

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

PROYECTO DE GRADO



**“EXTRACCIÓN DE TANINOS A PARTIR DE LA CÁSCARA DE
BANANO (MUSA PARADISIACA) A ESCALA LABORATORIO”**

Por:

PAOLA ANDREA ZEBALLOS TEJERINA

**Modalidad de graduación de Proyecto de grado: Investigación aplicada
presentado a consideración de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN
MISAEL SARACHO, como requisito para optar el grado académico de
licenciatura en Ingeniería Química.**

Noviembre de 2025

TARIJA-BOLIVIA

VºBº

M.Sc. Ing. Marcelo Segovia Cortez

DECANO

M.Sc. Ing. Fernando Erick Cortez Michel

VICEDECANO a.i.

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

Ing. Jimena Durán

Ing. Juan Carlos Vega Knez

Ing. Héctor Francisco Quiroga Torrez

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.

A Dios por ser mi guía, sabiduría y fuerza que me han permitido superar los desafíos y llegar hasta aquí.

A mi madre Margarita Tejerina quien con su amor y apoyo me ha permitido concluir esta etapa y a mi padre que está en el cielo Jaime Zeballos, que desde el cielo continúa guiándome.

A mis hermanos que me han apoyado con su comprensión y cariño.

A los docentes y compañeros de la Carrera Ing. Química de la UAJMS, quienes me apoyaron en todo momento que necesite de ellos.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES	2
OBJETIVOS.....	7
Objetivo general.....	7
Objetivos específicos	7
JUSTIFICACIONES	8
Justificación económica.....	8
Justificación tecnológica.....	8
Justificación social.....	8
Justificación ambiental	9

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1 Marco teórico	10
1.1 Taninos	10
<i>1.1.1 Características de los taninos</i>	10
<i>1.1.2 Clasificación de los taninos</i>	11
<i>1.1.2.1 Taninos hidrolizables pirogálicos</i>	11
<i>1.1.2.2 Taninos no hidrosolubles o condensados</i>	13
<i>1.1.2.3 Características de los taninos condensados</i>	13
1.2 Banano	14
<i>1.2.1 Descripción</i>	14
<i>1.2.2 Tipos o variedades de bananos</i>	15
<i>1.2.2.1 El plátano de cocción (Musa Paradisiaca)</i>	15
<i>1.2.2.2 Plátano Cavendish Valery</i>	17

1.2.2.3 Plátano dominico o enano	18
1.2.3 La Cáscara del banano	19
1.2.3 Producción de plátano	20
1.3 Técnicas de cuantificación de taninos	27
1.3.1 Técnicas cromatográficas	27
1.3.2 Ensayos ultravioletas	27
1.3.3 Técnicas espectrofotométricas	27
1.3.4 Método de cuantificación de taninos por el método de folin- ciocalteu	28
1.4 Métodos extractivos	28
1.4.1 Extracción con solventes	29
1.4.1.1 Extracción continua o progresiva	29
1.4.1.2 Extracción discontinua	31
1.4.2 Descripción del proceso de extracción de taninos	32
1.4.3 Extracción mecánica	34
1.4.4 Destilación	34
1.4.5 Extracción con fluidos supercríticos	34
1.5 Factores que influyen en la extracción de taninos	35
1.5.1 Tamaño de partícula	35
1.5.2 Solvente	36
1.5.3 Temperatura	36
1.5.4 Agitación del fluido	36
1.6 Solventes para extracción de taninos	36
1.7 Método cuantitativo de Stiasny	38
1.8 Método Cualitativo de extracción de taninos.	40
1.9 Diseño factorial o experimental	41
1.9.1 Diseño Factorial a Dos Niveles 2k	42
1.9.2 Análisis del Diseño Factorial 2K	42

CAPITULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2 Parte experimental.....	43
2.1 Descripción y análisis de materias primas.....	43
2.1.1 Muestreo de banano verde (<i>Musa Paradisiaca</i>).....	43
2.1.1.1 Selección de puntos de muestreo.....	43
2.1.1.2 Criterios de selección de los bananos.....	48
2.1.1.3 Plan de muestreo.....	49
2.1.1.4 Procedimiento de Muestreo	49
2.1.1.5 Análisis de calidad.	49
2.2.1 Selección del método de extracción.....	51
2.3 Diseño factorial	52
2.3.1 Objetivos del diseño experimental.....	53
2.3.2 Elección de los factores y niveles	53
2.3.2.1 Secado de las cáscaras de banano.....	53
2.3.2.2 Molienda	54
2.3.2.3 Extracción	55
2.3.4 Diseño Factorial.....	56
2.3.4.1 Factores	56
2.3.4.2 Niveles	56
2.4 Equipos y materiales	58
2.4.1 Equipos	58
2.4.2 Materiales	59
2.4.3 Reactivos.....	60
2.5 Proceso de obtención de tanino	60
2.5.1 Selección de la materia prima	61
2.5.2 Preparación y acondicionamiento de la materia prima.....	62
2.5.3 Pesado de la materia prima	63
2.5.4 Secado	63

2.5.5 Molienda y tamizado	64
2.5.6 Extracción con solventes	66
2.5.7 Filtración	70
2.5.8 Evaporación	71
2.5.9 Centrifugado	71
2.5.10 Almacenamiento del tanino	72
2.6 Análisis cuantitativo	72
2.7 Análisis cualitativos	73
2.7.1 Prueba de precipitado con Gelatina enológica sin filtrar	74
2.7.2 Prueba de precipitado con Gelatina enológica filtrado	74
2.7.3 Prueba de precipitado con Gelatina enológica-Cloruro de Sodio filtrado	75
2.7.4 Prueba color con Ácido Clorhídrico HCl sin filtrar y filtrado	75
2.7.5 Prueba de color con Cloruro férrico filtrado	75
2.7.6 Prueba de precipitado con Acetato de plomo Ácido acético sin filtrar	76
2.7.7 Prueba de color con Acetato de plomo y Ácido acético sin filtrar	76
2.7.8 Panel calificador de pruebas cualitativas	77
2.8 Balance de materia y energía	78
2.8.1 Balance de materia	78
2.8.2 Balance de energía	87
2.9 Costo de producción	93

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3 Resultados y discusión	95
3.1 Caracterización de la materia prima	95
3.2 Resultados experimentales	96
3.2.1 Secado de las cáscaras de banano	96
3.2.2 Molienda de la cáscara	98

3.4 Análisis estadístico del diseño factorial	99
3.5 Características de los taninos obtenidos	106
3.5.1 Análisis cuantitativos	106
3.5.2 Análisis cualitativo	109
3.5.3 Análisis y discusión de resultados	112

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4 Conclusiones y recomendaciones	114
4.1 Conclusiones	114
4.2 Recomendaciones	116
Bibliografía	9
ANEXO A.....	14
ANEXO B	20
ANEXO C	25
ANEXO D.....	30
ANEXO E	35

Índice de tablas

Tabla 1- 1 Contenido nutricional del plátano macho	16
Tabla 1- 2 Composición bromatológica del banano verde.....	17
Tabla 1- 3 Composición química de la cáscara de banano	20
Tabla 1- 4 Mayores productores de banano en el mundo	21
Tabla 1- 5 Superficie, producción y rendimiento del Banano en Bolivia.....	22
Tabla 1- 6 Producción de banano año agrícola por departamentos	26
Tabla 1- 7 Propiedades físico químico del Etanol	37
Tabla 2- 1 Parámetros físicoquímicos de la materia prima.....	50
Tabla 2- 2 Escala de calificación de puntuación del 1 al 10	51
Tabla 2- 3 Matriz de decisión para la selección del proceso de extracción de	52
Tabla 2- 4 Niveles de los factores	57
Tabla 2- 5 Codificación de las variables	57
Tabla 2- 6 Datos Experimentales de la extracción de taninos	58
Tabla 2- 7 Materiales utilizados en el proceso de obtención de extracto tánico.....	59
Tabla 2- 8 Solventes reactivo utilizados para la obtención de extracto tánico	60
Tabla 2- 9 Resumen del balance de Materia	85
Tabla 2- 10 Resumen del balance de energía.....	93
Tabla 2- 11 Detalle de Costos totales del estudio	93
Tabla 2- 12 Costo total de la producción	94
Tabla 3- 1 Composición del peso de la banana verde (Musa Paradisiaca)	95
Tabla 3- 2 Parámetros físico químicos y microbiológicos de la cascara de banano verde Musa Paradisiaca.....	95
Tabla 3- 3 Resultados de la cantidad de taninos extraídos con agua como solvente ..	96
Tabla 3- 4 Curva de secado obtenida	97
Tabla 3- 5 Curva de tamizado obtenida	98

Tabla 3- 6. Combinación de variables independientes.....	99
Tabla 3- 7 Matriz de diseño experimental en la etapa de Extracción	101
Tabla 3- 8 Rendimiento de extracción y el % Rendimiento de extracción calculado	105
Tabla 3- 9 Resultados del porcentaje de rendimiento de la extracción de taninos ...	106
Tabla 3- 10 Análisis fisicoquímicos de la muestra de taninos obtenidos	106
Tabla 3- 11 Cálculo del número de Stiasny y el Rendimiento.....	107
Tabla 3- 12 Cálculo del número de Stiasny y el Rendimiento para la réplica	108
Tabla 3- 13 Rendimiento del extracto tánico	108
Tabla 3- 14 Prueba de formación de precipitado	109
Tabla 3- 15 Prueba de color con Ácido clorhídrico	110
Tabla 3- 16 Prueba de color con Cloruro férrico	111
Tabla 3- 17 Prueba con Acetato de plomo y Ácido acético	112

Índice de figuras

Fig. 1- 1 Estructuras del ácido gálico y el ácido elagico.....	12
Fig. 1- 2 Estructura del ácido tánico	12
Fig. 1- 3 Estructura general de un tánico condensado	14
Fig. 1- 4 Plátano Musa Paradisiaca	15
Fig. 1- 5 Plátano Cavendish Valery	18
Fig. 1- 6 Plátano pequeño o dominico	19
Fig. 1- 7 Producción, superficie y rendimiento de banano año agrícola.....	23
Fig. 1- 8 Ubicación geográfica de zonas productoras de plátano en Bolivia.....	24
Fig. 1- 9 Bolivia comportamiento de la producción de plátano	25
Fig. 1- 10 Producción de banano año agrícola.....	26
Fig. 1- 11 Clasificación de los métodos de obtención de los extractos taninos	29
Fig. 1- 12 Diagrama de bloques del proceso de extracción de taninos por solventes.	33
Fig. 2- 1 Mapa selección de la muestra.....	43
Fig. 2- 2 Ubicación del principal centro de abastecimiento de plátano verde Musa paradisiaca.....	48
Fig. 2- 3 Materia prima seleccionada para el lavado	50
Fig. 2- 4 Proceso de obtención de tanino	61
Fig. 2- 5 Materia prima seleccionada.....	62
Fig. 2- 6 Cortado de la cascara de banano verde.....	62
Fig. 2- 7 Medición de ancho y largo de la materia prima cortada	63
Fig. 2- 8 Cáscara de banano verde cortado en la secadora al vacío	63
Fig. 2- 9 Cáscara de banano verde cortado en la secadora de bandejas.....	64
Fig. 2- 10 Cáscara de banano seca	64
Fig. 2- 11 Cáscara de plátano de 0,25 mm y 0,5 mm.....	65
Fig. 2- 12 Cáscara de plátano tamizado en las diferentes mallas.....	65
Fig. 2- 13 Solución del 70% preparada con partículas de 0,063 mm	66
Fig. 2- 14 Solución del 90% preparado con partículas de 0,063 mm	67

Fig. 2- 15 Solución preparada con 50% de etanol y partículas de 0,25 mm y 0,50 mm	68
Fig. 2- 16 Solución preparada con 70% de etanol, y partículas de 0,25 mm y 0,50 mm	69
Fig. 2- 17 Solución preparada al 90% de etanol con partículas de 0,25 mm y 0,50 mm	69
Fig. 2- 18 Extracción de taninos con el solvente durante la agitación, el extracto tánico	70
Fig. 2- 19 Filtración del extracto tánico	70
Fig. 2- 20 El extracto tánico en el rota-vapor.....	71
Fig. 2- 21.Centrifugación del extracto tánico.....	71
Fig. 2- 22 Almacenamiento del extracto tánico	72
Fig. 2- 23 Preparación de taninos.....	72
Fig. 2- 24 Preparación de reactivos para pruebas cualitativas	74
Fig. 2- 25 Extracto tánico preparado con los reactivos para pruebas cualitativas	74
Fig. 2- 26 Formación de precipitado con Gelatina enológica-Cloruro de sodio	75
Fig. 2- 27 Prueba de coloración con Ácido Clorhídrico	75
Fig. 2- 28 Prueba de coloración del Cloruro férrico	76
Fig. 2- 29 Formación de precipitado con acetato de plomo-ácido acético.....	76
Fig. 2- 30 Prueba de formación de color de acetato de plomo-Ácido Acético	77
Fig. 2- 31 Llenado de encuestas para pruebas cualitativas de extracto tánico	77
Fig. 2- 32 Resumen del balance de materia	78
 Fig. 3- 1 Curva de secado de la cáscara de Plátano	97
Fig. 3- 2 Curva de tamizado de la cáscara de plátano seca	98
Fig. 3- 3 Factores inter sujetos	99
Fig. 3- 4 Pruebas inter sujeto	100
Fig. 3- 5 Resumen el modelo	101
Fig. 3- 6 Pruebas Inter-Sujeto ajustado	102

Fig. 3- 7 Resultados del Análisis Anova.....	102
Fig. 3- 8 Coeficientes del Modelo Matemático.....	103
Fig. 3- 9 Modelo Lineal	104
Fig. 3- 10 Comparación gráfica del %Rendimiento de extracción y el % Rendimiento de extracción calculado	105
Fig. 3- 11 Prueba de formación de precipitado	109
Fig. 3- 12 Prueba de coloración para el Ácido clorhídrico	110
Fig. 3- 13 Prueba de coloración del Cloruro férrico	111
Fig. 3- 14 Prueba de Acetato de plomo Ácido acético (Sin Filtrar).....	112

GLOSARIO, NOMENCLATURA, ABREVIATURAS Y**SIMBOLOGÍA UTILIZADA**

Aldehídos	Compuesto orgánico ternario que se forma como primer producto de la oxidación de ciertos alcoholes y que se utiliza en la industria y en laboratorios químicos por sus propiedades reductoras.
ANOVA	Es una técnica que permite comparar las varianzas entre las medias de diferentes muestras.
Cosmética	Dicho de un producto: Que se utiliza para la higiene o belleza del cuerpo, especialmente del rostro.
Distancia Mahal	Es una medida estadística que se utiliza para cuantificar la distancia entre un punto y una distribución.
Distancia de Cook	La distancia de Cook es una medida utilizada en estadística para identificar puntos de datos influyentes en un análisis de regresión.
Enología	Conjunto de conocimientos relativos a la elaboración de los vinos.
Escherichia coli	Es un tipo de bacteria muy común que pertenece al grupo de las Gramnegativas.
Fenólicos	Son una familia de compuestos orgánicos (alcoholes) que se caracterizan por tener un anillo aromático.
Folin-Ciocalteu	Es un método utilizado para medir el contenido de fenoles en muestras.
FOS	Fruto Oligosacáridos, son un tipo de fibra formada por cadenas de moléculas de fructosa.

TANÍN	Nombre de Tanino derivado del francés.
Hidrolizable	Capacidad de un compuesto para someterse a hidrólisis, una reacción química con el agua.
Hidroalcohólicas	La definición de "hidroalcohólico" se refiere a una sustancia que está compuesta principalmente de alcohol.
No. Stiasny	Método gravimétrico que consiste en la relación entre el precipitado formado con respecto a los sólidos totales y corresponde al porcentaje de taninos condensados en el extracto.
Orto – Alresa	Es una empresa que se especializa en la fabricación de centrífugas.
Polietileno	Es un polímero termoplástico derivado del petróleo, ampliamente utilizado por su flexibilidad, resistencia química y bajo coste.
Residual	El término residual en química se refiere a lo que queda o subsiste después de un proceso, acción o evento.
Soxhlet	El extractor Soxhlet es un dispositivo de laboratorio diseñado para la extracción de compuestos solubles de muestras sólidas mediante un proceso continuo de extracción con disolventes.

ABREVIATURAS

ANOVA	Análisis de varianza.
ASTM	American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales)
CEANID	Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.
DAPRO	Dirección de Análisis Productivo.
LOU	Laboratorio de Operaciones Unitarias.
MDRyT	Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras.
UAJMS	Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.
UMSA	La Universidad Mayor de San Andrés, de La Paz en Bolivia.
SENASAG	El Servicio Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad Alimentaria.
SPSS	Sistema Estadístico Informático.

UNIDADES

ΔT	Variación de temperatura
Bs.	Bolivianos
cm	Centímetro
Cp	Capacidad calorífica
$^{\circ}\text{C}$	Grado centígrado
g	Gramo
h	Hora
ha	Hectárea
Hz	Hertz
HP	Caballo de fuerza
J	Julio
K	Grados kelvin
kg	Kilogramo
kJ	Kilojulio
kW	Kilovatio
kWh	Kilovatio hora
l	Litro
m	Metro
mm	Milímetro

min	Minutos
ml	Mililitro
rpm	Revoluciones por minuto
s	Segundos
t	Tiempo
T	Temperatura
V	Voltio
W	Vatio