

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**ELABORACIÓN DE UNA BEBIDA ENERGÉTICA NATURAL EN BASE A
MACA (LEPIDIUM MEYENII)**

Por:

GUZMAN YULIANA YASMIN

**Modalidad de graduación “Investigación Aplicada” presentado a consideración
de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como
requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Química.**

Mayo 2026

TARIJA – BOLIVIA

VºBº

M.Sc. Ing. Marcelo Segovia
DECANO FACULTAD DE CIENCIAS
Y TECNOLOGÍA

M.Sc. Ing. Fernando Erick Cortez
VICEDECANO FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

M.Sc. Ing. Rene Emilio Michel Cortes
DIRECTOR DE CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

Ing. Ignacio Velásquez Soza

Ing. Maiza Paz Aldana

Ing. Liliana Roman Villca

Advertencia

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo éstas responsabilidad del autor.

Dedicatoria

El presente trabajo va dedicado a Dios, por darme fortaleza en los momentos difíciles, guiarme e iluminar mi camino en cada paso.

A mi madre, ***María Rita Guzmán***, por su amor incondicional, por cada sacrificio y consejo. Porque fue mi motivación, mi ejemplo y mi mayor creyente incluso cuando yo dudaba de mí.

Y a mí misma, por la perseverancia, la disciplina y el valor de continuar aun en los días difíciles. Por no rendirme y llegar hasta aquí.

Agradecimientos

Le agradezco a Dios, por ser mi guía y acompañarme en cada paso de mi carrera.

Le doy gracias a mi mamá, por sus enseñanzas, palabras de aliento, por ser mi luz, mi motor y mi mayor apoyo para salir adelante.

A todos mis docentes de la carrera de Ingeniería Química de la U.A.J.M.S., por orientarme y aconsejarme en el transcurso de mi carrera.

Y a todas mis amistades que siempre me apoyaron y acompañaron en esta etapa de mi vida, para cumplir una meta más.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES	1
OBJETIVOS	7
Objetivo General.....	7
Objetivos Específicos.....	7
JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO	8
Justificación tecnológica	8
Justificación económica	8
Justificación social	8
Justificación ambiental.....	9
Justificación personal.....	9

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO	10
1.1. Descripción de la planta de maca.....	10
1.2. Composición nutricional de la maca.....	10
1.3. Propiedades nutricionales de la maca	11
1.4. Maca liofilizada en polvo.....	12
1.4.1. Proceso de liofilización.....	12
1.4.2. Características de la maca liofilizada	12
1.4.3. Beneficios del uso de la maca liofilizada en polvo	13
1.5. Dosis diaria recomendada de maca.....	13
1.6. Definición de bebida energética.....	13
1.6.1. Tipos de bebidas energéticas.....	14
1.6.1.1. Según contenido calórico	14
1.6.1.1.1. Bebidas energéticas altas en calorías	14
1.6.1.1.2. Bebidas energéticas bajas en calorías	14
1.6.1.2. Bebidas energéticas deportivas	14
1.6.1.3. Bebidas energéticas a base de plantas	14
1.7. Diferencia entre bebidas energéticas y bebidas energizantes.....	14

1.8. Insumos y componentes en bebidas energéticas	15
1.8.1. Pulpa de frutas.....	15
1.8.2. Ácido cítrico como regulador de pH.....	15
1.8.3. Azúcar	15
1.9. Composición nutricional de las bebidas con aporte energético	15
1.10. Procesos de elaboración de una bebida energética	16
1.10.1. Método de extracción solido – liquido (medio acuoso)	16
1.10.1.1. Preparación de la materia prima.....	16
1.10.1.2. Extracción solido – liquido (medio acuoso).....	16
1.10.1.3. Filtración	17
1.10.1.3.1. Tipos de filtración	17
1.10.1.3.1.1. Filtración por gravedad.....	17
1.10.1.3.1.2. Filtración al vacío	17
1.10.1.4. Ventajas y desventajas del método de extracción solido – liquido (medio acuoso)	18
1.10.2. Método de extracción asistida por ultrasonido (EAU).....	18
1.10.2.1. Preparación del disolvente	19
1.10.2.1.1. Disolvente acuoso	19
1.10.2.1.2. Disolvente hidroalcohólico	19
1.10.2.2. Mezcla y aplicación del ultrasonido.....	19
1.10.2.3. Evaporación	19
1.10.2.3.1. Evaporación por rotavapor.....	19
1.10.2.3.2. Evaporación simple a baja temperatura	19
1.10.2.4. Filtración	20
1.10.2.5. Ventajas y desventajas del método de extracción asistida por ultrasonido....	21
1.11. Estándares normativos y requisitos de calidad.....	21
1.11.1. Parámetros fisicoquímicos	22
1.11.2. Parámetros microbiológicos.....	22

CAPÍTULO II

2. PARTE EXPERIMENTAL	24
2.1. Descripción del método de investigación	24

2.2. Selección del proceso utilizado.....	24
2.3. Equipos, materiales e insumos utilizados en el proceso	26
2.3.1. Equipos	26
2.3.2. Materiales.....	26
2.3.3. Insumos	26
2.4. Descripción del proceso para la elaboración de una bebida energética natural	27
2.4.1. Preparación de la materia prima.....	27
2.4.2. Extracción solido – líquido (medio acuoso).....	28
2.4.2.1. Determinación del rendimiento de extracción	29
2.4.3. Filtración del extracto	30
2.4.4. Formulación de la bebida.....	30
2.4.5. Homogeneización y pasteurización de la bebida	32
2.4.6. Envasado	32
2.4.7. Etiquetado y almacenamiento	33
2.4.8. Diagrama de la elaboración de la bebida energética.....	33
2.5. Diseño factorial.....	34
2.5.1. Diseño en la etapa de extracción (solido – líquido)	34
2.5.1.1. Variables independientes	34
2.5.1.2. Variable dependiente.....	34
2.5.1.3. Justificación de las variables seleccionadas	34
2.5.2. Diseño experimental en la etapa de formulación	37
2.5.2.1. Variables independientes	37
2.5.2.2. Variable dependiente.....	37
2.5.2.3. Justificación de las variables seleccionadas	37

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
3.1. Introducción	40
3.2. Propiedades de la maca liofilizada en polvo	40
3.3. Resultados del diseño factorial en la etapa de extracción	41
3.3.1. Resultados en la etapa de extracción.....	41

3.3.2.	Análisis del diseño factorial	41
3.3.2.1.	Resumen del modelo	42
3.3.2.2.	Análisis de Varianza (ANOVA)	42
3.3.2.3.	Evaluación de los efectos de los factores sobre el rendimiento	43
3.3.2.4.	Ecuación lineal	44
3.3.2.5.	Gráfica de probabilidad normal	44
3.3.2.6.	Comparación entre el rendimiento observado y rendimiento modelo	45
3.3.2.7.	Evaluación del error del modelo	46
3.4.	Resultados del diseño factorial en la etapa de formulación	47
3.4.1.	Resultados de la etapa de formulación	47
3.4.2.	Análisis del diseño factorial	48
3.4.2.1.	Resumen del modelo	48
3.4.2.2.	Análisis de varianza (ANOVA)	48
3.4.2.4.	Ecuación lineal	50
3.4.2.5.	Gráfica de probabilidad normal	50
3.4.2.6.	Comparación entre aceptación observada y aceptación modelo	51
3.4.2.7.	Evaluación del error del modelo	52
3.5.	Análisis sensorial del producto final	53
3.5.1.	Resultados del análisis sensorial de las características organolépticas	53
3.5.2.	Resultados de la aceptación global de las formulaciones	55
3.6.	Análisis de laboratorio del producto final	56
3.6.1.	Comparación de propiedades entre la materia prima y producto final	57
3.7.	Determinación de la vida útil del producto	58

CAPÍTULO IV

4.	BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA	62
4.1.	Balance de materia por etapas	62
4.1.1.	Etapa de preparación de la mezcla	62
4.1.2.	Etapa de extracción	62
4.1.3.	Etapa de filtrado	63
4.1.4.	Rendimiento de extracción	63

4.1.5.	Etapa de formulación	64
4.1.6.	Etapa de pasteurización.....	66
4.1.7.	Etapa de envasado.....	66
4.1.8.	Rendimiento global del proceso.....	67
4.1.9.	Resumen del balance de materia	67
4.2.	Balance de energía	68
4.2.1.	Etapa de extracción	69
4.2.2.	Etapa de pasteurización.....	70
4.2.3.	Etapa de refrigeración	71
4.2.4.	Resumen del balance de energía	71
4.3.	Consumo de energía eléctrica total	71
4.4.	Evaluación de costos.....	72
4.4.1.	Costos de materia prima e insumos.....	72
4.4.2.	Costos de materiales.....	72
4.4.3.	Costos de análisis del producto final.....	73
4.4.4.	Costos de energía eléctrica.....	73
4.4.5.	Costos de servicios y material de apoyo	74
4.4.6.	Costo total del proyecto	74
4.4.7.	Determinación de costo unitaria del producto final	74

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	76
5.1.	Conclusiones	76
5.2.	Recomendaciones	77

BIBILIGRAFÍA ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla In - 1: Producción Histórica de Maca en China	2
Tabla In - 2: Producción Histórica de Maca en Perú	2
Tabla In - 3: Producción de maca en Bolivia	3
Tabla In - 4: Producción de maca por departamento	4
Tabla In - 5: Exportaciones de Bolivia de Maca en Polvo	4
Tabla In - 6: Exportaciones de Bolivia (bebidas energéticas – energizantes)	5
Tabla I - 1: Composición nutricional de la maca	11
Tabla I - 2: Características de la maca liofilizada	12
Tabla I - 3: Composición nutricional de bebidas con aporte energético	16
Tabla I - 4: Requisitos fisicoquímicos y organolépticos según normativa	22
Tabla I - 5: Requisitos microbiológicos según normativa NB: 325001:2024	23
Tabla II - 1: Control de pH y °Brix antes y después de la extracción	29
Tabla II - 2: Control de pH y °Brix en la etapa de formulación	31
Tabla II - 3: Variables y niveles seleccionados	35
Tabla II - 4: Plan de experimentos para la etapa de extracción	36
Tabla II - 5: Variables seleccionadas para la etapa de formulación	38
Tabla II - 6: Plan de experimentos para la etapa de formulación	39
Tabla III - 1: Propiedades fisicoquímicas y nutricionales de la maca liofilizada	40
Tabla III - 2: Propiedades microbiológicas de la maca liofilizada	40
Tabla III - 3: Resultados obtenidos en la etapa de extracción	41
Tabla III - 4: Resumen del modelo	42
Tabla III - 5: Análisis de varianza	42
Tabla III - 6: Pruebas de efectos inter-sujetos	43
Tabla III - 7: Coeficientes del modelo lineal	44
Tabla III - 8: Comparación entre valores experimentales y estimados	45
Tabla III - 9: Diferencia entre valores experimentales y estimados	46
Tabla III - 10: Resultados obtenidos en la etapa de formulación	47
Tabla III - 11: Resumen del modelo	48
Tabla III - 12: Análisis de varianza	48
Tabla III - 13: Pruebas de efectos inter-sujetos	49
Tabla III - 14: Coeficientes del modelo lineal	50

Tabla III - 15: Comparación entre aceptación observada y modelo _____	51
Tabla III - 16: Diferencia entre valores experimentales y estimados _____	52
Tabla III - 17: Resultados promedio de la evaluación sensorial de las formulaciones _____	54
Tabla III - 18: Resultados de la aceptación global del producto _____	55
Tabla III - 19: Resultados de análisis físico químicos y microbiológicos _____	56
Tabla III - 20: Comparativa de propiedades de materia prima vs producto final (Muestra D) _____	58
Tabla IV - 1: Resumen del balance de materia _____	68
Tabla IV - 2: Fracción másica y Cp. de los componentes de la maca en polvo _____	69
Tabla IV - 3: Fracciones másicas y Cp. de cada componente de la bebida elaborada _____	70
Tabla IV - 4: Resumen del balance de energía de la bebida energética a base de maca _____	71
Tabla IV - 5: Costos de materia prima e insumos _____	72
Tabla IV - 6: Costos de materiales _____	72
Tabla IV - 7: Costos de análisis físico químicos y microbiológicos del producto final _____	73
Tabla IV - 8: Costos energéticos _____	73
Tabla IV - 9: Costos de servicio y material de apoyo _____	74
Tabla IV - 10: Costo total del proyecto _____	74
Tabla IV - 11: Costos unitario de la bebida energética en base a maca _____	74

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro I - 1: Ventajas y desventajas de la extracción solido – liquido (medio acuoso) _____	18
Cuadro I - 2: Ventajas y desventajas de la extracción asistida por ultrasonido _____	21
Cuadro II - 1: Comparación entre extracción solido-líquido y extracción asistida por ultrasonido _____	25
Cuadro III - 1: Vida útil del producto refrigerado _____	59
Cuadro III - 2: Vida útil del producto a temperatura ambiente _____	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I - 1: Planta de maca _____	10
Figura I - 2: Diagrama del proceso 1.7.1. extracción solido – liquido (medio acuoso) _____	17
Figura I - 3: Diagrama del proceso 1.7.2. extracción asistida por ultrasonido _____	20
Figura II - 1: Maca liofilizada en polvo _____	27
Figura II - 2: Extracción solido - liquido (maca - agua) _____	28
Figura II - 3: Extracto de maca ya filtrado _____	30
Figura II - 4: Formulación de la bebida _____	31
Figura II - 5: Diagrama del proceso de elaboración de una bebida de maca _____	33
Figura III - 1: Gráfica de probabilidad normal _____	44
Figura III - 2: Rendimiento observado y rendimiento modelo _____	46
Figura III - 3: Error entre el rendimiento observado y modelo _____	47
Figura III - 4: Grafica de probabilidad normal _____	50
Figura III - 5: Aceptación observada y aceptación estimada _____	52
Figura III - 6: Error entre la aceptación observada y estimada _____	53
Figura III - 7: Comparación sensorial entre formulaciones _____	54
Figura III - 8: Comparación de la aceptación global del producto _____	55
Figura IV - 1: Diagrama del balance de materia _____	67

GLOSARIO

Terminología Utilizada

°**Brix**: Medida del contenido de sólidos solubles

Cp.: Calor específico.

DAPRO: Dirección de Análisis Productivo.

EAU: Extracción Asistida por Ultrasonido, técnica que utiliza ondas ultrasónicas para mejorar la extracción de compuestos.

E. coli: Escherichia coli.

INE: Instituto Nacional de Estadística de Bolivia.

MDRyT: Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras de Bolivia.

NB: Norma Boliviana, conjunto de normas técnicas aplicables en el país.

NMP: Número Más Probable, método estadístico para estimar la concentración de microorganismos.

SPSS: Software estadístico utilizado para el análisis de datos.

SST: Sólidos solubles totales.

UFC: Unidades Formadoras de Colonias, utilizadas para cuantificar microorganismos.

Nomenclatura Utilizada

<: Menor que.

>: Mayor que.

≤: Menor o igual que.

≥: Mayor o igual que.

ΔT: Diferencia de temperatura

pH: Medida de la acidez o alcalinidad de una solución.

°C: Grados Celsius, unidad de temperatura.

kcal: Kilocaloría, unidad de energía térmica.

L: Litro, unidad de volumen.

mL: Mililitro.

g: Gramo.

kg: Kilogramo.

mg: Miligramo.

m/m: Relación masa a masa.

Ha: Hectárea

Ton: Tonelada

min: Minuto.

h: Hora.

W: Watt, unidad de potencia.

kW: Kilowatt.

kWh: Kilowatt-hora, unidad de energía.

P: Potencia.

E: Energía.

Q: Calor transferido.

x_i : Fracción másica del componente i en una mezcla.

P_{N-i} : Código de identificación de muestras realizada, donde n es la réplica y i el experimento dentro del diseño. Ejemplo: P_{1-3} indica la réplica 1 del experimento 3.

M_{n-i} : Identificación de muestras en proceso donde n representa la réplica y i el experimento dentro del diseño. Ejemplo: M_{1-3} indica la réplica 1 del experimento 3.