

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**OBTENCIÓN DE COLORANTE NATURAL A PARTIR DE LA
CÁSCARA DE PLÁTANO VERDE (Musa Paradisiaca)
MEDIANTE EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO**

Por:

JUAN MANUEL CAMACHO GARZÓN

**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.**

Junio de 2026

TARIJA-BOLIVIA

VºBº

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

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

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

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

Ing. Luis David Blades Medrano

Ing. Daniela Rivera

Ing. Marimthia Carvallo Humacata

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

Con mucho cariño, dedico este trabajo a mi padre, **Juan Ramón Camacho Vedia**, por ser el pilar fundamental de mi vida, por su esfuerzo constante y por brindarme siempre todo lo necesario para seguir adelante y cumplir mis metas.

A mi madre, **Ivana Pastora Garzón Aguilera**, que desde el cielo acompaña cada uno de mis pasos. Aunque su ausencia ha sido difícil, su amor, sus recuerdos y todo lo que sembró en mi vida permanecen para siempre en mi corazón.

Agradecimiento

Agradezco a Dios por brindarme salud, fortaleza y perseverancia para alcanzar esta meta.

A mi hermana, Cecilia Camacho, por su apoyo, compañía y motivación en los momentos más difíciles de este proceso.

Asimismo, expreso mi agradecimiento a mis docentes por compartir sus conocimientos y contribuir a mi formación profesional, y a todas las personas que estuvieron presentes brindándome su apoyo a lo largo de esta etapa.

ÍNDICE

	Pág.
Advertencia.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Resumen.....	iv

INTRODUCCIÓN

Antecedentes	1
Objetivos	8
Objetivo general	8
Objetivos específicos	8
Justificación	9
Justificación tecnológica	9
Justificación económica	9
Justificación social	10
Justificación ambiental.....	10
Justificación personal	11

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Descripción de la materia prima.....	13
1.1.1. Cáscara de plátano verde.....	13
1.1.1.1. Composición química y física de la cáscara de plátano verde	14
1.1.1.2. Beneficios de la cáscara de plátano verde.....	15

1.1.1.3. Aplicaciones de la cáscara de plátano verde	16
1.2. Métodos de extracción del colorante natural.....	17
1.2.1. Extracción solido-liquido por extractor Soxhlet	18
1.2.1.1. Variables de control en la extracción Soxhlet	18
1.2.1.2. Ventajas y Desventajas de la extracción Soxhlet	19
1.2.2. Extracción sólido-líquido por maceración	19
1.2.2.1. Variables de control en la extracción por maceración.....	20
1.2.2.2. Ventajas y Desventajas la extracción por maceración.....	21
1.2.3. Extracción sólido-líquido por cocción	21
1.2.3.1. Variables de control en la extracción por cocción.....	22
1.2.3.2. Ventajas y Desventajas de la extracción por cocción.....	22
1.2.4. Extracción sólido-líquido asistida por Microondas (EAM).....	23
1.2.4.1. Variables de control en la extracción asistida por Microondas	24
1.2.4.2. Ventajas y Desventajas de la extracción asistida por Microondas	24
1.2.5. Extracción sólido-líquido asistida por Ultrasonido (EAU).....	25
1.2.5.1. Variables de control en la extracción asistida por Ultrasonido	26
1.2.5.2. Ventajas y Desventajas de la extracción asistida por Ultrasonido	26
1.2.6. Extracción sólido-líquido con Fluidos Supercríticos	27
1.2.6.1. Variables de control en la extracción con Fluidos Supercríticos.....	27
1.2.6.2. Ventajas y Desventajas de la extracción con Fluidos Supercríticos.....	28
1.2.7. Extracción por Prensado	28
1.2.7.1. Variables de control en la extracción por prensado.....	29
1.2.7.2. Ventajas y Desventajas de la extracción por prensado.....	30

1.2.8. Selección del método para la extracción del colorante natural	30
1.2.9. Selección del solvente para la extracción.....	33
1.3. Descripción de colorantes naturales	36
1.3.1. Factores que afectan la estabilidad de los colorantes naturales	36
1.3.2. Contenido del extracto natural para uso de colorante natural	37
1.3.2.1. Antocianinas	37
1.3.2.2. Flavonoides	37
1.3.2.3. Taninos.....	38
1.3.2.4. Lignina	38
1.3.2.5. Carotenoides.....	38
1.3.3. Aplicaciones del extracto natural como colorante	39
1.3.3.1. Industria Textil	39
1.3.3.2. Industria Alimentaria.....	39
1.3.3.3. Industria Cosmética.....	40
1.3.4. Absorbancia en un colorante natural	40
1.3.5. Diseño Factorial para el proceso de extracción.....	42

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN DE LA PARTE EXPERIMENTAL DEL PROCEDIMIENTO

2.1. Metodología	43
2.1.1. Metodología Experimental.....	43
2.1.2. Metodología Analítica.....	43
2.1.3. Metodología Documental.....	44
2.1.4. Justificación de la metodología.....	44

2.2. Pruebas preliminares	45
2.2.1. Datos bibliográficos	45
2.2.2. Datos de las pruebas preliminares.....	45
2.2.3. Selección de los niveles de las variables independientes.....	48
2.2.4. Selección de la variable dependiente	51
2.3. Descripción del procedimiento para la extracción del colorante natural	52
2.3.1. Recepción del plátano verde	53
2.3.2. Cortado y Pesado	53
2.3.3. Limpieza de la cáscara de plátano.....	54
2.3.4. Secado	55
2.3.5. Triturado y pesado.....	55
2.3.6. Maceración.....	56
2.3.7. Filtración del extracto	57
2.3.9. Medición de Absorbancia.....	58
2.3.10. Concentrado	59
2.3.11. Envasado	59
2.4. Variables del proceso experimental	60
2.4.1. Variable de concentración de etanol.....	60
2.4.2. Variable de proporción soluto-solvente.....	60
2.4.3. Variable de tiempo de maceración	61
2.4.4. Variable respuesta: Volumen final.....	61
2.5. Diseño experimental.....	61
2.5.1. Diseño factorial	62

CAPÍTULO III

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1. Introducción al análisis y discusión de resultados.....	66
3.2. Presentación de los resultados de la caracterización de la materia prima ...	66
3.3. Presentación de los resultados del producto obtenido	68
3.3.1. Resultados obtenidos con el diseño factorial	68
3.3.1.1. Variable respuesta Volumen final	68
3.3.1.2. Análisis de varianza (ANOVA).....	69
3.3.1.3 Resumen del modelo	70
3.3.1.4. Análisis de varianza (ANOVA).....	71
3.3.1.5. Ecuación de regresión lineal	72
3.3.1.6. Grafica de probabilidad normal	72
3.3.1.7. Comparación entre el volumen final observado y el volumen final del modelo.....	73
3.3.2. Resultados de la caracterización del extracto natural obtenido	74
3.4. Pruebas cualitativas al extracto natural colorante	76
3.4.1. Prueba con cloruro férrico (FeCl_3) y ácido clorhídrico (HCl)	76

CAPÍTULO IV

BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA

4.1 Introducción al balance de materia y energía	82
4.2. Balance de materia por etapa.....	82
4.2.1. Etapa de Limpieza.....	82
4.2.2. Etapa de Secado	82

4.2.3. Etapa de Triturado y Pesado.....	83
4.2.4. Etapa de Maceración	83
4.2.5. Etapa de Filtración del extracto.....	84
4.2.6. Etapa de Medición de Absorbancia.....	84
4.2.7. Etapa de Concentrado	85
4.2.8. Etapa de envasado	85
4.2.9. Rendimiento	87
4.2.10. Comparación de rendimiento con proyectos similares	87
4.3. Balance de energía por etapa	89
4.3.1. Balance en el secado	89
4.3.2. Balance en el concentrado.....	90
4.3.3. Energía total del proceso	91
4.4. Evaluación de costos	93
4.4.1. Costos de materias primas.....	93
4.4.2. Costos de materiales.....	93
4.4.3. Costos de análisis de la cáscara de plátano verde	94
4.4.4. Costos de análisis del extracto natural obtenido	95
4.4.5. Costos energéticos.....	96
4.4.6. Costos de servicios y materiales directos e indirectos	96
4.3.7. Costo Total del Proyecto	97
4.3.8. Determinación del costo unitario del extracto natural colorante	97

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones	99
--------------------------------	-----------

5.2. Recomendaciones	100
-----------------------------------	------------

Bibliografía

Anexos

Índice de Tablas

	Página
Tabla IND-1 Datos sobre el mercado mundial de colorantes naturales.....	4
Tabla IND-2 Datos de importaciones de colorantes naturales a nivel mundial.....	5
Tabla IND-3 Datos de exportaciones de colorantes naturales a nivel mundial.....	5
Tabla IND-4 Datos de importaciones en América Latina de colorantes naturales.....	6
Tabla IND-5 Datos de exportaciones en América Latina de colorantes naturales.....	6
Tabla I-1 Datos de la composición de la cáscara de plátano verde.....	14
Tabla I-2 Selección del método para la extracción.....	31
Tabla I-3 Selección del solvente para la extracción.....	34
Tabla II-1 Datos de las pruebas preliminares.....	46
Tabla II-2 Tabla de variables independientes del proceso de extracción.....	48
Tabla II-3 Resultados de absorbancia de los extractos obtenidos sin concentrar.....	49
Tabla II-4 Resultados de absorbancia de los extractos obtenidos concentrados.....	50
Tabla II-5 Pruebas preliminares con resultados positivos.....	50
Tabla II-6 Niveles de las variables independientes.....	51
Tabla II-7 Variables y niveles.....	63
Tabla II-8 Codificación de variables.....	63
Tabla II-9 Matriz de diseño.....	64
Tabla II-10 Plan de experimentación.....	65
Tabla III-1 Caracterización fisicoquímica y microbiológica de la cáscara de plátano verde.....	67

Tabla III-2 Datos para el diseño factorial.....	68
Tabla III-3 Resumen del diseño factorial.....	69
Tabla III-4 Coeficientes codificados variable respuesta Volumen final.....	69
Tabla III-5 Resumen del modelo.....	70
Tabla III-6 Análisis de varianza (ANOVA)	71
Tabla III-7 Comparación entre el Volumen final observado y el Volumen final del modelo.....	73
Tabla III-8 Análisis fisicoquímicos y microbiológicos del extracto natural obtenido.....	75
Tabla IV-1 Comparación de rendimiento con proyectos similares.....	88
Tabla IV-2 Costos de materias primas	93
Tabla IV-3 Costos de materiales.....	94
Tabla IV-4 Costos de análisis de la cáscara de plátano verde.....	94
Tabla IV-5 Costos de análisis del extracto natural obtenido.....	95
Tabla IV-6 Costos energéticos.....	96
Tabla IV-7 Costos de servicios y materiales directos e indirectos.....	96
Tabla IV-8 Costo Total del Proyecto.....	97
Tabla IV-9 Resumen de gastos de producción en la obtención del extracto natural...	97

Índice de Figuras

	Página
Fig. I-1 Extracción sólido-líquido por extractor Soxhlet.....	18
Fig. I-2 Extracción solido-liquido por Maceración.....	20
Fig. I-3 Extracción solido-liquido por cocción.....	22
Fig. I-4 Extracción solido-liquido asistida por Microondas.....	23
Fig. I-5 Extracción solido-liquido asistida por Ultrasonido.....	25
Fig. I-6 Extracción solido-liquido con Fluidos Supercríticos.....	27
Fig. I-7 Extracción por Prensado.....	29
Fig. I-8 Espectros de absorción de extractos de carne de pulpa fresca y cáscara fresca de plátano.....	41
Fig. II-1 Plátanos de cáscara verde.....	53
Fig. II-2 Cortado de la cáscara de plátano verde.....	54
Fig. II-3 Pesado de la cáscara de plátano verde.....	54
Fig. II-4 Limpieza de la cáscara de plátano verde.....	54
Fig. II-5 Secado de la cáscara de plátano verde.....	55
Fig. II-6 Triturado de la cáscara de plátano verde.....	56
Fig. II-7 Pesado de la cáscara de plátano verde triturada.....	56
Fig. II-8 Preparación de la mezcla.....	57
Fig. II-9 Maceración.....	57
Fig. II-10 Filtración del extracto.....	58
Fig. II-11 Medición de Absorbancia.....	58
Fig. II-12 Concentrado.....	59
Fig. II-13 Envasado.....	59

Fig. III- 1 Materiales y reactivos para las pruebas cualitativas.....	77
Fig. III- 2 Dosificación de reactivos en los tubos de ensayo.....	78
Fig. III-3 Dosificación de cloruro férrico y ácido clorhídrico en los tubos de ensayo.....	78
Fig. III- 4 Observación de las pruebas cualitativas en el etanol 70°.....	79
Fig. III-5 Observación de las pruebas cualitativas en el extracto natural sin concentrar.....	80
Fig. III-6 Observación de las pruebas cualitativas en el extracto natural concentrado.....	81

Índice de Diagramas

Diag. II-1 Diagrama de Extracción solido-liquido por Maceración.....	52
Diag. III-1 Grafica de probabilidad normal.....	72
Diag. III-2 Comparación entre el volumen final observado y el volumen final del modelo.....	74
Diag. IV-1 Balance global del procedimiento.....	86

ABREVIATURAS

Global Market Insights	GMI
Centro de Comercio Internacional	ITC
Dióxido de carbono	CO ₂
Centro de Análisis Investigación y Desarrollo	CEANID
Análisis de Varianza	ANOVA
Cloruro férrico	FeCl ₃
Ácido clorhídrico	HCl

UNIDADES

Dólar estadounidense	USD
Grados Celsius	°C
Mililitros	mL
Gramos	g
Unidad Formadora de Colonias	UFC
Grados Brix	°Bx
Bolivianos	Bs
Kilogramo	Kg
Kilojulios	kJ
Litros	L
Kilovatios	kW
Horas	h