

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**OBTENCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE CÁSCARA DE  
PLÁTANO (*Musa paradisiaca*) CULTIVADO EN EL TRÓPICO  
BOLIVIANO**

**Por:**

**PABLO JONATAN MUÑOZ ESTRADA**

**Proyecto de Grado (Modalidad: 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 2016**

**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 y a mi familia*

*Por acompañarme en este  
maravilloso viaje.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A mis padres, 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 mis hermanos, por ser pilares fundamentales en mi vida y representar la unión familiar.*

*A mi tribunal calificador: Ing. Gustavo Moreno L., Ing. Fabricio Campero V. e Ing. Franco Sánchez B., 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. Freddy López y a todo el personal del Laboratorio de Química de la U.A.J.M.S., por proveerme materiales, reactivos y equipos de laboratorio para poder realizar este Proyecto de Grado.*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

### CAPÍTULO I

#### INTRODUCCIÓN

<b>1.1 ANTECEDENTES .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 OBJETIVOS .....</b>	<b>4</b>
1.3.1 Objetivo General .....	4
1.3.2 Objetivos Específicos .....	4

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO

<b>2.1 HISTORIA DEL PLÁTANO .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 TAXONOMÍA DEL PLÁTANO .....</b>	<b>5</b>
<b>2.3 MORFOLOGÍA DEL PLÁTANO .....</b>	<b>6</b>
2.3.1 La planta de plátano .....	6
2.3.2 El rizoma del plátano.....	7
2.3.3 Las hojas del plátano .....	8
2.3.4 Las raíces del plátano .....	8
2.3.5 Las flores del plátano .....	8
2.3.6 El fruto de plátano .....	9
<b>2.4 PRODUCCIÓN DE PLÁTANO .....</b>	<b>10</b>
2.4.1 Producción mundial.....	11
2.4.2 Producción de plátano en Bolivia.....	12
2.4.2.1 Consumo y usos del plátano .....	14
2.4.2.2 Exportaciones.....	15
<b>2.5 CÁSCARA DE PLÁTANO .....</b>	<b>15</b>
<b>2.6 PECTINAS .....</b>	<b>16</b>
2.6.1 Estructura química de las pectinas .....	17
<b>2.7 CLASIFICACIÓN DE LAS SUSTANCIAS PÉCTICAS .....</b>	<b>18</b>
2.7.1 Protopectina.....	19
2.7.2 Ácidos pectínicos .....	19
2.7.3 Pectina .....	19

2.7.4 Ácidos pécticos.....	20
<b>2.8 CLASIFICACIÓN DE LA PECTINA .....</b>	<b>20</b>
2.8.1 Pectina de alto metoxilo (HM).....	20
2.8.2 Pectina de bajo metoxilo (LM).....	21
2.8.3 Pectina de bajo metoxilo amidadas (LMA).....	22
<b>2.9 MECANISMO DE GELIFICACIÓN DE LA PECTINA .....</b>	<b>22</b>
<b>2.10 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LAS PECTINAS.....</b>	<b>23</b>
2.10.1 Solubilidad.....	23
2.10.2 Grado de gelificación .....	23
2.10.3 Acidez.....	23
2.10.4 Viscosidad .....	24
2.10.5 Peso molecular .....	24
2.10.6 Grado de esterificación.....	24
2.10.7 Acción de las bases.....	25
2.10.8 Acción de los ácidos.....	25
2.10.9 Acción de las enzimas .....	25
<b>2.11 PROCESO DE EXTRACCIÓN DE LAS PECTINAS .....</b>	<b>25</b>
<b>2.12 APLICACIONES INDUSTRIALES DE LAS PECTINAS .....</b>	<b>27</b>
<b>2.13 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LOS MÉTODOS DE CARACTERIZACIÓN FISICO-QUÍMICA DE LA PECTINA.....</b>	<b>28</b>
2.13.1 Peso equivalente .....	28
2.13.2 Acidez libre .....	28
2.13.3 Porcentaje de metoxilo .....	29
2.13.4 Grado de esterificación.....	30
2.13.5 Porcentaje de ácido galacturónico anhidro.....	30
2.13.6 Grado de Gelificación.....	31

### **CAPÍTULO III**

#### **PARTE EXPERIMENTAL**

<b>3.1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>32</b>
<b>3.2 EQUIPOS Y APARATOS.....</b>	<b>32</b>
3.2.1 Balanza analítica.....	32

3.2.2 Calentador eléctrico.....	33
3.2.3 Licuadora.....	33
3.2.4 Calentador – agitador magnético.....	34
3.2.5 pH-metro digital de mesa .....	35
3.2.6 Bomba de vacío .....	36
3.2.7 Centrifugadora.....	36
3.2.8 Estufa.....	37
3.2.9 Tamizador.....	38
3.2.10 Viscosímetro rotacional.....	39
<b>3.3 MATERIALES DE LABORATORIO .....</b>	<b>40</b>
<b>3.4 REACTIVOS .....</b>	<b>40</b>
<b>3.5 DISEÑO FACTORIAL .....</b>	<b>41</b>
3.5.1 Construcción del diseño factorial $2^k$ .....	42
<b>3.6 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE CÁSCARA DE PLÁTANO (<i>Musa paradisiaca</i>) .....</b>	<b>43</b>
3.6.1 Materia prima .....	44
3.6.2 Selección de materia prima .....	44
3.6.3 Pesado.....	44
3.6.4 Lavado .....	45
3.6.5 Inactivación de las enzimas pécticas .....	46
3.6.6 Triturado de cáscara de plátano.....	46
3.6.7 Hidrólisis ácida.....	47
3.6.8 Filtración .....	48
3.6.9 Precipitación.....	49
3.6.10 Centrifugación .....	50
3.6.11 Secado .....	50
3.6.12 Molienda de la pectina.....	53
3.6.13 Tamizado .....	53
3.6.14 Envasado .....	54
<b>3.7 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LA PECTINA OBTENIDA A PARTIR DE CÁSCARA DE PLÁTANO (<i>Musa paradisiaca</i>) .....</b>	<b>55</b>
3.7.1 Determinación de peso equivalente y acidez libre .....	55

3.7.2 Determinación de porcentaje de metoxilo, grado de esterificación y porcentaje de ácido galacturónico anhidro .....	55
3.7.3 Grado de gelificación .....	56

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

<b>4.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA .....</b>	<b>57</b>
<b>4.2 ENSAYOS PRELIMINARES DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE CÁSCARA DE PLÁTANO (<i>Musa paradisiaca</i>) .....</b>	<b>57</b>
4.2.1 Rendimiento .....	57
4.2.2 Grado de Gelificación .....	59
<b>4.3 RESULTADOS DEL DISEÑO FACTORIAL .....</b>	<b>60</b>
4.3.1 Influencia del pH, tiempo de hidrólisis y temperatura en el rendimiento de la pectina .....	60
4.3.2 Influencia del pH, tiempo de hidrólisis y temperatura en el grado de gelificación de la pectina .....	64
<b>4.4 RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LA PECTINA OBTENIDA A PARTIR DE CÁSCARA DE PLÁTANO (<i>Musa paradisiaca</i>) .....</b>	<b>66</b>
4.4.1 Acidez libre y peso equivalente.....	67
4.4.2 Porcentaje de metoxilo, grado de esterificación y porcentaje de ácido galacturónico anhidro .....	68
4.4.3 Grado de gelificación .....	69
<b>4.5 COMPARACIÓN ENTRE LA PECTINA OBTENIDA A PARTIR DE CÁSCARA DE PLÁTANO (<i>Musa paradisiaca</i>) Y LA PECTINA COMERCIAL .....</b>	<b>71</b>
<b>4.6 BALANCE DE MATERIA PARA EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE CÁSCARA DE PLÁTANO (<i>Musa paradisiaca</i>) .....</b>	<b>73</b>
4.6.1 Resumen del balance de materia .....	82
4.6.2 Cálculo del rendimiento definitivo.....	83
<b>4.7 DETERMINACIÓN DEL COSTO DE PRODUCCIÓN DE PECTINA A ESCALA LABORATORIO .....</b>	<b>83</b>
4.7.1 Costos de materia prima y reactivos.....	83
4.7.2 Costos de energía eléctrica .....	84



**CAPÍTULO V****CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

<b>5.1 CONCLUSIONES</b> .....	85
<b>5.2 RECOMENDACIONES</b> .....	86
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	87

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° I-1: Importaciones nacionales de materias pécticas (2010 – 2014) .....	3
Tabla N° I-2: Valores de la importación nacional de materias pécticas (2014).....	3
Tabla N° II-1: Taxonomía del plátano .....	6
Tabla N° II-2: Mayores productores (2011).....	11
Tabla N° II-3: Producción nacional de plátano (2008 - 2013).....	12
Tabla N° II-4: Exportación nacional de plátano (2013).....	15
Tabla N° II-5: Contenido de pectina en algunos vegetales .....	17
Tabla N° III-1: Descripción del material utilizado.....	40
Tabla N° III-2: Factores y dominio experimental .....	42
Tabla N° III-3: Matriz de experimentos .....	42
Tabla N° III-4: Datos de pérdida de peso de la pectina en función del tiempo de secado.....	51
Tabla N° IV-1: Análisis físico-químico de la cáscara de plátano .....	57
Tabla N° IV-2: Resultados de rendimiento en las muestras de pectina .....	58
Tabla N° IV-3: Resultados de grado de gelificación de las muestras de pectina .....	59
Tabla N° IV-4: Nomenclatura utilizada en el análisis estadístico.....	60
Tabla N° IV-5: Análisis de la varianza para rendimiento de la pectina para un nivel de significancia del 5% .....	61
Tabla N° IV-6: Análisis de la varianza para grado de gelificación de la pectina para un nivel de significancia del 5% .....	64
Tabla N° IV-7: Análisis de acidez libre y peso equivalente.....	67
Tabla N° IV-8: Análisis de porcentaje de metoxilo, grado de esterificación y porcentaje de ácido galacturónico anhidro.....	68
Tabla N° IV-9: Resultados de grado de gelificación de la pectina de cáscara de plátano (Musa paradisiaca) .....	69
Tabla N° IV-10: Análisis fisicoquímico de la pectina de cáscara de plátano .....	71
Tabla N° IV-11: Tabla comparativa entre la pectina de cáscara de plátano y la pectina comercial.....	71
Tabla N° IV-12: Costos de materia prima y reactivos .....	83
Tabla N° IV-13: Costos de energía eléctrica.....	84

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 2-1: Planta de plátano .....	7
Figura N° 2-2: Esquema de una planta de plátano .....	8
Figura N° 2-3: Flor del plátano .....	9
Figura N° 2-4: Fruto del plátano .....	10
Figura N° 2-5: Ubicación geográfica de zonas Productoras de plátano en Bolivia ....	13
Figura N° 2-6: Bolivia, comportamiento de la producción de plátano.....	14
Figura N° 2-7: Formas de plátano procesado .....	15
Figura N° 2-8: Estructura de la pared celular de los tejidos vegetales .....	16
Figura N° 2-9: Estructura de las pectinas .....	17
Figura N° 2-10: Hipotética estructura de los dominios de una molécula de pectina ..	18
Figura N° 2-11: Pectinas con alto grado de metoxilo .....	20
Figura N° 2-12: Enlaces Cruzados en pectina de bajo metoxilo .....	21
Figura N° 2-13: Pectinas con bajo grado de metoxilo.....	21
Figura N° 2-14: Pectinas de bajo metoxilo amidadas .....	22
Figura N° 2-15: Proceso de extracción de pectina .....	26
Figura N° 2-16: Reacción química de la molécula de ácido D-galacturónico con NaOH .....	28
Figura N° 2-17: Mecanismo de saponificación del ácido D-galacturónico .....	30
Figura N° 3-1: Proceso de extracción de pectina a partir de cáscara de plátano.....	43
Figura N° 3-2: Curva de secado de la pectina (40° C) .....	52
Figura N° 4-1: Diagrama “rendimiento vs. pH” .....	59
Figura N° 4-2: Gráfico de Pareto para rendimiento de la pectina .....	62
Figura N° 4-3: Efectos principales vs promedio del rendimiento de pectina.....	63
Figura N° 4-4: Gráfico de Pareto para grado de gelificación de la pectina.....	65
Figura N° 4-5: Efectos principales vs promedio del grado de gelificación de pectina .....	66
Figura N° 4-6: Resumen del balance de materia .....	82

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía N° 3-1: Balanza analítica .....	32
Fotografía N° 3-2: Calentador eléctrico .....	33
Fotografía N° 3-3: Licuadora .....	34
Fotografía N° 3-4: Calentador – agitador magnético .....	35
Fotografía N° 3-5: pH-metro digital de mesa.....	35
Fotografía N° 3-6: Bomba de vacío.....	36
Fotografía N° 3-7: Centrifugadora .....	37
Fotografía N° 3-8: Estufa .....	37
Fotografía N° 3-9: Tamizador .....	38
Fotografía N° 3-10: Viscosímetro rotacional .....	39
Fotografía N° 3-11: Plátano maduro .....	44
Fotografía N° 3-12: Pesado de cáscara de plátano .....	45
Fotografía N° 3-13: Lavado de cáscara de plátano .....	45
Fotografía N° 3-14: Inactivación de enzimas pécticas de la cáscara de plátano .....	46
Fotografía N° 3-15: Triturado de cáscara de plátano .....	47
Fotografía N° 3-16: Hidrólisis ácida .....	48
Fotografía N° 3-17: Sistema de filtrado al vacío.....	48
Fotografía N° 3-18: Solución hidrolizada antes y después del filtrado.....	49
Fotografía N° 3-19: Precipitación de pectina con etanol.....	49
Fotografía N° 3-20: Separación de la pectina húmeda mediante centrifugación .....	50
Fotografía N° 3-21: Secado de la pectina.....	50
Fotografía N° 3-22: Molienda de la pectina .....	53
Fotografía N° 3-23: Tamizado de la pectina .....	53
Fotografía N° 3-24: Envasado de la pectina.....	54
Fotografía N° 3-25: Determinación del peso equivalente y acidez libre.....	55
Fotografía N° 3-26: Determinación de porcentaje de metoxilo, grado de esterificación y porcentaje de ácido galacturónico anhidro.....	56
Fotografía N° 4-1: Ensayos de gelificación.....	70
Fotografía N° 4-2: Medición de la viscosidad de los geles de pectina.....	70

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO 1.** Informe de Análisis Físicoquímico de la Cáscara de Plátano

**ANEXO 2.** Determinación de Cenizas y Humedad de la Pectina

**ABREVIATURAS**

m	Metro
cm	Centímetro
mm	Milímetro
μ	Micra
Ha	Hectárea
Kg	Kilogramo
g	Gramo
mg	Miligramo
meq	Miliequivalente
Tn	Tonelada Métrica
l	Litro
ml	Mililitro
h	Hora
min	Minuto
W	Vatio
Kw	Kilovatio
Kwh	Kilovatio Hora
rpm	Revoluciones por Minuto
° C	Grado Centígrado
mmHg	Milímetros de Mercurio
cP	Centipoise
% p/p	Porcentaje Peso a Peso

FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
IBCE	Instituto Boliviano de Comercio Exterior
ASTM	American Society of Testing Materials, Asociación Americana de Ensayo de Materiales
AUA	Ácido Galacturónico Anhidro
HM	Pectina de Alto Metoxilo
LM	Pectina de Bajo Metoxilo
LMA	Pectina de Bajo Metoxilo Amidada
SAG	Grado de Gelificación