

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“OBTENCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE LA CÁSCARA DE
SANDÍA (*Citrullus lanatus*)”**

Por:

VILTE GARECA DENILSON LEANDRO

**Proyecto de Grado en modalidad de Investigación Aplicada, presentado a
consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL
SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en
Ingeniería Química.**

Abril de 2026

TARIJA-BOLIVIA

V °B°

M.Sc. Ing. Marcelo Segovia
DECANO

M.Sc. Ing. Fernando Cortez
VICEDECANO A.I.

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

Ing. Juan Pablo Herbas

Ing. Mirtha Segovia

Ing. Carolina Tejada

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

El presente proyecto se lo dedico a mis padres Celso Vilte y Maria Gareca. Por ser el pilar fundamental de mi vida y mi mayor motivación. que, con su amor incondicional, sacrificio y consejos han guiado cada uno de mis pasos.

Gracias por enseñarme que con esfuerzo y perseverancia todo es posible. Este logro no es solo mío, es el fruto de su apoyo constante, de sus desvelos y de la confianza que siempre depositaron en mí.

Todo lo que soy y lo que aspiro a ser, se lo debo a ustedes.

Agradecimiento

Agradezco a toda mi familia, por ser mi refugio, mi fortaleza y mi inspiración constante.

A mis docentes de la Carrera de Ingeniería Química, por compartir sus conocimientos y guiar mi aprendizaje.

Un reconocimiento especial a mi tribunal calificador por sus valiosas observaciones que enriquecieron este trabajo.

Finalmente, a mis amigos y compañeros, gracias por su apoyo y amistad incondicional durante toda esta etapa universitaria.

ÍNDICE

	Página
Advertencia	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Resumen	iv

INTRODUCCIÓN

Antecedentes	1
Objetivos	9
Objetivo General	9
Objetivos específicos	9
Justificación	9
Justificación económica	9
Justificación social	10
Justificación tecnológica	10
Justificación ambiental.....	10

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Descripción de la pectina	11
1.1.1. Clases de pectina	15
1.1.1.1. Pectinas de alto índice metoxilo HM	15
1.1.1.2. Pectinas de bajo metoxilo LM.....	16
1.1.1.3. Pectinas Amidadas	16
1.1.2. Clasificación de las sustancias pécticas	17
1.1.3. Aplicaciones.....	17
1.1.3.1. La pectina en la industria alimentaria	17

1.1.3.2. La pectina como producto biomédico	18
1.1.3.3. La pectina en el tratamiento del cáncer.....	19
1.1.3.4. Aplicaciones en otros segmentos	20
1.1.3.5. Conjugados de pectina	20
1.2. Descripción de la materia prima	20
1.2.1. Variedades principales de sandía cultivadas en Tarija.....	22
1.2.2. Fruto de la sandía	22
1.2.2.1. Valoración nutricional.....	24
1.2.3. Cáscara de sandía	25
1.2.3.1. Composición nutricional de la cáscara de sandía.....	25
1.2.4. Taxonomía	27
1.3. Descripción de alternativas	27
1.3.1. Método Enzimático	27
1.3.2. Método convencional o Hidrólisis ácida.....	28
1.3.3. Método de Extracción asistido por microondas	28
1.3.4. Método de extracción asistida por ultrasonido.....	29
1.4. Caracterización del producto.....	29
1.4.1. Propiedades químicas y físicas de las pectinas	30
1.4.2. Propiedades funcionales.....	33
1.5. Métodos Analíticos	33
1.5.1. Determinación del peso equivalente	33
1.5.2. Determinación de acidez libre.....	34
1.5.3. Determinación del porcentaje de metoxilo	34
1.5.4. Determinación del grado de esterificación (GE).....	35
1.5.5. Determinación del porcentaje de ácido anhídrido galacturónico (AAG).....	35
1.5.6. Grado de gelificación	36

CAPÍTULO II: PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Metodología de investigación	37
2.1.1. Metodología cualitativa.....	37
2.1.2. Metodología cuantitativa.....	37
2.2. Selección del proceso	37
2.3. Identificación de variables dependientes e independientes a ser estudiadas.....	42
2.3.1. Variables dependientes.....	43
2.3.2. Variables independientes	43
2.4. Diseño experimental	46
2.5. Descripción del proceso seleccionado	49
2.5.1. Selección de la materia prima	50
2.5.2. Lavado de la materia prima.....	50
2.5.3. Corte y pesado de la materia prima.....	50
2.5.4. Inactivación Enzimática	51
2.5.5. Hidrólisis ácida	52
2.5.6. Filtración	53
2.5.7. Precipitación de Pectina	53
2.5.8. Centrifugación.....	54
2.5.9. Secado	55
2.5.10. Molienda y Tamizado	56
2.5.11. Envasado	56
2.6. Materiales, equipos y reactivos	57
2.6.1. Materiales.....	57
2.6.2. Equipos e instrumentos	58
2.6.3. Reactivos.....	58

CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados de caracterización fisicoquímica de la cascara de sandia	59
3.2. Resultados de la pectina extraída	59
3.3. Resultados de la caracterización fisicoquímica de la pectina extraída	60
3.3.1. Resultado de análisis fisicoquímico de producto	60
3.3.2. Resultados de acidez libre y peso equivalente	61
3.3.3. Resultados del porcentaje de metoxilo, grado de esterificación y ácido anhídrido galacturónico	63
3.3.4. Resultados de grado de gelificación.....	65
3.3.5. Comparación entre la pectina extraída a partir de la cáscara de sandia (Citrullus lanatus) y la pectina estándar	66
3.4. Análisis estadístico del diseño factorial	68
3.4.1. Influencia de variables de estudio	68
3.4.2. Evaluación Estadística del Rendimiento como Variable de Respuesta	69
3.4.2.1. Análisis de varianza (ANOVA)	70
3.4.2.2. Diagrama de Pareto	73
3.4.2.3. Ecuación de regresión en unidades codificadas	76
3.4.2.4. Gráficas factoriales para el rendimiento	77
3.5. Balance de materia para el proceso de extracción de pectina a partir de la cáscara de sandia.....	80
3.5.1. Descortezado	80
3.5.2. Lavado.....	81
3.5.3. Corte.....	82
3.5.4. Inactivación enzimática.....	82
3.5.5. Hidrólisis ácida	83
3.5.6. Filtración	83
3.5.7. Precipitación.....	84
3.5.8. Centrifugación.....	85

3.5.9. Secado	87
3.5.10. Molienda	89
3.5.11. Tamizado y envasado.....	89
3.6. Balance de energía para el proceso de extracción de pectina	90
3.6.1. Etapa de inactivación enzimática.....	90
3.6.2. Etapa de hidrólisis ácida.....	91
3.6.3. Etapa de filtración	92
3.6.4. Etapa de centrifugación.....	92
3.6.5. Etapa de secado	93
3.6.6. Etapa de molienda	94
3.6.7. Etapa de tamizado	94
3.6.8. Resumen del balance de energía del proceso de extracción de pectina de la cáscara de Sandia	95
3.7. Determinación del rendimiento del proceso	96
3.8. Evaluación de costos	97
3.8.1. Determinación del costo de producción de pectina a escala laboratorio	100

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones	103
4.2. Recomendaciones.....	104

BIBLIOGRAFÍA	
--------------------	--

ANEXOS	
--------------	--

Índice de Tablas

Página

Tabla 1 Importación materias pécticas, pectinatos y pectatos en Bolivia.....	3
Tabla 2 Producción de Sandía en Bolivia	6
Tabla I-1 Tipos de pectina HM y características respectivas.....	15
Tabla I-2 Composición nutricional de la Sandía.....	24
Tabla I-3 Propiedades aproximadas de la cáscara de sandía.....	26
Tabla I-4 Taxonomía de Sandía (<i>Citrullus lanatus</i>)	27
Tabla I-5 Caracterización de pectina estándar	30
Tabla II-1 Ventajas y desventajas de métodos de extracción	37
Tabla II-2 Escala de calificación del 1 al 10	39
Tabla II-3 Ponderación de los factores considerados para la extracción de pectina mediante hidrólisis ácida convencional y enzimática	39
Tabla II-4 Matriz de decisión de los métodos para la extracción de pectina	41
Tabla II-5 Factores a estudiar con sus respectivos niveles	45
Tabla II-6 Matriz de experimentos.....	48
Tabla II-7 Materiales usados en la extracción de pectina	57
Tabla II-8 Equipos e instrumentos	58
Tabla II-9 Reactivos.....	58
Tabla III-1 Caracterización fisicoquímica de la cáscara de sandía	59
Tabla III-2 Resultados de rendimiento de la pectina extraída.....	60
Tabla III-3 Caracterización fisicoquímica de la pectina de la cáscara de sandía.....	61
Tabla III-4 Datos obtenidos de la valoración acido-base.....	61
Tabla III-5 Resultados del análisis de acidez libre y peso equivalente de la pectina obtenida de cáscara de sandía	62
Tabla III-6 Resultados del análisis de porcentaje de metoxilo, grado de esterificación y ácido anhídrido galacturónico de la pectina extraída.....	64

Tabla III-7 Resultados del análisis de grado de gelificación y viscosidad de la pectina extraída de cáscara de sandía	65
Tabla III-8 Análisis fisicoquímico de la pectina extraída en comparación con la pectina estándar	66
Tabla III-9 Resumen del diseño	69
Tabla III-10 Diseño factorial variable respuesta rendimiento.....	69
Tabla III-11 Nomenclatura utilizada en el análisis estadístico	70
Tabla III-12 Coeficientes codificados variable respuesta rendimiento.....	71
Tabla III-13 Coeficientes codificados variable respuesta rendimiento 2.....	71
Tabla III-14 Resumen del modelo.....	74
Tabla III-15 Análisis de varianza (ANOVA) para el rendimiento de pectina con un nivel de significancia de 5 %	74
Tabla III-16 Resultados de la variable respuesta rendimiento	76
Tabla III-17 Datos de secado de pectina húmeda extraída	88
Tabla III-18 Resumen del balance de energía del proceso de extracción de pectina.	95
Tabla III-19 Detalle de costos de materias primas y reactivos	97
Tabla III-20 Detalle de costos de materiales empleados en la extracción de Pectina	98
Tabla III-21 Detalle de costos de análisis fisicoquímico de la materia prima y pectina extraída.....	99
Tabla III-22 Detalle de costos de servicios y materiales directos e indirectos	99
Tabla III-23 Resumen de costos directos e indirectos	100
Tabla III-24 Detalle de costos de materia prima y reactivos	100
Tabla III-25 Detalle de costos de requerimiento energético	101
Tabla III-26 Detalle de costos de producción	101

Índice de Figuras

	Página
Figura 1 Materias pépticas, pectinatos y pectatos importadas de acuerdo al país de origen en Bolivia	3
Figura 2 Producción, superficie y rendimiento de sandía por año Bolivia	6
Figura 3 Producción de sandía en municipios de Tarija	7
Figura 4 Producción de Sandía año agrícola en Tarija	7
Figura 1-1 Ilustración de la Pectina en la Pared Celular	11
Figura 1-2 Estructura general de la pectina.....	12
Figura 1-3 Sustitución del ácido galacturónico.....	13
Figura 1-4 Formas naturales de residuos de ácido D-galacturónico donde las flechas indican una posible eliminación β en forma de éster	14
Figura 1-5 Estructura de Pectina HM (Alto metoxilo).....	15
Figura 1-6 Estructura de Pectina LM (Bajo metoxilo).....	16
Figura 1-7 Clasificación de pectinas	16
Figura 1-8 Partes de lo que está compuesta la planta de sandia.....	21
Figura 1-9 Morfología del fruto de la sandía	23
Figura 2-1 Diagrama de flujo de hidrólisis ácida para la extracción de pectina de cascara de sandía.....	49
Figura 3-1 Diagrama de Pareto del proceso de extracción de pectina	73
Figura 3-2 Gráfica de probabilidad normal.....	75
Figura 3-3 Efectos principales para rendimiento	77
Figura 3-4 Gráfica de interacción AB y BC	78
Figura 3-5 Gráfica de cubos (medias ajustadas) del rendimiento	79
Figura 3-6 Curva de secado de la pectina extraída	88

Índice de Fotografías

	Página
Fotografía 2-1 Cáscara de sandía	50
Fotografía 2-2 Cáscara de sandía cortada	51
Fotografía 2-3 Inactivación enzimática.....	51
Fotografía 2-4 Hidrólisis ácida	52
Fotografía 2-5 Filtración al vacío de la solución ácida	53
Fotografía 2-6 Precipitación de pectina mediante etanol al 96%.....	54
Fotografía 2-7 Centrifugación de la pectina.....	55
Fotografía 2-8 Secado de la pectina en la incubadora.....	55
Fotografía 2-9 Tamizado de la pectina obtenida.....	56
Fotografía 2-10 Pectina obtenida a partir de cascara de sandia	56

Índice de Anexos

	Página
ANEXO 1. Estudios que utilizan pectina como producto biomédico.....	
ANEXO 2. Normas de productos que permiten aditivos específicos (CODEX STAN 192-1995)	
ANEXO 3. INS 440 Pectinas Clase funcional: Emulsionante, agente gelificante, agente brillante, estabilizador, espesante.....	
ANEXO 4. Condiciones de extracción y propiedades fisicoquímicas de la pectina extraída por CHE de residuos agrícolas, subproductos alimentarios y otros.....	
ANEXO 5. Condiciones de extracción y propiedades fisicoquímicas de la pectina extraída mediante métodos ecológicos a partir de residuos agrícolas, subproductos alimentarios y otros	
ANEXO 6. Características técnicas de los equipos utilizados en el laboratorio.....	
ANEXO 7. Análisis fisicoquímico de la cáscara de Sandía.....	
ANEXO 8. Análisis fisicoquímico de pectina obtenida de cáscara de Sandía	

ABREVIATURAS

AAG	Ácido anhídrido galacturónico
ANOVA	Análisis de Varianza
ASTM	Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales
Ca	Calcio
CEANID	Centro de Análisis Investigación y Desarrollo
-CO-NH₂	Amidación
-CO-OCH₃	Esterificación
DAPRO	Dirección de Análisis Productivo
ECC	Consejo Ambiental de Exportación
EFSA	Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria
FAO Agricultura	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la
FCC	Código de Sustancias Químicas para Alimentos
GE	Grado de Esterificación
HCl	Ácido clorhídrico
HM	Alto Metoxilo (High Metoxil)
HMP	Pectina de Alto Metoxilo
INE	Instituto Nacional de Estadística
LM	Bajo Metoxilo (Low Metoxil)
LOU	Laboratorio de Operaciones Unitarias
MAE	Extracción Asistida por Microondas
MDPYEP	Ministerio de Desarrollo Productivo y Economía Plural

MDRyT	Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras
NaOH	Hidróxido de sodio
NB	Norma Boliviana
pH	Potencial de hidrógeno
PMT	Pectinas metiltransferasas
PPC	Puntos Críticos de Control
RG-I	Ramnogalacturonano I
RG-II	Ramnogalacturonano II
SAG	Grado Estándar Americano (Standardized American Grade)
SAM	S-Adenosil metionina
UAJMS	Universidad Autónoma Juan Misael Saracho
UFC	Unidades Formadoras de Colonias
USP	Farmacopea de los Estados Unidos
WHO	Organización Mundial de la Salud (World Health Organization)

UNIDADES

%	Porcentaje
°C	Grados Celsius
°SAG	Grados SAG (Standardized American Grade)
cm	Centímetro
cP	Centipoise
g	Gramo
h	Hora
ha	Hectárea
Hz	Hertz
kg	Kilogramo
kJ	Kilojoule
kW	Kilovatio
kWh	Kilovatio hora
l	Litro
meq	Miliequivalente
mg	Miligramo
min	Minuto
ml	Mililitro
mm	Milímetro
N	Normalidad
rpm	Revoluciones por minuto

TM	Tonelada Métrica
UFC	Unidades Formadoras de Colonias
V	Voltio
W	Vatio

GLOSARIO

Acidez libre

Medida de los grupos carboxilos libres presentes en la estructura de la pectina, determinada mediante titulación con una base.

Ácido galacturónico

Componente principal y estructural de la pectina, es un derivado del azúcar galactosa.

Citrullus lanatus

Nombre científico de la sandía, planta de la familia de las cucurbitáceas.

Endocarpio

Parte más interna y carnosa del fruto, conocida comúnmente como pulpa.

Epicarpio

Capa más externa, lisa y dura que protege al fruto, comúnmente llamada cáscara.

Gelificación

Fenómeno en el cual las moléculas poliméricas forman una red tridimensional interconectada (gel) inmersa en un líquido.

Grado de esterificación

Porcentaje de grupos carboxílicos del ácido galacturónico que han sido transformados en ésteres metílicos.

Hidrólisis ácida

Método de extracción que utiliza ácidos y temperatura para descomponer la protopectina insoluble de las paredes celulares y liberar la pectina soluble.

Inactivación enzimática

Tratamiento térmico (generalmente a 95°C) aplicado a la materia prima para detener la acción de enzimas naturales que podrían degradar la pectina.

Mesocarpio

Capa intermedia de color blanco situada debajo de la cáscara; es la parte con mayor concentración de pectina en la sandía.

Metoxilo

Grupo funcional presente en los ácidos galacturónicos cuya cantidad determina la clasificación (alto o bajo metoxilo) y las propiedades de gelificación de la pectina.

Pectina

Polisacárido complejo (heteropolisacárido) presente de forma natural en las paredes celulares de las plantas, utilizado industrialmente como agente gelificante, espesante y estabilizante.

Pectina de alto metoxilo

Tipo de pectina que posee más del 50% de sus grupos carboxílicos esterificados; gelifica en presencia de azúcar y ácido.

Pectina de bajo metoxilo

Tipo de pectina con menos del 50% de grupos carboxílicos esterificados; requiere iones de calcio para formar geles.

Peso equivalente

Indicador que relaciona la masa de pectina con los grupos ácidos libres; se define como la cantidad de ácido galacturónico puro por cada miliequivalente de NaOH consumido.

pH

El pH es una medida que sirve para establecer el nivel de acidez o alcalinidad de una disolución

Protopectina

Sustancia precursora de la pectina, insoluble en agua, que se encuentra en frutos inmaduros aportando rigidez a la estructura celular.