa de formulación

Variables	Unidad de medida	Niveles	
		Alto (+)	Bajo (-)
Cantidad de extracto requerido según contenido de maca	g	5	3
Porcentaje de pulpa	%	20	10

Fuente: Elaboración propia 2026

Los niveles que fueron seleccionados para esta etapa del proceso, se representan por +1 que corresponde al nivel alto y -1 el cual representa el nivel bajo. Por lo tanto, se tiene a continuación la tabla (II – 5) donde se muestra el plan de experimentos que se ha seguido para esta etapa de la investigación.

Tabla II - 6: Plan de experimentos para la etapa de formulación

Muestra	Plan de experimentos	
	Variable 1 (cantidad de extracto requerido según contenido de maca)	Variable 2 (% de pulpa)
M_{1-1}	-1	-1
M_{1-2}	+1	-1
M_{1-3}	-1	+1
M_{1-4}	+1	+1
M_{2-5}	-1	-1
M_{2-6}	+1	-1
M_{2-7}	-1	+1
M_{2-8}	+1	+1
M_{3-9}	-1	-1
M_{3-10}	+1	-1
M_{3-11}	-1	+1
M_{3-12}	+1	+1

Fuente: Elaboración propia 2026

Dónde: M_{N-i}

M: Muestra

N: es el número de réplica específica

i: es el número de experimento dentro del diseño

Por lo tanto, si tenemos M_{1-3} , indica que la muestra que se está realizando, corresponde a la primera réplica (M_1) y al experimento número 3 ($i=3$) dentro del diseño factorial.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Introducción

En este capítulo se presentan y analizan los resultados obtenidos durante las etapas de extracción y formulación de la bebida energética natural en base a maca. Se analizan los resultados generados mediante la aplicación de SPSS en ambas etapas, con el fin de evaluar el efecto de las variables de estudio sobre las respuestas del proceso.

3.2. Propiedades de la maca liofilizada en polvo

Para la elaboración de la bebida energética natural se utilizó maca liofilizada en polvo, cuyas características fisicoquímicas y nutricionales se presentan a continuación.

Tabla III - 1: Propiedades fisicoquímicas y nutricionales de la maca liofilizada

Parámetro	Cantidad	Unidad
Grasa Total	0,93	g
Grasa Saturada	0,93	g
Humedad	< 2	%
Hidratos de carbono	68,86	g
Fibra	5,72	g
Proteína	18,76	g
Ceniza	3,93	mg
Valor energético	307,00	kcal

Fuente: NATUR ALIMENTOS S.R.L.

Asimismo, la maca liofilizada en polvo empleada como materia prima presenta características microbiológicas que garantizan su calidad e inocuidad

Tabla III - 2: Propiedades microbiológicas de la maca liofilizada

Parámetro	Valor
Mesófitas aerobias	Max. 10,000 CFU/g
Hongos y levaduras	Max. 200 CFU/g
Coliformes totales	< 10 CFU/g
Escherichia coli	< 10 CFU/g

Fuente: NATUR ALIMENTOS S.R.L.

3.3. Resultados del diseño factorial en la etapa de extracción

3.3.1. Resultados en la etapa de extracción

Durante las pruebas realizadas en la etapa de extracción, se obtuvieron datos experimentales que corresponden a las combinaciones establecidas en el diseño factorial.

Tabla III - 3: Resultados obtenidos en la etapa de extracción

Prueba	Variables independientes		Variable dependiente
	maca – agua (g/g)	Tiempo (minutos)	Rendimiento (%)
P ₁₋₁	1:10	30	61,06
P ₁₋₂	1:5	30	55,81
P ₁₋₃	1:10	50	65,45
P ₁₋₄	1:5	50	50,42
P ₂₋₅	1:10	30	61,58
P ₂₋₆	1:5	30	55,22
P ₂₋₇	1:10	50	64,47
P ₂₋₈	1:5	50	49,86
P ₃₋₉	1:10	30	60,34
P ₃₋₁₀	1:5	30	55,68
P ₃₋₁₁	1:10	50	64,33
P ₃₋₁₂	1:5	50	50,52

Replica 1

Replica 2

Replica 3

Fuente: Elaboración propia 2026

3.3.2. Análisis del diseño factorial

Los datos obtenidos fueron analizados mediante el programa SPSS, con el fin de evaluar el efecto de los factores del diseño factorial sobre la variable de respuesta.

3.3.2.1. Resumen del modelo

Tabla III - 4: Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,997 ^a	,995	,993	,49567
a. Predictores: (Constante), macaAGUA tiempo, tiempo, macaAGUA				
b. Variable dependiente: Rend				

Fuente: SPSS 2026

El resumen del modelo presentado en la tabla III – 4, mostró un ajuste excelente ($R = 0,997$), indicando una fuerte relación entre los factores evaluados (maca – agua y tiempo) y el rendimiento. El modelo explicó el 99,5% de la variabilidad del rendimiento ($R^2 = 0,995$), y el valor ajustado ($R^2 = 0,993$) confirmó la estabilidad del modelo. Además, el bajo error estándar de 0,49 demuestra una alta precisión en las predicciones.

3.3.2.2. Análisis de Varianza (ANOVA)

Tabla III - 5: Análisis de varianza

Modelo		Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	360,563	3	120,188	489,181	,000 ^b
	Residuo	1,966	8	,246		
	Total	362,529	11			
a. Variable dependiente: Rend						
b. Predictores: (Constante), macaAGUA tiempo, tiempo, macaAGUA						

Fuente: SPSS 2026

El análisis de varianza realizado para el modelo factorial mostró que tanto la relación maca–agua como el tiempo influyen significativamente en el rendimiento de la etapa de extracción. El modelo presentó una suma de cuadrados en regresión de 360,563, la cual es superior a la suma de cuadrados del residuo (1,966), lo que indica que la mayor

parte de la variabilidad del rendimiento es por los factores tiempo, relación maca–agua y su interacción. Asimismo, el valor de F obtenido (489,181) es alto y el nivel de significancia asociado ($p = 0,000$) confirma que el modelo es estadísticamente significativo ($p < 0,05$). Estos resultados demuestran que los factores estudiados influyen de manera relevante en la respuesta y que el modelo factorial es adecuado para describir el comportamiento del rendimiento bajo las condiciones evaluadas.

3.3.2.3. Evaluación de los efectos de los factores sobre el rendimiento

Tabla III - 6: Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Rendimiento					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	360,563 ^a	3	120,188	489,181	,000
Intersección	40221,972	1	40221,972	163709,143	,000
macaAGUA	297,207	1	297,207	1209,673	,000
Tiempo	1,794	1	1,794	7,302	,027
macaAGUA * Tiempo	61,563	1	61,563	250,569	,000
Error	1,966	8	,246		
Total	40584,501	12			
Total corregido	362,529	11			

Fuente: SPSS 2026

A partir de los resultados obtenidos, se observa que la relación maca/agua tiene una influencia significativa sobre el rendimiento, siendo el factor de mayor efecto dentro del modelo. Asimismo, la interacción entre maca/agua y el tiempo también resulta significativa. El tiempo, aunque significativo, presenta una menor influencia en el proceso, en comparación con el resto de las variables.

3.3.2.4. Ecuación lineal

Tabla III - 7: Coeficientes del modelo lineal

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
		B	Desv. Error	Beta		
1	(Constante)	57,895	,143		404,610	,000
	macaAGUA	-4,977	,143	-,905	-34,780	,000
	tiempo	-,387	,143	-,070	-2,702	,027
	macaAGUAtiempo	-2,265	,143	-,412	-15,829	,000
a. Variable dependiente: Rendimiento						

Fuente: SPSS 2026

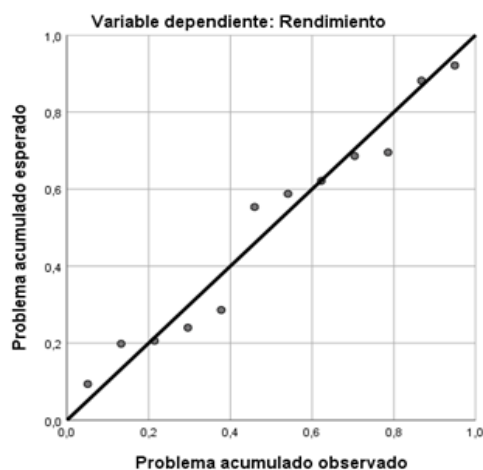
A partir del análisis de regresión, se obtuvo una ecuación que permite describir el comportamiento del rendimiento en función de las condiciones evaluadas:

$$\text{Rendimiento (\%)} = 57,895 - 4,977(\text{macaAGUA}) - 0,387(\text{Tiempo}) - 2,265(\text{macaAGUA} \times \text{Tiempo})$$

Los coeficientes indican que el aumento de la relación maca-agua, el tiempo y su interacción disminuyen el rendimiento, siendo la relación maca-agua el factor de mayor influencia.

3.3.2.5. Gráfica de probabilidad normal

Figura III - 1: Gráfica de probabilidad normal



Fuente: SPSS 2026

El gráfico P-P normal de los residuos estandarizados, muestra que los puntos se distribuyen cercanos a la línea diagonal de referencia, lo que indica que existe una buena concordancia entre los valores observados y los esperados bajo una distribución normal. Aunque se presentan ligeras desviaciones en algunos puntos, estas no son significativas, por lo que se puede afirmar que los residuos siguen aproximadamente una distribución normal. Por lo tanto, se cumple el supuesto de normalidad del modelo, validando la confiabilidad de los resultados obtenidos en el análisis de regresión.

3.3.2.6. Comparación entre el rendimiento observado y rendimiento modelo

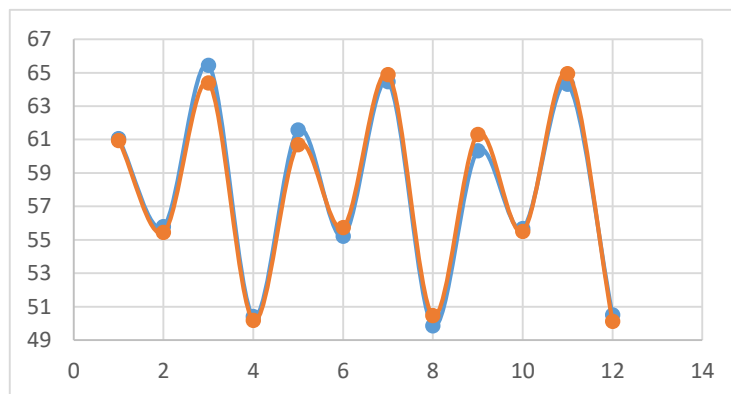
Tabla III - 8: Comparación entre valores experimentales y estimados

N° Prueba	Maca/agua	Tiempo	Rendimiento observado	Rendimiento modelo
P ₁₋₁	-1	-1	61,06	60,96
P ₁₋₂	+1	-1	55,81	55,45
P ₁₋₃	-1	+1	65,45	64,4
P ₁₋₄	+1	+1	50,42	50,19
P ₂₋₅	-1	-1	61,58	60,7
P ₂₋₆	+1	-1	55,22	55,745
P ₂₋₇	-1	+1	64,47	64,89
P ₂₋₈	+1	+1	49,86	50,47
P ₃₋₉	-1	-1	60,34	61,32
P ₃₋₁₀	+1	-1	55,68	55,515
P ₃₋₁₁	-1	+1	64,33	64,96
P ₃₋₁₂	+1	+1	50,52	50,14

Fuente: Elaboración propia 2026

En la tabla III – 8 se presentan los valores experimentales y los estimados por el modelo para cada una de las corridas experimentales, considerando los niveles de la relación maca-agua y el tiempo. Se observa una alta concordancia entre ambos, lo que evidencia un buen ajuste del modelo. Asimismo, la combinación correspondiente a la relación maca/agua en nivel bajo (-1) y tiempo en nivel alto (+1) presenta el mayor rendimiento.

Figura III - 2: Rendimiento observado y rendimiento modelo



Fuente: Elaboración propia 2026

3.3.2.7. Evaluación del error del modelo

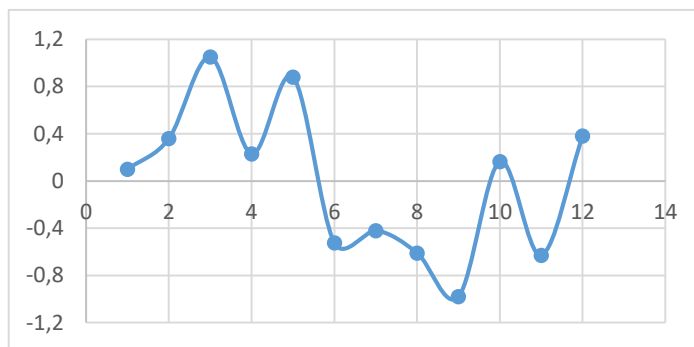
La diferencia entre los valores experimentales y estimados, representa el error de predicción del modelo. Como se observa en la tabla a continuación, estos valores son reducidos, confirmando la alta precisión y capacidad predictiva del modelo.

Tabla III - 9: Diferencia entre valores experimentales y estimados

Nº Prueba	Rendimiento observado	Rendimiento modelo	Diferencia entre Rendimiento observado y modelo
P ₁₋₁	61,06	60,96	0,1
P ₁₋₂	55,81	55,45	0,36
P ₁₋₃	65,45	64,4	1,05
P ₁₋₄	50,42	50,19	0,23
P ₂₋₅	61,58	60,7	0,88
P ₂₋₆	55,22	55,745	-0,525
P ₂₋₇	64,47	64,89	-0,42
P ₂₋₈	49,86	50,47	-0,61
P ₃₋₉	60,34	61,32	-0,98
P ₃₋₁₀	55,68	55,515	0,165
P ₃₋₁₁	64,33	64,96	-0,63
P ₃₋₁₂	50,52	50,14	0,38

Fuente: Elaboración propia 2026

Figura III - 3: Error entre el rendimiento observado y modelo



Fuente: Elaboración propia 2026

3.4. Resultados del diseño factorial en la etapa de formulación

3.4.1. Resultados de la etapa de formulación

Tabla III - 10: Resultados obtenidos en la etapa de formulación

Muestra	Variables independientes		Variable dependiente
	Cantidad de extracto requerido según contenido de maca (g)	Porcentaje de pulpa (%)	Aceptación global (1-10)
M ₁₋₁	3	10	6,50
M ₁₋₂	5	10	7,00
M ₁₋₃	3	15	7,90
M ₁₋₄	5	15	8,80
M ₂₋₅	3	10	6,80
M ₂₋₆	5	10	7,20
M ₂₋₇	3	15	7,80
M ₂₋₈	5	15	8,90
M ₃₋₉	3	10	6,60
M ₃₋₁₀	5	10	7,10
M ₃₋₁₁	3	15	7,80
M ₃₋₁₂	5	15	9,00

Replica 1

Replica 2

Replica 3

Fuente: Elaboración propia 2026

3.4.2. Análisis del diseño factorial

Con base en los resultados presentados en la Tabla III-10, se realiza el análisis del diseño factorial aplicado en la etapa de formulación, con el fin de evaluar el efecto de las variables de estudio sobre la respuesta del proceso, mediante el análisis estadístico del modelo.

3.4.2.1. Resumen del modelo

Tabla III - 11: Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,995 ^a	,989	,986	,10801
a. Predictores: (Constante), MACA pulpa, pulpa, MACA				
b. Variable dependiente: Aceptación				

Fuente: SPSS 2026

El modelo presentó un muy buen ajuste ($R = 995$), el cual indica una fuerte relación entre los factores evaluados (maca, pulpa y su interacción) y la aceptación. Asimismo, explicó el 98,9% de la variabilidad de la respuesta ($R^2 = 0,989$), mientras que el valor ajustado ($R^2 = 0,986$) confirmó su estabilidad. Por otra parte, el bajo valor de error estándar (0,10801) indica una alta precisión en las predicciones.

3.4.2.2. Análisis de varianza (ANOVA)

Tabla III - 12: Análisis de varianza

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	8,783	3	2,928	250,952	,000 ^b
	Residuo	,093	8	,012		
	Total	8,877	11			
a. Variable dependiente: Aceptación						
b. Predictores: (Constante), cantExtractoPulpa, pulpa, cantExtractoRequerido						

Fuente: SPSS 2026

El análisis de varianza realizado demostró que el modelo es estadísticamente significativo, debido a que el valor de significancia ($p = 0,000$) es menor a 0,05. Asimismo, el valor de F (250,952) indica que las variables estudiadas (cantidad de extracto, pulpa y su interacción) tienen un efecto significativo sobre la aceptación global de la bebida.

Por otra parte, la suma de cuadrados de la regresión es considerablemente mayor que la del residuo, lo que confirma que la mayor parte de la variabilidad de la respuesta es explicada por los factores estudiados.

3.4.2.3. Evaluación de los efectos de los factores sobre el rendimiento

Tabla III - 13: Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Aceptación					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	8,783 ^a	3	2,928	250,952	,000
Intersección	696,163	1	696,163	59671,143	,000
cantExtractoRequerido	1,763	1	1,763	151,143	,000
pulpa	6,750	1	6,750	578,571	,000
cantExtractoPulpa	,270	1	,270	23,143	,001
Error	,093	8	,012		
Total	705,040	12			
Total corregido	8,877	11			

Fuente: SPSS 2026

Los resultados muestran que tanto la cantidad de extracto como la pulpa presentan un efecto significativo sobre la aceptación global, al igual que su interacción. Entre los factores evaluados, la pulpa es la variable con mayor influencia, seguida de la cantidad de extracto, mientras que la interacción entre ambas también resulta significativa, aunque con menor efecto. Esto indica que la aceptación de la bebida depende de los factores individuales como de su combinación.

3.4.2.4. Ecuación lineal

Tabla III - 14: Coeficientes del modelo lineal

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
		B	Desv. Error	Beta		
1	(Constante)	7,617	,031		244,277	,000
	cantExtractoRequerid	,383	,031	,446	12,294	,000
	pulpa	,750	,031	,872	24,054	,000
	cantExtractoPulpa	,150	,031	,174	4,811	,001

Fuente: SPSS 2026

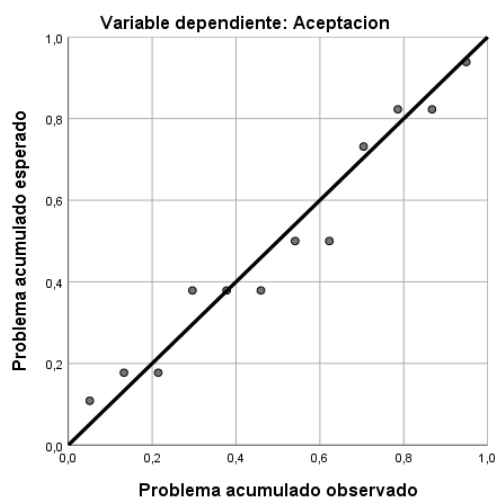
A partir de los coeficientes estimados, se obtuvo la ecuación lineal del modelo que describe la aceptación en función de las variables evaluadas:

$$\text{Aceptación} = 7,617 + 0,383(\text{cantExtractoRequerido}) + 0,750(\text{pulpa}) + 0,150(\text{cantExtracto} \times \text{pulpa})$$

La ecuación indica que el incremento en la cantidad de extracto requerido, la cantidad de pulpa y su interacción generan un aumento en la aceptación global de la bebida, siendo la pulpa el factor de mayor influencia dentro del modelo.

3.4.2.5. Gráfica de probabilidad normal

Figura III - 4: Gráfica de probabilidad normal



Fuente: SPSS 2026

El gráfico P-P normal de los residuos estandarizados muestra que los puntos se distribuyen cercanos a la línea diagonal, lo que indica una buena concordancia con la distribución normal. Aunque se observan ligeras desviaciones en la gráfica, estas no son significativas, por lo que se cumple el supuesto de normalidad y se valida la confiabilidad en los resultados obtenidos de la regresión.

3.4.2.6. Comparación entre aceptación observada y aceptación modelo

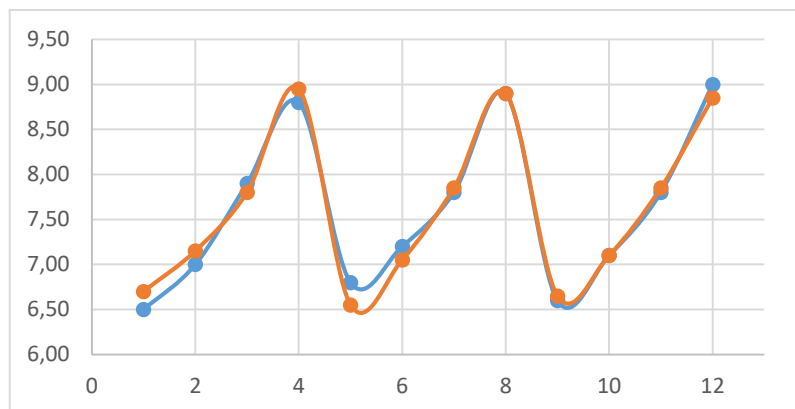
Tabla III - 15: Comparación entre aceptación observada y modelo

N° Muestra	Cantidad de extracto según contenido de maca	Porcentaje de pulpa	Aceptación observada	Aceptación modelo
M ₁₋₁	-1	-1	6,50	6,7
M ₁₋₂	+1	-1	7,00	7,15
M ₁₋₃	-1	+1	7,90	7,8
M ₁₋₄	+1	+1	8,80	8,95
M ₂₋₅	-1	-1	6,80	6,55
M ₂₋₆	+1	-1	7,20	7,05
M ₂₋₇	-1	+1	7,80	7,85
M ₂₋₈	+1	+1	8,90	8,9
M ₃₋₉	-1	-1	6,60	6,65
M ₃₋₁₀	+1	-1	7,10	7,1
M ₃₋₁₁	-1	+1	7,80	7,85
M ₃₋₁₂	+1	+1	9,00	8,85

Fuente: Elaboración propia 2026

De acuerdo a la tabla III – 15, los valores estimados por el modelo se aproximan a los resultados experimentales, lo que respalda la capacidad predictiva del modelo. Asimismo, se observa que las mayores puntuaciones de aceptación global de la bebida se obtienen en condiciones con niveles altos de cantidad de extracto según contenido de maca y pulpa, destacando la muestra M₃₋₁₂ como la de mejor evaluación sensorial.

Figura III - 5: Aceptación observada y aceptación estimada



Fuente: Elaboración propia 2026

3.4.2.7. Evaluación del error del modelo

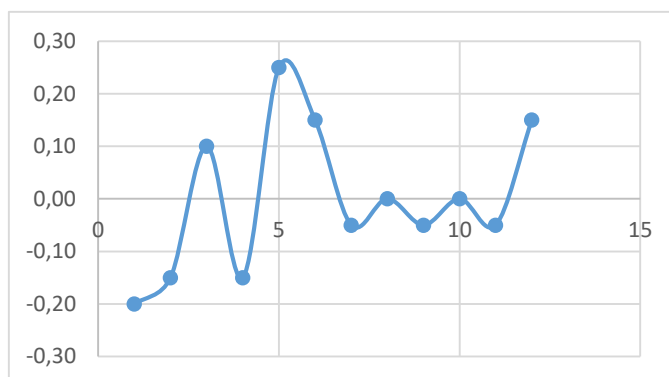
Tabla III - 16: Diferencia entre valores experimentales y estimados

N° Muestra	Aceptación observada	Aceptación modelo	Diferencia entre aceptación observada y estimada
M ₁₋₁	6,50	6,7	-0,20
M ₁₋₂	7,00	7,15	-0,15
M ₁₋₃	7,90	7,8	0,10
M ₁₋₄	8,80	8,95	-0,15
M ₂₋₅	6,80	6,55	0,25
M ₂₋₆	7,20	7,05	0,15
M ₂₋₇	7,80	7,85	-0,05
M ₂₋₈	8,90	8,9	0,00
M ₃₋₉	6,60	6,65	-0,05
M ₃₋₁₀	7,10	7,1	0,00
M ₃₋₁₁	7,80	7,85	-0,05
M ₃₋₁₂	9,00	8,85	0,15

Fuente: Elaboración propia 2026

Los valores de error obtenidos son bajos en todas las muestras, lo cual indica una buena capacidad predictiva del modelo y al no presentarse desviaciones significativas existe una consistencia entre los valores estimados y experimentales.

Figura III - 6: Error entre la aceptación observada y estimada



Fuente: Elaboración propia 2026

3.5. Análisis sensorial del producto final

Con la finalidad de validar los resultados obtenidos en el diseño factorial y evaluar la aceptación del producto desarrollado, se llevó a cabo un análisis sensorial de la bebida energética a base de maca. La evaluación se realizó con la participación de 20 personas, seleccionadas de manera aleatoria, quienes calificaron las características organolépticas de la bebida, entre ellos color, aroma, sabor, dulzor, textura y aceptación global, empleando una escala hedónica de 1 a 10.

3.5.1. Resultados del análisis sensorial de las características organolépticas

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la evaluación sensorial de las diferentes formulaciones, considerando el promedio de las calificaciones obtenidas para cada característica organoléptica, con el fin de facilitar la comparación entre las distintas formulaciones.

Las formulaciones A, B, C y D corresponden a las combinaciones del diseño factorial, donde:

A: (E-/P-) nivel bajo de extracto y nivel bajo de pulpa

B: (E+/P-) nivel alto de extracto y nivel bajo de pulpa

C: (E-/P+) nivel bajo de extracto y nivel alto de pulpa

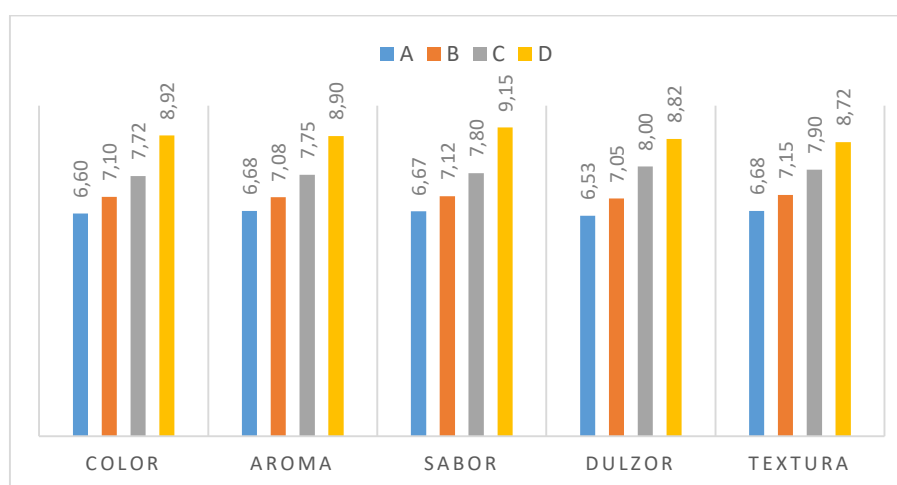
D: (E+/P+) nivel alto de extracto y nivel alto de pulpa

Tabla III - 17: Resultados promedio de la evaluación sensorial de las formulaciones

	A	B	C	D
Color	6,60	7,10	7,72	8,92
Aroma	6,68	7,08	7,75	8,90
Sabor	6,67	7,12	7,80	9,15
Dulzor	6,53	7,05	8,00	8,82
Textura	6,68	7,15	7,90	8,72

Fuente: Elaboración propia 2026

Figura III - 7: Comparación sensorial entre formulaciones



Fuente: Elaboración propia 2026

Los resultados presentados en la Tabla III-17 y la Figura III-7 evidencian diferencias entre las formulaciones evaluadas. Se observa que la formulación D obtuvo las calificaciones más altas en todas características evaluadas, destacando principalmente en sabor (9,15) y color (8,92), lo que indica una mayor aceptación.

Por otro lado, la formulación A presentó los valores más bajos en todos los atributos, con puntuaciones cercanas a 6, lo que refleja una menor preferencia. Las formulaciones B y C muestran valores intermedios, lo que indica que los cambios en la formulación influyen directamente en la percepción sensorial del producto.

En general, los resultados indican que un mayor contenido de extracto y pulpa contribuye positivamente a la aceptación sensorial de la bebida.

3.5.2. Resultados de la aceptación global de las formulaciones

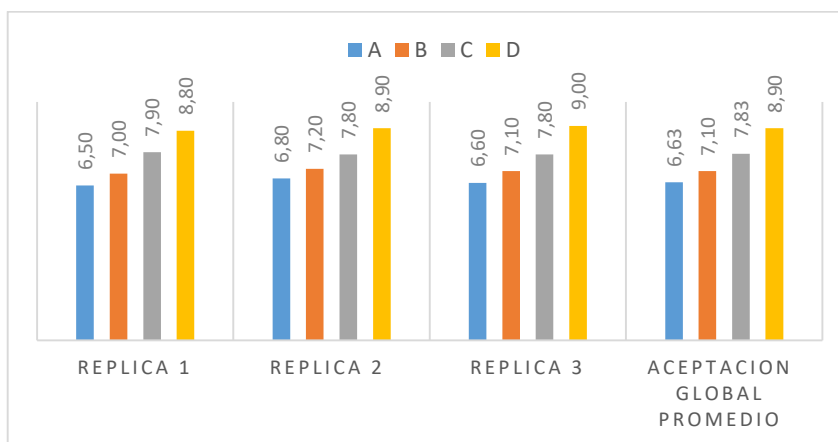
A continuación, se presentan los resultados de aceptación global obtenidos para cada una de las formulaciones evaluadas, a partir de las calificaciones registradas en las encuestas realizadas.

Tabla III - 18: Resultados de la aceptación global del producto

Formulación	Replica 1	Replica 2	Replica 3	Aceptación global promedio
A	6,50	6,80	6,60	6,63
B	7,00	7,20	7,10	7,10
C	7,90	7,80	7,80	7,83
D	8,80	8,90	9,00	8,90

Fuente: Elaboración propia 2026

Figura III - 8: Comparación de la aceptación global del producto



Fuente: Elaboración propia 2026

Los resultados presentados en la Tabla III-18 permiten establecer la aceptación global como un indicador general de la preferencia de la bebida, según formulación. Asimismo, estos valores fueron utilizados como variable respuesta en el diseño factorial, lo que permitió analizar el efecto de las variables estudiadas sobre la aceptación de la bebida.

3.6. Análisis de laboratorio del producto final

En base en los resultados de los análisis organolépticos de las distintas formulaciones, se seleccionó la muestra D para su análisis físico-químico y microbiológico.

Tabla III - 19: Resultados de análisis físico químicos y microbiológicos

Parámetro	Técnica y/o Método	Unidad	Resultado	Límites Permisibles (Mín/Máx)
Análisis físico químicos				
Acidez total (ac cítrico)	NB 3342:23 (MOD)	g/100g	0,21	Sin referencia
Azúcares totales	NB 38033:06	g/100g	8,28	Sin referencia
Cenizas	NB 38025:06	g/100g	0,16	Sin referencia
Grasa	NB 313019:06(MOD)	g/100g	0,13	Sin referencia
Hidratos de Carbono	NB 312031:10	g/100g	10,84	Sin referencia
Humedad	NB 367:98 (MOD)	g/100g	88,68	Sin referencia
Proteína total (Nx6,25)	NB/ISO 8968-1:22	g/100g	0,19	Sin referencia
pH (20°C)	NB 38028:06	-	4	Sin referencia
Sólidos solubles	NB 36003:02 (MOD)	°Brix	12,1	Sin referencia
Sólidos totales	NB/ISO 6731:21	g/100g	11,32	Sin referencia
Valor energético	NB 312032:06	Kcal/100 g	46	Sin referencia
Análisis microbiológicos				
Bacterias aerobias mesófilas	NB 32003:05	UFC/ml	< 1,0 x 10 ¹ (*)	sin referencia
Coliformes totales	NB 32005:02	UFC/100ml	< 1,0 x 10 ¹ (*)	sin referencia
Escherichia coli	NB 32005:02	UFC/ml	< 1,0 x 10 ¹ (*)	sin referencia
Mohos y levaduras	NB 32006:03	UFC/ml	< 1,0 x 10 ¹ (*)	sin referencia
(*) : no se observa desarrollo NB: Norma Boliviana g/100g: gramos por cien gramos <menor que Kcal/100g: kilocalorías sobre 100 gramos UFC/ml: Unidad formada de colonia por mililitro				

Fuente: Laboratorio CEANID 2026

Los resultados de los análisis físico-químicos indican que la bebida presenta un pH de 4, valor que se encuentra dentro del rango esperado para bebidas analcohólicas según normativa, lo cual valor favorece la estabilidad microbiológica del producto.

En relación al valor energético (46 Kcal/100 g), supera el límite establecido para bebidas bajas en calorías, lo cual indica que el producto aporta una cantidad significativa de energía, acorde a su formulación como bebida energética natural.

El contenido de azúcares totales (8,28 g/100 g) es moderado y está influenciado por los azúcares naturales presentes en la pulpa de frutos rojos, además de la cantidad controlada de azúcares añadidos. En relación a los hidratos de carbono totales (10,84g/100 g), presentan un valor mayor, lo cual es coherente, ya que incluyen no solo azúcares simples, sino también otros componentes como fibra y compuestos propios de la maca y la fruta. De igual forma los sólidos solubles reflejan la presencia total de sustancias disueltas, lo que explica la diferencia con el contenido de azúcares.

Asimismo, parámetros como proteína, grasa y cenizas se encuentran en bajas concentraciones, lo cual es característico de bebidas de origen vegetal.

Los resultados de los análisis microbiológicos reportan ausencia de crecimiento ($< 1,0 \times 10^1$ UFC/ml) para bacterias aerobias mesófilas, coliformes totales, *Escherichia coli*, mohos y levaduras, cumpliendo con lo establecido en la normativa NB 325001:2024, lo que garantiza la inocuidad del producto en las condiciones evaluadas.

En conjunto, los resultados obtenidos muestran que la bebida presenta características físico-químicas y microbiológicas adecuadas, siendo un producto seguro y estable, con un aporte energético acorde a su finalidad como bebida energética natural.

3.6.1. Comparación de propiedades entre la materia prima y producto final

Con el objetivo de evaluar el impacto del proceso sobre la materia prima, se comparan las propiedades de interés para determinar si se mantienen, se degradan o se potencian durante las etapas de extracción, filtración y mezcla. Para este análisis, se considera que cada porción de bebida (250 mL) contiene 5 g de maca liofilizada.

Dado que los resultados de laboratorio se expresan de manera estandarizada por cada 100 g de producto terminado (Muestra D), la concentración real de maca es de 2 g por cada 100 g de bebida energética.

Tabla III - 20: Comparativa de propiedades de materia prima vs producto final
(Muestra D)

Parámetro	Maca en polvo (100g)	Valor teórico para 2g de maca	Resultado de la bebida (100g)
Valor energético	307 kcal	6,14 kcal	46 kcal
Proteína	18,76 g	0,37 g	0,19 g
Hidratos de carbono	68,86 g	1,38 g	10,84 g
Grasa total	0,93 g	0,018 g	0,13 g
pH	No aplica	No aplica	4,0
Inocuidad	< 10,000 UFC/g	< 10,000 UFC/g	< 10,000 UFC/g

Fuente: Elaboración propia 2026

Se observa que el valor energético (46 kcal) y los hidratos de carbono (10,84 g) son superiores al aporte teórico de la maca sola, lo que demuestra que estas propiedades se potencializan por la sinergia con la pulpa de frutos rojos y azúcares añadidos. En contraste, se identifica una ligera degradación o pérdida de proteína (0,19 g frente al 0,37 g teórico), debido a que una fracción proteica no se solubilizó durante la extracción a 50°C o fue retenida en la etapa de filtración y clarificación. Respecto a la inocuidad, el proceso representa un éxito técnico, ya que se redujo la carga microbiana original a niveles de ausencia de crecimiento, garantizando un producto más seguro. Finalmente, se evidencia un cambio físico-químico positivo con la estabilización del pH en 4,0, propiedad nueva que garantiza la vida útil y seguridad del producto final.

3.7. Determinación de la vida útil del producto

La vida útil de la bebida energética en base a maca se evaluó mediante cambios en color, aroma, sabor y pH durante 40 días bajo distintas condiciones de almacenamiento, para determinar el periodo en el que el producto mantiene su calidad y seguridad.

Cuadro III - 1: Vida útil del producto refrigerado

Tiempo (días)	Color	Aroma	Sabor	pH	Observaciones
1	Rosado característico, homogéneo	Aroma a maca con frutos rojos	Sabor equilibrado	4.0	Producto fresco, sin cambios
3	Sin cambios	Aroma característico	Sabor estable	4.0	Producto estable
7	Sin cambios	Aroma característico	Sabor estable	4.0	Producto estable
15	Rosado característico	Aroma característico	Sabor estable	3.95	Sin cambios significativos
20	Ligeramente más intenso	Aroma aún característico	Sabor estable	3.9	Inicio de sedimentación ligera de pulpa
25	Más rosado, ligera precipitación de pulpa	Aroma característico	Sabor estable	3.85	Sedimentación visible de pulpa
30	Color más intenso	Aroma más fuerte, inicio de fermentación	Sabor ligeramente alterado	3.8	Cambios sensoriales evidentes
35	Color intenso	Aroma con presencia de fermentación	Sabor alterado, medio ácido	3.75	Producto no recomendable para consumo seguro
40	Color muy intenso	Aroma fermentado, desagradable	Sabor más ácido	3.7	Producto no recomendable

Fuente: Elaboración propia 2026

Cuadro III - 2: Vida útil del producto a temperatura ambiente

Tiempo (días)	Color	Aroma	Sabor	pH	Observaciones
1	Rosado característico, homogéneo	Aroma a maca con frutos rojos	Sabor equilibrado	4.0	Producto fresco, sin cambios
3	Sin cambios	Aroma característico	Sabor estable	4.0	Producto estable
7	Ligeramente más intenso	Aroma a frutos rojos, un poco más ácido	Sabor estable	3.94	Sin cambios significativos
15	Color más intenso	Aroma más perceptible a fermento	Sabor levemente ácido	3.89	Cambios sensoriales leves
20	Color más intenso	Aroma con notas fermentadas	Sabor ligeramente ácido	3.85	Producto cercano a límite de aceptabilidad
25	Color intenso	Aroma ligero a fermento	Sabor medio ácido	3.77	Producto no recomendable para consumo
30	Color intenso	Aroma fermentado	Sabor ácido y alterado	3.73	Producto no recomendable
40	Color muy intenso	Aroma muy fermentado	Sabor muy ácido y desagradable	3.52	Producto no seguro, descomposición evidente

Fuente: Elaboración propia 2026

La vida útil de la bebida energética en base a maca fue evaluada durante un periodo de 40 días, considerando dos condiciones de almacenamiento: refrigerada y a temperatura ambiente, sin protección frente a la luz.

Los resultados indicaron que, bajo refrigeración, el producto mantiene sus características sensoriales (color, aroma y sabor) hasta aproximadamente 30 días, presentando ligeras variaciones en color a partir del día 20, y sedimentación parcial de

la pulpa de frutos rojos hacia el día 25. A partir del día 30, comienza a presentar un ligero aroma a fermento muy leve, lo que coincide con una ligera disminución del pH de 4.0 a 3.8–3.75. Por esta razón, se establece que la vida útil refrigerada es de 30 días.

En contraste, bajo condiciones de almacenamiento a temperatura ambiente, donde el producto no se protege de la luz ni de la temperatura variable, la bebida presenta un deterioro más acelerado: el color se intensifica, el aroma desarrolla notas a fermentación y el sabor se torna ácido a partir del día 20, acompañándose de una disminución del pH estimado de 4.0 a 3.77–3.52. Por lo tanto, la vida útil a temperatura ambiente se estima en 20 días aproximadamente, ya que posteriormente el producto no resulta seguro ni agradable para el consumo.

Estos resultados muestran la importancia de mantener la bebida refrigerada para prolongar su estabilidad sensorial y microbiológica.

CAPÍTULO IV

BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA

4. BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA

4.1. Balance de materia por etapas

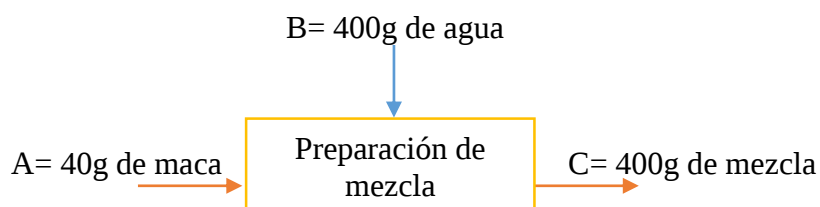
El balance de materia se realizó con el propósito de determinar el rendimiento del proceso, permitiendo cuantificar la cantidad de materia prima que se transforma en producto final, identificar las pérdidas en cada etapa y verificar la coherencia entre los datos experimentales y el volumen final obtenido.

Para su desarrollo, se consideró la muestra de mayor rendimiento y aceptación global, obtenida a partir del tratamiento P₁₋₃ en la etapa de extracción y la muestra M₃₋₁₂ en la etapa de formulación.

4.1.1. Etapa de preparación de la mezcla

A= Alimentación de la maca = 40g de maca

B= Alimentación del agua = 400g de agua



$$C = A + B$$

$$C = 40 \text{ (g de maca)} + 400 \text{ (g de agua)}$$

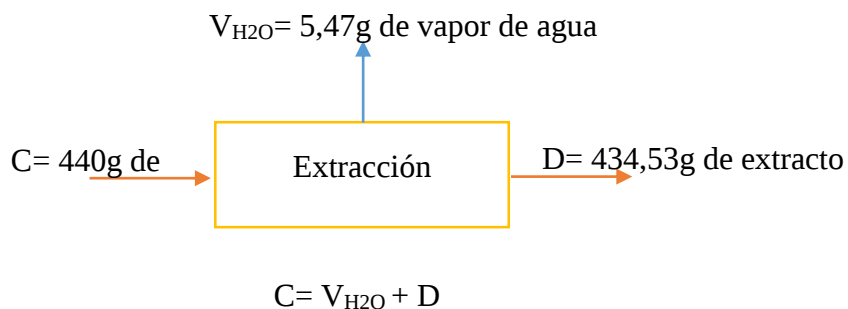
C= Corriente de la mezcla = 440 g de mezcla

4.1.2. Etapa de extracción

La etapa de extracción se llevó a cabo por un tiempo de 50 minutos y 50°C.

C= Corriente de la mezcla = 440g de mezcla

V_{H2O}= Vapor de agua

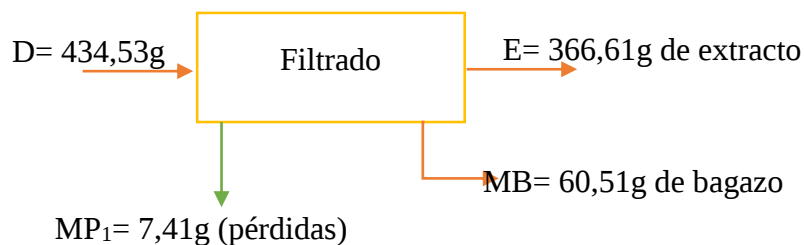


$$D = C - V_{H_2O} = 440\text{g de mezcla} - 5,47\text{g de vapor de agua}$$

$$D = 434,53\text{g} = \text{Corriente de la extracción}$$

4.1.3. Etapa de filtrado

$$D = \text{Corriente de la extracción} = 434,53\text{g de extracto}$$



$$D = MP_1 + E + MB$$

$$MP_1 = D - E - MB$$

$$MP_1 = 434,5\text{g} - 366,61\text{g de extracto} - 60,51\text{g de bagazo}$$

$$MP_1 = \text{Masa perdida 1} = 7,41\text{g (pérdidas)}$$

4.1.4. Rendimiento de extracción

El rendimiento de extracción se determinó mediante el método gravimétrico, con el objetivo de cuantificar la cantidad de sólidos de maca transferidos al extracto líquido.

Para ello, se tomó una alícuota de 25,388 g del extracto filtrado, el cual fue sometido a evaporación hasta peso constante, obteniendo una masa final de 1,81g, correspondiente a los sólidos presentes en dicha muestra.

FS= Fracción de sólidos

$m_{alicuotaFinal}$ = Masa de alícuota final = 1,813g

$m_{alicuotaInicial}$ = Masa de la alícuota inicial = 25,388g

$$FS = \frac{m_{alicuotaFinal}}{m_{alicuotaInicial}} = \frac{1,813g}{25,388g} = 0,0714$$

A partir de esta relación, la cantidad total de solidos extraídos en el extracto fue:

$$m_{solidosExtraidos} = FS \times E = 0,0714 \times 366,61 = 26,18$$

Finalmente se calculó el rendimiento de extracción mediante la siguiente ecuación:

$$\%R = \frac{m_{solidosExtraidos}}{m_{materiaprimal}} \times 100 = \left(\frac{26,18g}{40g} \right) \times 100$$

$$\%R = 65,45$$

$m_{solidosExtraidos}$ = Cantidad de compuestos de la maca transferidos al extracto líquido.

$m_{materiaprimal}$ = Cantidad total de materia prima (maca) empleada en el proceso

4.1.5. Etapa de formulación

Para la etapa de formulación, el extracto filtrado obtenido se considera en su totalidad para determinar la cantidad de bebida final que es posible elaborar, en función de la concentración de maca requerida en el producto.

Considerando el rendimiento de extracción obtenido (65,45%), la cantidad de maca efectivamente transferida al extracto corresponde a 26,18g.

En base a este valor, la relación de concentración de maca en el extracto se determinó de la siguiente manera:

$$m_{solidosExtraidos} = 26,18g$$

E= 366.61 gramos de extracto

$$\frac{m_{solidosExtraidos}}{E} = \frac{26,18g}{366.61 g_{extracto}} = 0,071 \frac{g_{maca}}{g_{extracto}}$$

Este valor indica que por cada gramo de extracto se encuentran presentes 0,071g de maca.

Mediante una encuesta realizada, se estableció que el tamaño de presentación más aceptado corresponde a una bebida de 250ml, considerándose esa cantidad como una porción. Asimismo, con base a los resultados del diseño factorial, se definió que la formulación óptima contiene 5 g de maca por porción, valor que se encuentra dentro de los niveles seguros de consumo diario (Ulloa Del Carpio N, 2024).

De acuerdo a estos criterios, la cantidad de extracto necesaria para una porción se determinó de la siguiente manera:

$$\frac{5 \text{ } g_{maca}}{0,071 \text{ } g_{maca}/g_{extractoFiltrado}} = 70 \text{ } g_{extracto \text{ filtrado}}$$

Por lo tanto, cada bebida de 250ml, requiere 70g de extracto de maca para cumplir con la concentración de maca establecida.

A partir de la cantidad total de extracto disponible, el número de porciones de bebida que pueden elaborarse es:

$$\frac{366.61 g_{extracto \text{ filtrado}}}{70 \text{ } g_{extracto \text{ filtrado}}} = 5 \text{ } bebidas$$

Por lo tanto, es posible producir un total de 5 unidades, equivalentes a 1250 gramos de producto final. Esto demuestra que el extracto obtenido puede ser aprovechado completamente en la formulación, sin generar pérdidas adicionales en esta etapa.

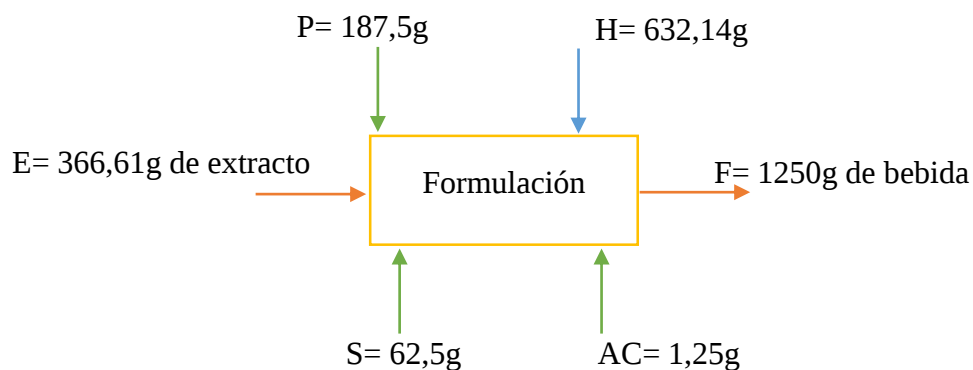
E= Corriente de extracto filtrado = 366,61g de extracto

P= Porcentaje de pulpa = 15% de la bebida (187,5g)

S= Cantidad de azúcar = 5% de la bebida (62,5g)

AC= Ácido cítrico = 0,1% (1,25g)

H= Corriente de agua = 632,14g



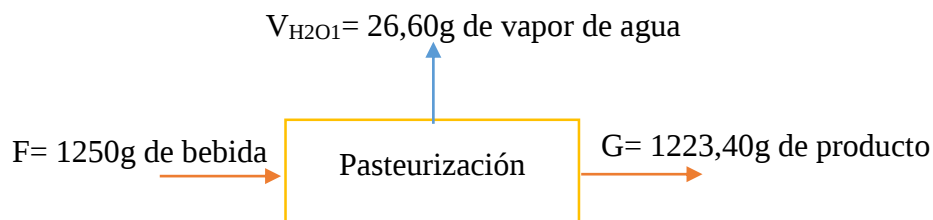
$$F = E + P + H + S + AC$$

$$F = 366,61g + 187,5g + 632,14g + 62,5g + 1,25g$$

F= 1250g de bebida = Corriente de producto final

4.1.6. Etapa de pasteurización

F= 1250g de bebida



$$V_{H_2O1} = F - G$$

$$V_{H_2O1} = 1250g \text{ de bebida} - 1223,40g \text{ de producto}$$

$V_{H_2O1} = 26,60g$ de vapor de agua

4.1.7. Etapa de envasado

G= 1223,40g de producto



$$G = J = 1223,40g \text{ de producto envasado}$$

4.1.8. Rendimiento global del proceso

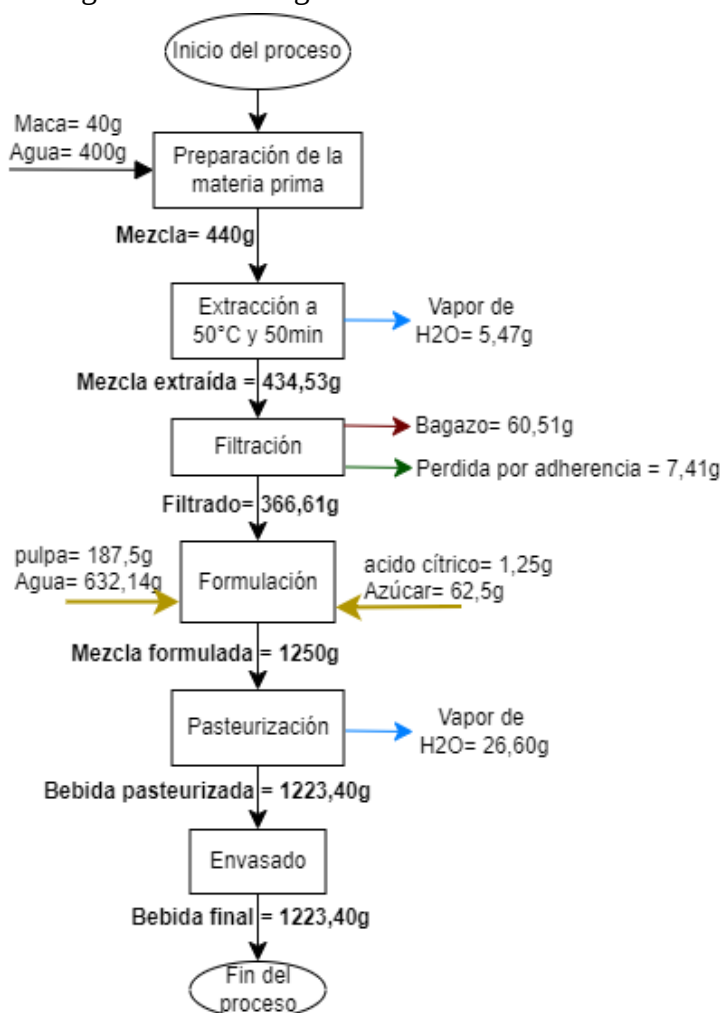
$$\text{Rendimiento Global} = \frac{\text{producto final}}{\text{materia prima} + \text{insumos}} = \left(\frac{1223,40\text{g}}{440 + 883,39} \right) \times 100$$

$$\text{Rendimiento Global} = 92,44\%$$

El rendimiento global obtenido fue de 92,44 %, lo que indica que el proceso presenta un alto aprovechamiento de la materia prima e insumos empleados. Las pérdidas observadas son mínimas y se atribuyen principalmente a la evaporación de agua durante la etapa de pasteurización y a pequeñas pérdidas en operaciones intermedias.

4.1.9. Resumen del balance de materia

Figura IV - 1: Diagrama del balance de materia



Fuente: Elaboración propia 2026

Tabla IV - 1: Resumen del balance de materia

Etapas del Proceso	Entradas (g)	Salidas (g)	Pérdidas (g)
Preparación	40,00 (Maca) 400,00 (Agua)	440	0
Extracción S-L	440	434,53	5,47 (Vapor H ₂ O)
Filtración	434,53	366,61	67,92 (Pérdidas)
Formulación	366,61 883,39 (Insumos)	1250	0
Pasteurización	1250	1223,4	26,60 (Vapor H ₂ O)
TOTALES	1323,39	1223,4	99,99

Fuente: Elaboración propia 2026

4.2. Balance de energía

El balance de energía permite cuantificar la energía que entra, se transforma y se transfiere en cada etapa del proceso, determinar los requerimientos energéticos de cada operación y evaluar la eficiencia del proceso.

En este trabajo, se realizó el balance de energía en etapas clave de la elaboración de la bebida: extracción, pasteurización y refrigeración. Estas etapas implican distintos mecanismos de transferencia de calor, como el calentamiento de la mezcla y la estabilización térmica del producto.

Cálculo del calor específico de la maca en polvo, usando la ecuación de Choi y Okos, a partir de la composición química del alimento:

$$Cp = \sum x_i \times Cp_i$$

Donde x_i es la fracción másica de cada componente (proteína, grasa, carbohidratos, agua, ceniza) y Cp_i su calor específico.

Tabla IV - 2: Fracción másica y Cp. de los componentes de la maca en polvo

Parámetro	Fracción másica	Cp. (kJ/kg °C)
Humedad	0,02	4,182
Proteínas	0,1876	1,9
Carbohidratos	0,6886	1,22
Grasas	0,0093	1,9
Cenizas	0,00393	1,8

Fuente: Elaboración propia 2026

$$Cp_{macaPolvo} = (4,182 \times 0,02) + (1,9 \times 0,1876) + (1,22 \times 0,6886) + (1,9 \times 0,0093) + (1,8 \times 0,00393)$$

$$Cp_{macaPolvo} = 1,30 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

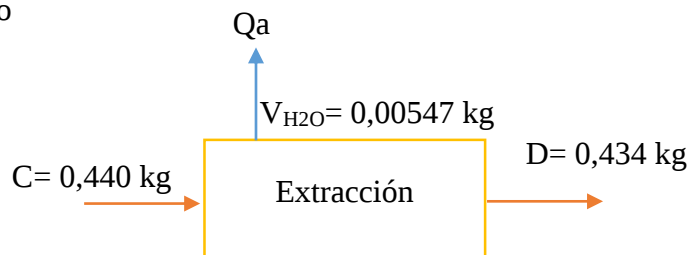
4.2.1. Etapa de extracción

C= 440g = 0,440kg de mezcla

D= 434,53g = 0,434kg de extracto

 V_{H_2O} = pérdidas por evaporación

Qa= calor absorbido



$$Cp_{mezcla} = \frac{(m_{maca} \times Cp_{maca}) + (m_{agua} \times Cp_{agua})}{m_{mezcla}}$$

$$Cp_{mezcla} = \frac{(0,04 \times 1,30) + (0,40 \times 4,182)}{0,44}$$

$$Cp_{mezcla} = 3,92 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

$Q_a = \text{calor sensible} + \text{calor latente}$

$$Q_a = C * C_{p_{\text{mezcla}}} * \Delta T + V_{\text{H}_2\text{O}} * \Delta H_{\text{vap}}$$

$$Q_a = 0,440 * 3,92 * (50 - 20) + 0,00547 * 2382,7$$

$$Q_a = 64,78 \text{ kJ}$$

4.2.2. Etapa de pasteurización

Tabla IV - 3: Fracciones másicas y C_p de cada componente de la bebida elaborada

Parámetro	Fracción másica	C_p . (kJ/kg °C)
Humedad	0,8868	4,182
Proteínas	0,0019	1,9
Carbohidratos	0,1084	1,22
Grasas	0,0013	1,9
Cenizas	0,0016	1,8

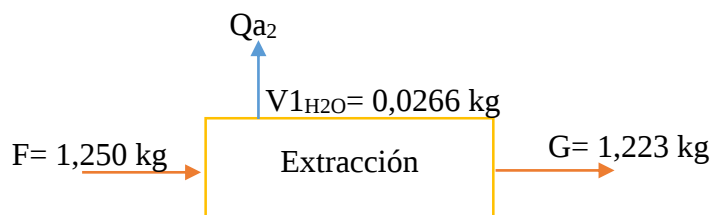
Fuente: Elaboración propia 2026

$$C_{p_{\text{Bebida}}} = (4,182 * 0,8868) + (1,9 * 0,0019) + (1,22 * 0,1084) + (1,9 * 0,0013) + (1,8 * 0,0016)$$

$$C_{p_{\text{Bebida}}} = 3,85 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

$$F = 1250 \text{ g} = 1,250 \text{ kg de bebida}$$

$$G = 1223,40 \text{ g} = 1,223 \text{ kg de bebida pasteurizada}$$



$$Q_{a2} = F * C_{p_{\text{Bebida}}} * \Delta T + V_{1\text{H}_2\text{O}} * \Delta H_{\text{vap}}$$

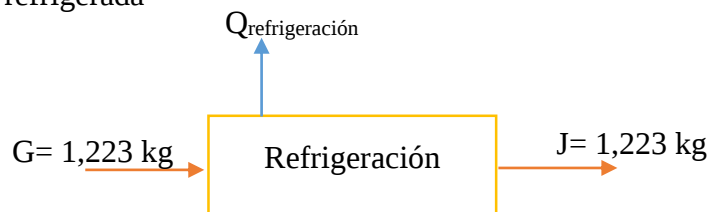
$$Q_{a2} = 1,250 * 3,85 * (80 - 20) + 0,0266 * 2382,7$$

$$Q_{a2} = \text{Calor absorbido 2} = 352,13 \text{ kJ}$$

4.2.3. Etapa de refrigeración

$G = 1,223 \text{ kg}$ de bebida pasteurizada

$J = 1,223 \text{ kg}$ de bebida refrigerada



$$Q_{\text{refrigeración}} = G * C_{p\text{Bebida}} * \Delta T$$

$$Q_{\text{refrigeración}} = 1,223 * 3,85 * (10 - 80)$$

$$Q_{\text{refrigeración}} = -329,6 \text{ kJ}$$

4.2.4. Resumen del balance de energía

Tabla IV - 4: Resumen del balance de energía de la bebida energética a base de maca

Etapa	Masa (kg)	Cp (kJ/kg°C)	ΔT (°C)	Pérdida de agua (kg)	Calor sensible (kJ)	Calor latente (kJ)	Calor absorbido/Qa (kJ)
Extracción	0,44	3,92	30	0,00547	51,8	12,98	64,78
Pasteurización	1,25	3,85	60	0,0266	288,75	63,38	352,13
Refrigeración	1,223	3,85	-70	0	-329,6	0	-329,6

Fuente: Elaboración propia 2026

4.3. Consumo de energía eléctrica total

$P =$ Potencia

$E =$ Energía

$$E_{\text{bañoMARIAextracción}} = P_{\text{bañoMARIA}} * t = 1,320 \text{ kW} * 0,83 \text{ horas}$$

$$E_{\text{bañoMARIAextracción}} = 2,15 \text{ kW/hora}$$

$$E_{\text{BañoMaríaPASTEURIZACIÓN}} = P_{\text{bañoMARIA}} * t = 1,320 \text{ kW} * 0,25 \text{ horas}$$

$$E_{\text{BañoMaríaPASTEURIZACIÓN}} = 0,33 \text{ kW/hora}$$

$$E_{\text{refrigerador}} = P_{\text{refrigerador}} * t = 1,5 \text{ kW} * 5 \text{ horas}$$

$$E_{\text{refrigerador}} = 7,5 \text{ kW/hora}$$

$$E_{\text{total}} = E_{\text{bañoMARIAextracción}} + E_{\text{BañoMaríaPASTEURIZACIÓN}} + E_{\text{refrigerador}}$$

$$E_{\text{total}} = 9,98 \text{ kW/hora}$$

4.4. Evaluación de costos

4.4.1. Costos de materia prima e insumos

En la tabla a continuación, se presentan los costos de los insumos y materias primas utilizados durante todo el desarrollo experimental.

Tabla IV - 5: Costos de materia prima e insumos

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio (Bs)
Materia prima	Maca en polvo	kg	1,5	349,50
Insumos	Azúcar	kg	1	8
	Pulpa de frutos rojos	kg	1	27
	Agua purificada	Botellon	2	32
	Ácido cítrico	g	20	3
	Agua destilada	litro	1	8
TOTAL				427,5

Fuente: Elaboración propia 2026

4.4.2. Costos de materiales

Corresponden a los materiales utilizados durante el proceso y el envasado del producto.

Tabla IV - 6: Costos de materiales

N°	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio (Bs)
1	Botellas de plástico	Pieza	20	60
2	Jarras	Pieza	3	21
3	pHmetro	pieza	1	300
4	Bolsas herméticas	Pieza	50	12
TOTAL				393

Fuente: Elaboración propia 2026

4.4.3. Costos de análisis del producto final

Tabla IV - 7: Costos de análisis físico químicos y microbiológicos del producto final

N°	Descripción	Precio Unitario	Cantidad	Costo (Bs)
Análisis fisicoquímicos				
1	Acidez total	50	1	50
2	Azucares totales	120	1	120
3	Cenizas	80	1	80
4	Grasas	120	1	120
5	Hidratos de carbono	20	1	20
6	Humedad	50	1	50
7	Proteína total	120	1	120
8	pH	25	1	25
9	Solidos solubles	30	1	30
10	Solidos totales	20	1	20
11	Valor energético	20	1	20
Análisis microbiológicos				
12	Bacterias aerobias mesófitas	110	1	110
13	Coliformes totales	110	1	110
14	Escherichia coli	110	1	110
15	Mohos y levaduras	110	1	110
TOTAL (análisis fisicoquímicos y microbiológicos)				1095

Fuente: Elaboración propia 2026

4.4.4. Costos de energía eléctrica

En la tabla IV – 8 se muestran los costos eléctricos, que fueron calculados en función al balance energético.

Tabla IV - 8: Costos energéticos

Descripción	Precio unitario (Bs/kW)	kW/hora utilizada	Costo (Bs)
Energía eléctrica	0,84	9,98	8,38

Fuente: Elaboración propia 2026

4.4.5. Costos de servicios y material de apoyo

Tabla IV - 9: Costos de servicio y material de apoyo

Ítem	Unidad	Cantidad	Costo (Bs)
Impresiones	hojas	400	160
Transporte	pasaje	30	180
Mano de obra	hora	200	2000
Empastados	pieza	4	240
TOTAL			2580

Fuente: Elaboración propia 2026

4.4.6. Costo total del proyecto

Tabla IV - 10: Costo total del proyecto

N°	Descripción	Costos (Bs)
1	Costos de materia prima e insumos	427,50
2	Costos de materiales	393
3	Costos de análisis físico químicos y microbiológicos del producto final	1095
4	Costos de energía eléctrica	8,38
5	Costos de servicio y material de apoyo	2580
TOTAL		4503,88

Fuente: Elaboración propia 2026

4.4.7. Determinación de costo unitaria del producto final

Tabla IV - 11: Costos unitario de la bebida energética en base a maca

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo (Bs)
Maca	g	40	9,32
Azúcar	g	62,5	0,50
Pulpa de frutos rojos	g	187,50	5,06
Agua	litro	1,050	1,12
Ácido cítrico	g	0,125	0,15
Energía Eléctrica	Kw/hora	9,98	8,38
Mano de obra	hora	6	60
TOTAL			84,53

Fuente: Elaboración propia 2026

Para la determinación del costo unitario de la bebida, se consideró la inversión realizada en materia prima e insumos correspondientes a la cantidad producida en el tratamiento de mayor rendimiento, la cual fue de 1223 ml. El costo total de producción para este lote, calculado según el precio de mercado de los insumos, energía y mano de obra, fue de 84,53 Bs.

Por lo tanto, para calcular el valor del producto por litro sería:

$$\text{Costo por (ml)} = \frac{\text{costo de producción}}{\text{Volumen de producción}} = \frac{84,53Bs}{1223ml}$$

$$\text{Costo por (ml)} = 0,069 \text{ Bs/ml}$$

$$\text{Costo por litro} = (\text{costo por ml}) \times 1000$$

$$\text{Costo por litro} = 69,12 \text{ Bs/ml}$$

Con base en estos datos, se determinó que el costo de producción por litro es de 69,12 Bs, mientras que el costo unitario por presentación del producto de 250 ml es de 17,25Bs, calculado de la siguiente forma:

$$\text{Costo por porción (250ml)} = (\text{costo por ml}) \times 250$$

$$\text{Costo por porción (250ml)} = 17,25 \text{ Bs}$$

El costo de producción de la bebida en base a maca resulta ser significativamente más alto en comparación con otros jugos comerciales. Esta diferencia se atribuye principalmente al elevado valor comercial de la maca liofilizada como materia prima principal y al proceso especializado de extracción, factores que elevan el costo por litro pero que garantizan las propiedades funcionales y nutricionales del producto final.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se demostró que la maca (*lepidium meyenii*), es una materia prima adecuada para la elaboración de una bebida energética natural, debido a sus características, obteniéndose un producto estable y apto para el consumo.
- El producto desarrollado presenta un valor energético de 46 kcal, dentro de rangos aceptables según la Normativa Boliviana NB 325001:2024, y se diferencia de las bebidas energéticas comerciales al no contener estimulantes artificiales, constituyéndose como una alternativa más saludable.
- El proceso de extracción acuosa empleado para la elaboración de la bebida permitió alcanzar un rendimiento de extracción de 65,45%, correspondiente a la prueba P₁₋₃, considerado adecuado para este tipo de proceso.
- El rendimiento global del proceso de la bebida energética fue de 92,44% (muestra M₃₋₁₂), lo que indica una alta eficiencia en la obtención del producto, en gran parte gracias al uso de agua como solvente, lo cual permitió minimizar pérdidas durante el proceso.
- Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados muestran que el producto cumple con parámetros adecuados de calidad e inocuidad, garantizando su seguridad para el consumo humano de acuerdo a la Normativa Boliviana NB 325001:2024, NB 36007 y CXS 247-2005
- Las condiciones de proceso, especialmente en las etapas de extracción y pasteurización, influyen directamente en las características finales del producto, como el sabor, aroma, estabilidad y valor nutricional.
- El análisis de costos determinó que el producto presenta un costo de producción de 69,12 Bs/L, equivalente a 17,25 Bs por presentación de 250 ml. Este valor es elevado en comparación con bebidas comerciales similares, debido principalmente al costo de la maca liofilizada y al proceso aplicado a escala de

laboratorio. En este contexto, se concluye que la producción del producto, en las condiciones actuales, no resulta económicamente viable. Sin embargo, estos resultados permiten identificar oportunidades de optimización en futuros estudios.

5.2. Recomendaciones

- Controlar la temperatura de extracción, recomendándose no superar los 50 °C, para evitar la degradación de compuestos bioactivos presentes en la maca.
- Se recomienda en la etapa de pasteurización, evitar temperaturas y tiempos elevados, ya que estos factores pueden modificar el perfil sensorial del producto, resaltando características propias de la materia prima que no resultan agradables.
- Evaluar el uso de tecnologías alternativas como la extracción asistida por ultrasonido, con el objetivo de comparar rendimientos de extracción, eficiencia del proceso y posibles mejoras en las características del producto final.
- Se recomienda almacenar el producto final en condiciones de refrigeración y protegido de la luz solar, con el fin de prolongar su vida útil y mantener sus características fisicoquímicas y sensoriales.
- Se sugiere evaluar la posibilidad de aprovechamiento del bagazo residual, con fines de valorización (por ejemplo, como ingrediente en otros productos), contribuyendo a un proceso más sostenible.
- Se recomienda evaluar la viabilidad económica del proceso a mayor escala, considerando la optimización de operaciones y reducción de costos, con el fin de mejorar la competitividad del producto dentro del mercado.
- Se sugiere analizar el uso de maca en polvo convencional como alternativa a la maca liofilizada, con el objetivo de comparar costos, rendimiento de extracción y calidad del producto final.