

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICOS A PARTIR DE LA
CÁSCARA DE PLATANO VARIEDAD CAVENDISH EN
ESTADO VERDE-MADURO**

Por:

MIGUEL ANGEL ALFARO LÓPEZ

**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.**

Diciembre de 2020

TARIJA-BOLIVIA

*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, a mi familia y amigos

*Por acompañarme en este maravilloso
viaje.*

AGRADECIMIENTOS

A Dios que tiene los tiempos perfectos, a mis padres, en especial a mi madre Patricia López por el apoyo incondicional que me brindaron durante todos estos años de estudio, por los valores que me han inculcado y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida, y sobre todo, por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.

A mi tribunal calificador: Ing. Juan Carlos Kéri, Ing. Erick Ramírez. e Ing. María Luz Cáceres., por su paciencia y predisposición en la revisión de este Proyecto de Grado.

A todos mis docentes y compañeros de la Carrera de Ingeniería Química de la U.A.J.M.S., por compartir sus conocimientos conmigo y ayudarme en mi desarrollo profesional.

Al Ing. Ernesto Caihuara por el arduo trabajo que viene realizando por la Carrera de Ingeniería Química, y por las gestiones realizadas.

Al equipo del Laboratorio de Física de la U.A.J.M.S por facilitar material y equipos para realizar este trabajo.

La vida es un viaje, no un destino

ABREVIATURAS

A	Área
°C	Grados centígrados
cP	Centipoise
cm	Centímetro
mm	Milímetro
e	Espesor
g	Gramos
H	Entalpia
H ₁	Entalpia de entrada
H ₂	Entalpia de salida
Ha	Hectárea
Kg	Kilogramo
mg	Miligramo
Tn	Tonelada Métrica
l	Litro
ml	Mililitro
h	Hora
min	Minuto
W	Vatio
K	Grados Kelvin
Kcal	Kilocalorias
Kj	Kilo Julios

Kw	Kilovatio
Kwh	Kilovatio Hora
mmHg	Milímetros de mercurio
Q	Calor
t	Tiempo
t_1	Tiempo inicial
t_2	Tiempo final
T	Temperatura
Tbs	Temperatura de bulbo seco
Tbh	Temperatura de bulbo húmedo
V_e	Volumen específico
X	Humedad
Y	Contenido de humedad
% p/p	Porcentaje Peso a Peso

ÍNDICE

	Página
Advertencia	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii

Pensamiento	iv
Resumen	v

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes	1
1.2 Definición bioplásticos	2
1.3 Tipos de bioplásticos.....	4
1.4 Identificación del problema a resolver.....	5
1.5 Producción mundial de bioplástico	6
1.6 Justificación.....	7
1.7Objetivos	9
1.7.1 Objetivo general	9
1.7.2 Objetivos específicos	9

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1 Historia del plátano	11
2.2 Taxonomía de la planta de plátano.....	11
2.3 Morfología de la planta de plátano.....	12
2.3.1 La planta de plátano	12
2.3.2 Las hojas de la planta de plátano.....	12
2.3.3 Las raíces de la planta de plátano.....	13
2.3.4 Las flores de la planta de plátano.....	13
2.3.5 El fruto de la planta de plátano	14
2.4 Producción de mundial de plátano	15
2.4.1 Producción de plátano en Bolivia	17
2.4.2 Exportaciones.....	20
2.5 Cáscara de plátano.....	21
2.5.1 La cáscara de plátano (<i>musa paradisiaca</i>) como fuente de almidón.....	22

2.5.2 Composición química de la cáscara de plátano.....	22
2.6 Almidón	23
2.6.1 Características del almidón	24
2.6.2 Estructura y composición química general del almidón	24
2.6.2.1 Amilosa	25
2.6.2.2 Amilopectina.....	25
2.6.3 Datos fisicoquímicos de almidón.....	26
2.7 Clasificación de los polímeros	27
2.7.1 Según su forma.....	27
2.7.2 Según su origen	28
2.7.3 Según sus propiedades físicas	28
2.8 Formación de polímeros.....	29
2.8.1 Reacciones de polimerización.....	30
2.8.2.1 Reacciones de condensación	30
2.8.2.2 Reacciones de adición.....	31
2.9 Definición de bioplástico a partir de almidón.....	32
2.9.1 Polímeros derivados del almidón.....	33
2.9.1.1 Almidón termoplastificados	33
2.9.1.2 Propiedades mecánicas, del bioplásticos a partir de almidón	34
2.9.1.3 Definición de las propiedades mecánicas	35
2.9.1.4 Propiedades de biodegradabilidad.....	35
2.10 Ventajas y desventajas de los bioplásticos.....	37
2.10.1 Ventajas de los bioplásticos	37
2.10.2 Desventajas de los bioplásticos.....	37

2.11 Obtención de bioplástico a partir de almidón	38
2.11.1 Método por extrusión	38
2.11.2 Método termo mecánico.....	39
2.11.3 Método brasileño.....	39
2.11.4 Diagrama del proceso industrial de obtención de bioplástico de almidón.....	40
2.12 Etapas para la producción de bioplástico de almidón	41
2.12.1 Gelatinización	41
2.12.2 Etapas de gelatinización del almidón.....	43
2.12.3 Factores para obtener una gelificación de alta calidad.....	43
2.13 Plastificantes para elaboración de bioplástico a partir de almidón	45
2.13.1 Agua destilada.....	45
2.13.2 Glicerol o glicerina.....	45
2.13.3 Ácido acético.....	46
2.13.4 Composición de insumos para la elaboración de bioplástico de almidón.....	48

CAPÍTULO III

PARTE EXPERIMENTAL

3.1 Introducción	49
3.2 Materiales, equipos y reactivos utilizados en el proceso de la investigación	49
3.2.1 Materiales utilizados	49
3.2.2 Equipos utilizados	49
3.2.3 Reactivos químicos	50
3.3 Materia prima	50
3.4 Diseño factorial	50
3.4.1 Aplicación del diseño factorial 2^k para la obtención de bioplástico.....	51
3.5 Descripción del proceso experimental	53
3.5.1 Clasificación.....	55
3.5.2 Lavado.....	55
3.5.3 Pelado y cortado.....	56
3.5.4 Corte del interior de la cascara de plátano (floema)	57

3.5.5 Inmersión en solución antipardeamiento	57
3.5.6 Secado	58
3.5.7 Molienda	59
3.5.8 Tamizado.....	59
3.5.9 Polimerización.....	60

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis de la materia prima.....	63
4.1.1 Propiedades físicas de la materia prima.....	63
4.2 Ensayos preliminares para la obtención de bioplástico decáscara de plátano	68
4.2.1 Modulo tensil	69
4.2.2 Tensión mecánica.....	71
4.3 Comparación de bioplástico obtenido de almidón de interior de cáscara de plátano (<i>musa paradisiaca</i>) vs bioplástico de almidón de yuca y maíz a escala laboratorio .	72
4.3.1 Comparación entre el bioplástico obtenido a partir de almidón de cáscara de plátano (<i>musa paradisiaca</i>) y bioplástico comercial	72
4.4 Resultados del diseño factorial.....	73
4.4.1 Influencia del volumen de glicerina, volumen de ácido acético y temperatura, en el rendimiento de la obtención de bioplástico.....	73
4.5 Balance de materia para el proceso de obtención de bioplástico a partir de cáscara de plátano (<i>musa paradisiaca</i>)	79
4.5.1 Balance de masa en el lavado de plátano	81
4.5.2 Balance de masa en el pelado del plátano	82
4.5.3 Balance de masa en el corte del interior de cáscara de plátano	83
4.5.4 Balance de masa en la solución antipardeamiento	85
4.5.4.1 Balance por componentes de la etapa IV	85
4.5.5 Balance de masa en el secado del interior de cáscara de plátano (floema).....	87
4.5.5.1 Balance por componentes etapa V	87
4.5.6 Balance en la Molienda.....	88

4.5.6.1 Balance por componente etapa VI	89
4.5.7 Reacción de polimerización	90
4.5.7.1 Balance por componentes etapa VII	91
4.5.8 Balance de masa en el secado del bioplástico	93
4.5.9 Balance general para la obtención de bioplástico	94
4.5.10 Cálculo del rendimiento de almidón de interior de cáscara de plátano.....	95
4.5.11 Cálculo del rendimiento final en la obtención de bioplástico	96
4.6 Balance de energía en la obtención de bioplástico.....	96
4.6.1 Balance de energía en el secado del interior de cáscara de plátano (floema) ..	97
4.6.2 Balance de energía en el secado del bioplástico de cáscara de plátano	99
4.7 Determinación del costo de producción de bioplástico a escala laboratorio	100
4.7.1 Costos de materias primas y reactivos	100
4.7.2 Costos de energía eléctrica.....	101

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES	102
5.2 RECOMENDACIONES	103
BIBLIOGRAFÍA	104
ANEXOS.....	111
ANEXO 2.....	120

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura N° 1-1 Estructura química del PLA.....	3
Figura N° 1-2 Estructura química del PEBD.....	4
Figura N° 1-3 Importaciones de plástico a Bolivia.....	6
Figura N° 1-4 Países importadores de plástico a Bolivia.....	7
Figura N° 1-5 Producción mundial de bioplástico.....	8
Figura N° 2-1 Partes de una planta de plátano.....	17
Figura N° 2-2: Flor del plátano.....	18
Figura N° 2-3 Frutos del plátano.....	19
Figura N° 2-4: Ubicación geográfica de zonas Productoras de plátano en Bolivia....	22
Figura N° 2-5: Comportamiento de la producción de plátano en Bolivia.....	24
Figura N° 2-6: Partes de una cáscara de plátano.....	26
Figura N° 2-7 Estructura de la química de la amilosa (A).....	29
Figura N° 2-8 Estructura de la química de la amilopectina (B).....	29
Figura N° 2-9 Tipos de polímeros según su forma.....	31
Figura N° 2-10 Pasos para la formación de un polímero.....	33
Figura N° 2-11 Polimerización por condensación de Nylon 66.....	35
Figura N° 2-12 Polimerización catiónica del propileno.....	36
Figura N° 2-13 Proceso de biodegradación.....	40
Figura N° 2-14 Proceso industrial para producir bioplástico de almidón.....	44
Figura N° 2-15 Gelatinización del almidón.....	46
Figura N° 2-16 Cinética de gelificación del almidón.....	48
Figura N° 2-17 Etapas en la producción de almidón termoplastificado.....	51
Figura N° 2-18 Mecanismo de reacción del almidón en la obtención de plástico termoplastificado (TPS).....	51
Figura N° 3-1 Diagrama de flujo proceso de obtención de bioplástico.....	58
Figura N° 4-1 Curva de secado para determinar humedad del endocarpio.....	70
Figura N° 4-2 Gráfico de Pareto para determinar módulo tensil del bioplástico.....	76
Figura N° 4-3 Gráfico de Pareto para determinar la elasticidad del bioplástico.....	78
Figura N° 4-4 Balance general de obtención de bioplástico.....	95

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla N° I-1: Bioplásticos procedentes de fuentes renovables.....	5
Tabla N° II-1: Taxonomía del Plátano.....	16
Tabla N° II-2: Mayores productores de plátano a nivel mundial	21
Tabla N° II-3: Producción nacional de plátano en toneladas.....	23
Tabla N° II-4: Exportación nacional de plátano (2016).....	25
Tabla N° II-5: Composición química de la cáscara de plátano 100gr	26
Tabla N° II-6 Características fisicoquímicas generales del almidón	30
Tabla N° II-7 Propiedades mecánicas de los bioplásticos	39
Tabla N° II-8 Equipos industriales para la fabricación de bioplástico de almidón	45
Tabla N° II-9 Insumos y aditivos para elaboración de bioplástico de almidón	52
Tabla N° III-1: Factores y dominio experimental.....	56
Tabla N° III-2: Matriz de experimentos	57
Tabla N° III-3: Componentes para la elaboración de bioplástico.....	64
Tabla N° IV-1: Análisis físico-químico de la cáscara de plátano.....	67
Tabla N° IV-2: Propiedades físicas del plátano en estado verde-maduro	68
Tabla N° IV-3: Pérdida de peso en el secado del endocarpio para determinar contenido de humedad	70
Tabla N° IV-4: Resultados para la prueba modulo tensil aplicada al bioplástico	72
Tabla N° IV-5: Resultados para la prueba resistencia al bioplástico.....	73
Tabla N° IV-6: Nomenclatura utilizada en el análisis estadístico	74
Tabla N° IV-7: Interacción de variables utilizadas en el análisis estadístico	74
Tabla N° IV-8: Análisis de la varianza para determinar el modulo tensil del bioplástico para un nivel de significancia del 5%.....	75
Tabla N° IV-9: Análisis de la varianza para determinar la tensión (resistencia) del bioplástico para un nivel de significancia del 5%	77
Tabla N° IV-10 Tabla comparativa de las propiedades mecánicas de los bioplásticos de almidón.....	80

Tabla N° IV-11 Tabla comparativa de las propiedades mecánicas del bioplástico obtenido en laboratorio y uno industrial.....	81
Tabla N° IV-12 Propiedades psicométricas del aire.....	97
Tabla N° IV-13 Costos de materias primas, insumos y reactivos	101
Tabla N° IV-14 Costos de energía eléctrica	102

ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

	Página
Fotografía N° 3-1 Plátanos variedad cavendish.....	55
Fotografía N° 3-2 Cáscaras recicladas	55
Fotografía N° 3-3 Plátano clasificado.....	59
Fotografía N° 3-4 Lavado del plátano	60
Fotografía N° 3-5 Cortado y pelado del plátano.....	60
Fotografía N° 3-6 Corte del floema de la cáscara de plátano	61
Fotografía N° 3-7 Inmersión en solución ácida	62
Fotografía N° 3-8 Secado del floema de cáscara de plátano	62
Fotografía N° 3-9 Almidón de floema de cáscara de plátano.....	64
Fotografía N° 3-10 Tamizado de floema de cáscara de plátano	65
Fotografía N° 3-11 Elaboración de Bioplástico.....	66
Fotografía N° 3-12 Producto final bioplástico de floema de cáscara de plátano.....	66

ÍNDICE TABLA ANEXOS

Tabla A-1 Materiales utilizados	112
Tabla D-1 Reactivos utilizados	118

ÍNDICE FOTOGRAFÍAS ANEXOS

Fotografía N° C-1 Estufa de convección forzada	113
Fotografía N° C-2 Balanza analítica	114
Fotografía N° C-3 Termostato de inmersión	115
Fotografía N° C-4 Balanza de humedad infrarroja	116
Fotografía N° C-5 Tamizador(rotap)	117
Fotografía N° E-1 Carta Psicometrica	119