

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE CÁSCARA DE  
NARANJA VARIEDAD VALENCIA TARDIA**

**Por:**

**TORREZ FERRUFINO ROBERTO MATIAS**

**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.**

**OCTUBRE DE 2023**

**TARIJA – BOLIVIA**

**Dedicatoria**

El presente proyecto, va dedicado a mis padres

A mi padre Roberto Torrez Claire que desde  
el cielo siempre estuvo bendiciéndome y  
guiándome, a mi madre Luisa Ferrufino Hinojosa  
fue el motivo y el apoyo para poder culminar mis  
que estudios.

A mis hermanos Harold y Giovanni, por su apoyo  
incondicional durante toda esta etapa de mi vida.

A mi tía Wilma Ferrufino por aconsejarme y  
apoyarme en esta etapa.

A mi pareja Yosselin por estar apoyándome y  
brindándome su amor.

### **Agradecimientos**

A Dios sobre todas las cosas, los tiempos de Dios son perfectos.

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

A mis tribunales por toda la paciencia y las enseñanzas que me transmitieron.

## INTRODUCCIÓN

Antecedentes.....	1
Producción de bioplástico en el Mundo.....	2
Producción del bioplástico en Latinoamérica.....	3
Producción de Bioplástico en Bolivia.....	5
Objetivos.....	6
Objetivo general.....	6
Objetivos específicos .....	6
Justificación .....	6
Justificación tecnológica.....	6
Justificación económica .....	6
Justificación ambiental.....	7
Justificación social .....	7

## CAPÍTULO I

### MARCO TEÓRICO

1.1 Historia de la naranja .....	9
	1.2. La Naranja
1.1 Historia de la naranja .....	9
1.2 La Naranja .....	9
1.3 Producción .....	11
1.4 La naranja en Bolivia.....	13
1.5 Variedades de naranjas .....	15
1.5.1 Valencia tardía .....	15
1.5.2 Criolla injertada .....	15
1.5.3 Criolla .....	15
1.6 Cáscara de naranja .....	17
1.7 Los bioplásticos .....	18
1.8 Cómo se producen los bioplásticos.....	18
1.9 Por qué se investigan los bioplásticos.....	19
1.10 Tipos de Bioplásticos.....	19

1.10.1 Bioplásticos procedentes total o parcialmente de fuentes renovables.....	20
1.10.2 Bioplásticos sintetizados por vía biotecnológica .....	20
1.10.3 Polímeros biodegradables sintéticos (no procedentes de fuentes renovables) .....	20
1.11 Ventajas y desventajas del plástico convencional frente al bioplástico.....	21
1.12 Métodos para la obtención de plásticos .....	22
1.12.1 Extrusión.....	22
1.12.2 Método brasileño .....	22
1.13 Polímeros .....	23
1.14 Propiedades.....	24
1.14.1 Propiedades eléctricas .....	24
1.14.2 Propiedades físicas de los polímeros. ....	25
1.14.3 Las propiedades mecánicas.....	25
1.15 Clasificación .....	26
1.15.1 Polímeros naturales.....	26
1.15.2 Polímeros semisintéticos.....	26
1.15.3 Polímeros sintéticos. ....	26
1.15.4 Elastómeros.....	26
1.15.5 Plásticos .....	26
1.15.6 Termoplásticos.....	27
1.16 Pectina.....	27
1.17. Estructura Química de la Pectina.....	28
1.18 Geles de pectina de alto metoxilo .....	29
1.19 Geles de pectina de bajo metoxilo .....	30
1.20 Pectinas amidadas.....	31
1.21 Las pectinas como estabilizantes .....	31
1.22. Propiedades físicas de la pectina .....	32
1.22.1. Longitud de cadenas .....	32
1.22.2. Peso molecular .....	32
1.22.3. Peso equivalente.....	32
1.23 Propiedades Fisicoquímicas de las Pectinas .....	32
1.23.1 Solubilidad .....	32
1.23.2. Acidez .....	32
1.23.3. Rotación óptica .....	33

1.23.4. Viscosidad.....	33
1.24 Pectina en Bolivia.....	33
1.25 Métodos de Obtención de Pectina .....	33
1.25.1. Hidrólisis ácida .....	33
1.25.2 Hidrólisis Ácida asistida por microonda.....	34
1.26 Gelificantes .....	36
1.27 Almidón de Yuca Natural.....	36
1.28 Composición Química del Almidón .....	37
1.29 Gelatinización del Almidón de yuca.....	38
1.30 Glicerina .....	39
1.31 Estructura.....	40
1.32 Agua Destilada.....	40
1.33 Definición de Diseño de Experimentos .....	41
1.34 Experimentos con un solo factor: Análisis de varianza (ANOVA).....	41
1.35 Modelo Estadístico .....	42
1.36 Modelo 2 <sup>3</sup> .....	43
1.37 Estimación de los efectos.....	44
1.38 Dominio Experimental.....	44

## **CAPÍTULO II**

### **PARTE EXPERIMENTAL**

2.1 Descripción y análisis de materias primas .....	47
2.2. Descripción del método de investigación .....	47
2.3 Diseño Experimental .....	47
2.4 Selección de variables del proceso experimental.....	49
2.4.1 pH.....	49
2.4.2Tiempo de hidrólisis .....	50
2.4.3 Temperatura de hidrólisis.....	50
2.4.4 Cantidad de Pectina de naranja .....	50
2.4.5 Cantidad de almidón de Yuca .....	50
2.4.6 Volumen de Glicerina .....	50

2.5 Determinación de propiedades Fisicoquímicas de la pectina de naranja.....	50
2.5.1 Determinación del peso Equivalente y Acidez libre .....	50
2.5.2 Determinación de porcentaje de metoxilo, grado de esterificación y ácido anhídrido galacturónico.....	51
2.6 Determinación de las Propiedades Mecánicas y Fisicoquímicas del Bioplástico obtenido .....	51
2.6.1 Determinación de la Tensión y Modulo Tensil del bioplástico obtenido. ....	51
2.6.2 Determinación de la solubilidad del bioplástico obtenido. ....	51
2.6.3 Resultado de la biodegradación del bioplástico obtenido. ....	52
2.7 Equipos, materiales y reactivos necesarios.....	52
2.7.1 Equipos .....	52
2.7.2 Materiales de laboratorio .....	52
2.7.3 Reactivos empleados.....	53
2.8 Descripción del proceso seleccionado .....	55
2.9 Procedimiento para la obtención de la pectina .....	58
2.9.1 Recepción de la materia prima (cáscara de naranja).....	58
2.9.2. Selección de la materia prima .....	58
2.9.3. Separación y lavado .....	59
2.9.4. Pesaje .....	59
2.9.5. Inactivación Enzimática.....	60
2.9.6 Hidrólisis ácida .....	61
2.9.7. Filtrado.....	62
2.9.8. Precipitación .....	62
2.9.9 Segunda filtración .....	63
2.9.10. Secado.....	64
2.9.11 Molienda de la pectina .....	65
2.9.12 Tamizado.....	65
2.10. Procedimiento para la obtención del Bioplástico.....	66
2.10.1. Preparación de la mezcla para el bioplástico .....	66
2.10.2. Homogenización de la Mezcla.....	66
2.10.3. Secado de la mezcla. ....	67

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados de la caracterización de la cáscara de naranja variedad valencia tardía ...	70
3.2 Resultados de rendimiento del proceso .....	70
3.3 Resultados de la caracterización Físicoquímica de la pectina extraída .....	71
3.4 Resultado de acidez libre y peso equivalente .....	71
3.5 Resultados del porcentaje de metoxilo, grado de esterificación y ácido .....	72
anhídrido galacturónico .....	72
3.6 Resultados del secado de la pectina .....	74
3.7 Determinación de las propiedades fisicoquímicas del Bioplástico .....	75
3.7.1 Tensión mecánica.....	75
3.7.2 Módulo tensil .....	76
3.8 Resumen de propiedades fisicoquímicas del bioplástico obtenido.....	77
3.9 Resultado de la solubilidad de los Bioplásticos.....	77
3.10 Resultado de la biodegradación del Bioplástico .....	78
3.11 Curva de Secado del Bioplástico .....	84
3.12 Comparación entre el bioplástico obtenido a partir de pectina de cáscara de Naranja (Valencia Tardía) y un plástico de bolsa convencional. ....	85
3.13 Resultados del análisis estadístico .....	86
3.14 Análisis de varianza para el bioplástico.....	92
3.15 Balance de materia para la obtención del bioplástico .....	97
3.15.1 Recepción de la materia prima (cáscara de naranja).....	97
3.15.2 Etapa de separación.....	97
3.15.3 Etapa de Inactivación Enzimática .....	98
3.15.4 Etapa de Hidrolisis Acida .....	99
3.15.5 Etapa de Primera Filtración.....	100
3.15.6 Etapa de Precipitación.....	100
3.15.7 Etapa de Segunda Filtración .....	101
3.15.8 Etapa de Secado .....	102
3.15.9 Etapa de Molienda .....	103
3.15.10 Etapa de Tamizado.....	103
3.15.11 Etapa de Preparación de mezcla para el bioplástico .....	104
3.15.12 Etapa de calentamiento y homogenización de la mezcla .....	105



3.15.13 Etapa de Secado .....	106
3.16 Balance de energía para la obtención del bioplástico .....	108
3.16.1 Etapa de inactivación enzimática .....	108
3.16.2 Etapa de hidrólisis ácida .....	108
3.16.3 Etapa de primera filtración.....	109
3.16.4 Etapa de secado.....	109
3.16.5 Etapa de calentamiento y homogenización de mezcla para el bioplástico.....	109
3.17 Costos de Materias Primas y Reactivos .....	111
3.18 Costo de Energía Eléctrica.....	111
3.19. Costos de análisis Fisicoquímicos .....	112

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

4.1. Conclusiones.....	114
4.2. Recomendaciones .....	116

### **BIBLIOGRAFÍA**

Bibliografía .....	118
--------------------	-----

### **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1 Capacidad instalada del a industria del bioplástico .....	3
Figura N°I-1Producción de naranja en el mundo .....	12
Figura N° I-2 Mayores Productores de Naranjas en el Mundo.....	13
Figura N°I-3 Producción según macro regiones en Bolivia .....	14
Figura N° I-4. Descripción partes del fruto de naranja.....	16
Figura N°I-5. Clasificación de bioplásticos.....	21
Figura N°I-6 Molécula del poliestireno .....	23
Figura N°I-7 Polipropileno (PP).....	27
Figura N°I-8 Poliestireno (PS).....	27
Figura N°I-9. Estructura de las pectinas .....	28
Figura N°I-10. Pectinas fuertes metiladas .....	29
Figura N°I-11 Pectinas débilmente metiladas .....	29

Figura N°I-12 Almidón de Yuca .....	36
Figura N°I-13 Estructura de molécula de amilosa.....	37
Figura N°I-14 Estructura de la Glicerina.....	40
Figura N°I-15 Estructura del agua destilada.....	41
FiguraN°II-1 Proceso de Obtención del Bioplástico .....	55
Figura N°II-2 Diagrama de flujo del proceso de obtención del bioplástico .....	56
Figura N° III-1 Curva de secado de la pectina obtenida.....	75
Figura N° III-2 Promedio del porcentaje de Biodegradabilidad Para la Muestra BPLAST1. .....	80
Figura N°III-3 Promedio del porcentaje de Biodegradabilidad Para la Muestra BPLAST2.80	
Figura N° III-4 Promedio del porcentaje de Biodegradabilidad Para la Muestra BPLAST-3. .....	81
Figura N° III-5 Promedio del porcentaje de Biodegradabilidad Para la Muestra BPLAST-4. .....	81
Figura III-6 Promedio del porcentaje de Biodegradabilidad Para la Muestra BPLAST-5.82	
Figura III-7 Promedio del porcentaje de Biodegradabilidad Para la Muestra BPLAST-6.82	
Figura III-8 Promedio del porcentaje de Biodegradabilidad Para la Muestra BPLAST-7.83	
Figura III-9 Promedio del porcentaje de Biodegradabilidad Para la Muestra BPLAST-8.83	
Figura III-10 Curva de secado del bioplástico obtenido.....	85
Figura N°III-11 Diagrama de Pareto .....	88
Figura N°III-12 Gráficas factoriales para el rendimiento .....	89
Figura N°III-13 Gráfica de probabilidad normal.....	90
FiguraN°III-14 Diferencia entre el Rendimiento obtenido y el rendimiento..... del modelo matemático.....	91
FiguraN°III-15 Error Diferencia entre el rendimiento obtenido y rendimiento del modelo matemático.....	91
Figura N°III-16 Diagrama de Pareto .....	93
Figura N°III-17 Gráfica de efectos principales para la tensión .....	94
Figura N°III-18 Grafica de probabilidad normal.....	95
Figura N°III-19 Diferencia entre la tensión obtenida y la tensión del modelo matemático96	
Figura N°III-20 Error Diferencia entre la tensión obtenida y la tensión del modelo matemático.....	96
Figura N°III-21 Resumen del balance de materia de la extracción de pectina .....	107

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°I-1 Valor nutricional de la naranja .....	10
Tabla N°-2 Las variedades que existen en mayor cantidad por zonas.....	14
Tabla N°I-3 Producción por año de naranja en Bolivia (En toneladas métricas) .....	14
Tabla N°I-4. Producción por año de naranja en Tarija (En toneladas métricas.....	15
Tabla N°I-5. Características de las variedades de naranja.....	16
Tabla N°I-6. Composición Química de la cáscara de naranja .....	17
Tabla N°I-7. Ventajas y desventajas de métodos de obtención de pectina.....	35
Tabla N° I-8 Ventajas del Almidón de Yuca frente a otros tipos de almidones .....	37
Tabla N°I-9 Propiedades físicas de la glicerina.....	40
Tabla N°I-10 Matriz del Modelo 2 <sup>3</sup> .....	43
Tabla N°I-11 Dominio experimental Para la pectina.....	45
Tabla N°I-12 Dominio Experimental para el bioplástico .....	45
Tabla N°II-1 Variables independientes para la obtención de la pectina.....	48
Tabla N°II.-2 Variables dependientes para la obtención de la pectina .....	48
Tabla N°II-3 Variables independientes para la obtención del bioplástico.....	49
Tabla N°II-4 Variables dependientes para la obtención del bioplástico.....	49
Tabla N°II-5 Materiales utilizados para la elaboración del Bioplástico .....	53
Tabla N° II-6 Simbologías utilizada en el diagrama de flujo del proceso de obtención del bioplástico.....	57
Tabla N° III-1 Caracterización del albedo de cáscara de naranja .....	70
Tabla N°III-3 Caracterización de la pectina obtenida.....	71
Tabla N°III-4 Caracterización de la pectina obtenida.....	71
Tabla N°III-5 Caracterización de la pectina obtenida.....	72
Tabla N°III-6 Comparación entre la pectina extraída a partir de la cáscara de Naranja y la pectina comercial .....	73
Tabla N°III-7 Datos del secado de la pectina .....	74
Tabla N°III-8 Resultados para la prueba de tensión aplicada al bioplástico .....	75
Tabla N° III-9 Resultados para el módulo tensil del bioplástico .....	76
Tabla N° III-10 Propiedades del Bioplástico obtenido en base a los rangos .....	77
establecidos.....	77
Tabla N° III-11Propiedades Solubilidades de los bioplásticos obtenidos .....	78
Tabla N° III-12 Porcentajes de degradación de los bioplásticos obtenidos.....	79

Tabla N° III-13 Porcentajes de degradación por día.....	79
Tabla N° III-14 Datos del secado del bioplástico obtenido .....	84
Tabla N°III-15 Comparación de las propiedades mecánicas del bioplástico obtenido en laboratorio frente a un plástico de bolsa convencional.....	85
Tabla N°III-16 Análisis de la varianza para determinar el rendimiento de la pectina obtenida .....	86
Tabla N°III-17 Resumen del modelo variable respuesta rendimiento.....	87
Tabla N°III-18 Estructura de alias .....	87
Tabla N°III-19 Resumen del modelo variable respuesta tensión.....	93
Tabla N°III-20 Valores del consumo energético del balance de energía.....	110
Tabla N°III-21 Valores de los costos para la obtención del bioplástico.....	111
TablaN°III-22 Valores de los costos de energía para la obtención del bioplástico .....	111
TablaN°III-23 Valores de los costos de análisis Físicoquímicos para la obtención del bioplástico.....	112

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 3-1 Cáscara de Naranja .....	58
Fotografía 3-2 Separación de la cáscara de naranja .....	59
Fuente: Elaboración Propia.....	59
Fotografía 3-3 Pesado de albedo de naranja .....	60
Fotografía 3-4 Inactivación Enzimática del albedo .....	61
Fotografía 3-5 inicio de H. Acida	Fotografía 3-6 Final de H. Acida.. 61
Fotografía 3-7 Primera Filtración .....	62
Fotografía 3-8 Mezcla precipitada.....	62
Fotografía 3-9 Segunda filtración del gel de pectina.....	63
Fotografía 3-10 Secado de la Pectina .....	64
Fotografía 3-11 Pectina Secada.....	64
Fotografía 3-12 Pectina Molida.....	65
Fotografía 3-13 Pectina Tamizada.....	65
Fotografía 3-14 Preparación de la mezcla para el bioplástico .....	66
Fotografía 3-14 Homogenización de la mezcla .....	66
Fotografía 3-15 Agregado de la glicerina a la mezcla .....	67
Fotografía 3-17 Bioplástico final .....	68

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO.....	122
ANEXO 2 .....	125
CÁLCULO DE PROPIEDADES .....	125
MECÁNICAS Y FOTOGRAFÍAS .....	125
ANEXO 3 .....	139
PRUEBAS DE TENSIÓN Y MÓDULO DE TENSIÓN AL BIOPLÁSTICO OBTENIDO	139
ANEXO 4 .....	143
BIODEGRADACIÓN DEL BIOPLÁSTICO .....	143
ANEXO 5 .....	150
RESULTADOS DE ANÁLISIS DEL ALBEDO Y PECTINA DE CÁSCARA DE NARANJA.....	150
ANEXO 6 .....	153
ENCUESTA DE SATISFACCIÓN DEL BIOPLÁSTICO OBTENIDO DENTRO DE LA SOCIEDAD .....	153
ANEXO 7 .....	156
RESULTADOS DE LA ENCUESTA DE.....	156
SATISFACCIÓN DEL BIOPLÁSTICO OBTENIDO.....	156