

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**OBTENCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE LA CÁSCARA DE
MARACUYÁ (*Passiflora Edulis F. Flavicarpa*) PRODUCIDO EN
EL DEPARTAMENTO DE TARIJA**

Por:

LIZ GUADALUPE GUTIERREZ ORTEGA

Proyecto de Grado en la 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.

Septiembre de 2024

TARIJA – BOLIVIA

V °B°

M.Sc. Ing. Marcelo Segovia
DECANO

M.Sc. Ing. Gustavo Succi
VICEDECANO

Ing. Hugo Leonel Benitez Cary
TUTOR

**APROBADA POR:
TRIBUNAL:**

Ing. Juan Carlos Kéri Mentasti

Ing. Fabricio Campero Verdún

Ing. Maiza Sandra Paz Aldana

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

A Dios y a mi familia, por estar siempre a mi lado, por su cariño y por ser mi refugio en los momentos difíciles. Gracias por su paciencia y por celebrar conmigo cada uno de mis logros.

Agradecimiento

A mis padres que siempre me han brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos. Gracias por impulsarme siempre a perseguir mis metas y nunca abandonarlas frente a las adversidades.

A mis docentes, por compartir sus conocimientos y experiencias, por inspirarme a ser mejor cada día y por guiarme en este proceso de aprendizaje. Gracias por su dedicación.

ÍNDICE

	Página
Advertencia.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Resumen.....	iv

INTRODUCCIÓN

Antecedentes	1
Planteamiento del problema.....	5
Objetivos	5
Objetivo General	5
Objetivos específicos	5
Justificación	6
Justificación tecnológica.....	6
Justificación económica	6
Justificación social	6
Justificación ambiental.....	7
Justificación personal.....	7

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Origen de la pectina	8
1.2. Clasificación de la pectina de acuerdo a su composición	9
1.2.1. Geles de pectina de alto metoxilo.....	9
1.2.2. Geles de pectina de bajo metoxilo.....	10

1.3. Las pectinas como estabilizantes	11
1.4. Clasificación de las sustancias pécticas	12
1.4.1. Protopectina.....	12
1.4.2. Ácidos pectínicos	12
1.4.3. Ácidos pécticos	12
1.4.4. Pectinas.....	12
1.5. Aplicaciones potenciales de la pectina.....	12
1.5.1. Industria de alimentos	12
1.5.1.1. Mermeladas, jaleas y agente emulsionante.....	12
1.5.1.2. Productos de panadería	13
1.5.2. Salud y farmacia.....	13
1.5.2.1. Reducción de las concentraciones plasmáticas de LDL	13
1.5.2.2. Usos terapéuticos y farmacéuticos.....	14
1.5.2.3. Control glicémico.....	14
1.5.3. Envasado de alimentos	15
1.5.3.1. Película de embalaje	15
1.5.3.2. Material de revestimiento	15
1.5.4. Pectina como modificador de reología.....	16
1.5.5. Pectina en terapia génica	16
1.6. Contenido péctico de algunas frutas base húmeda y base seca.....	17
1.7. Descripción de la materia prima	18
1.7.1. Maracuyá.....	18
1.7.2. Taxonomía.....	19

1.7.3. Composición química.....	20
1.7.4. Variedades del maracuyá	20
1.7.4.1. Maracuyá variedad morada.....	20
1.7.4.2. Maracuyá variedad amarilla.....	22
1.8. Descripción de las alternativas del proceso	25
1.8.1. Extracción de pectina por hidrólisis ácida convencional	25
1.8.2. Extracción de pectina por hidrólisis ácida asistida por microondas.....	25
1.8.3. Extracción enzimática de pectina	26
1.8.4. Extracción de pectina con agua subcrítica	26
1.9. Caracterización del producto	27
1.10. Propiedades físicas y químicas de la pectina.....	28
1.10.1. Solubilidad	29
1.10.2. Grado de esterificación.....	29
1.10.3. Composición y contenido de monosacáridos	31
1.10.4. Propiedades del gel.....	31
1.10.5. Masa molecular	32
1.10.6. Propiedades reológicas	32
1.11. Método de análisis de la pectina extraída de la cáscara de maracuyá	33
1.11.1. Determinación del peso equivalente	33
1.11.2. Determinación de acidez libre.....	34
1.11.3. Determinación del porcentaje de metoxilo.....	34
1.11.4. Determinación del grado de esterificación (GE).....	35
1.11.5. Determinación del porcentaje de ácido anhídrido galacturónico (AAG).....	35

1.11.6. Grado de gelificación	35
-------------------------------------	----

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Metodología de estudio	37
2.1.1. Metodología documental	37
2.1.2. Metodología cualitativa	37
2.1.3. Metodología cuantitativa	37
2.2. Selección del proceso a utilizar	38
2.2.1. Calificación de los métodos para la extracción experimental de pectina	41
2.3. Selección de variables del proceso experimental	42
2.3.1. pH	42
2.3.2. Temperatura de hidrólisis	42
2.3.3. Tiempo de hidrólisis	43
2.4. Diseño experimental	43
2.4.1. Matriz de experimentos para la etapa de activación el diseño factorial completo 2^3	44
2.5. Descripción del proceso experimental seleccionado	46
2.5.1. Selección de la materia prima	47
2.5.2. Lavado de la materia prima	47
2.5.3. Cortado y pesado de la materia prima	47
2.5.4. Inactivación de enzimas	48
2.5.5. Hidrólisis ácida	49
2.5.6. Filtración	50
2.5.7. Precipitación	51

2.5.8. Centrifugación.....	52
2.5.9. Secado	53
2.5.10. Molienda.....	54
2.5.11. Tamizado	55
2.5.12. Envasado	55
2.6. Equipos, materiales reactivos.....	56
2.6.1. Equipos.....	56
2.6.2. Materiales de laboratorio.....	57
2.6.3. Reactivos utilizados.....	58

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Presentación de los resultados de la caracterización de la cáscara de maracuyá.	59
3.2. Presentación de los resultados del producto extraído	59
3.2.1. Resultados de rendimiento del proceso	59
3.2.2. Presentación de los resultados de la caracterización fisicoquímica de la pectina extraída.....	60
3.2.2.1. Resultados de pH, cenizas y humedad.....	60
3.2.2.2. Resultados de acidez libre y peso equivalente	60
3.2.2.3. Resultados del porcentaje de metoxilo, grado de esterificación y ácido anhídrido galacturónico.....	61
3.2.2.4. Resultados de grado de gelificación	62
3.3. Comparación entre la pectina extraída a partir de la cáscara de maracuyá (<i>Passiflora edulis f. flavicarpa</i>) y la pectina estándar.....	62
3.4. Análisis estadístico.....	64

3.4.1. Influencia del pH, temperatura y tiempo en el rendimiento de pectina	64
3.4.2. Análisis estadístico de la variable respuesta rendimiento	65
3.4.3. Análisis de varianza (ANOVA)	66
3.4.4. Ecuación de la regresión lineal de la variable respuesta rendimiento	68
3.4.5. Diagrama de Pareto	70
3.4.6. Gráficas factoriales para el rendimiento.....	72
3.5. Balance de materia para el proceso de extracción de pectina a partir de la cáscara de maracuyá	74
3.5.1. Pelado	75
3.5.2. Lavado.....	75
3.5.3. Corte	76
3.5.4. Inactivación enzimática.....	77
3.5.5. Hidrólisis ácida.....	77
3.5.6. Filtración	79
3.5.7. Precipitación.....	79
3.5.8. Centrifugación.....	81
3.5.9. Secado	82
3.5.10. Molienda.....	84
3.5.11. Tamizado y envasado	85
3.5.12. Resumen del balance de materia del proceso de extracción	86
3.6. Balance de energía para el proceso de extracción de pectina de cáscara de maracuyá	88
3.6.1. Etapa de inactivación enzimática	88
3.6.2. Etapa de hidrólisis ácida.....	88

3.6.3. Etapa de filtración	89
3.6.4. Etapa de centrifugación.....	89
3.6.5. Etapa de secado	90
3.6.6. Etapa de tamizado	91
3.6.7. Resumen del balance de energía del proceso de extracción de pectina de la cáscara de maracuyá.....	92
3.7. Cálculo del rendimiento definitivo	93
3.8. Evaluación de costos	94
3.9. Determinación del costo de producción de pectina a escala laboratorio	97

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones	99
4.2. Recomendaciones.....	100
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

Índice de Tablas

	Páginas
Tabla 1 Importaciones Nacionales de Materias Pécicas (toneladas)	3
Tabla 2 Producción de maracuyá en toneladas métricas en Bolivia en el año 2016.....	4
Tabla I-1 Información nutricional por 100 gramos de producto.....	14
Tabla I-2 Contenido péctico de algunas frutas (base húmeda)	17
Tabla I-3 Contenido péctico de algunas frutas (base seca).....	18
Tabla I-4 Taxonomía de maracuyá (<i>Passiflora edulis flavicarpa</i>)	19
Tabla I-5 Composición proximal del maracuyá variedad amarilla (<i>Passiflora edulis f. flavicarpa</i>) (g/100 g de peso seco)	24
Tabla I-6 Caracterización de pectina estándar	28
Tabla II-1 Ventajas y desventajas	38
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	40
Tabla II-4 Matriz de decisión de los métodos para la extracción de pectina	41
Tabla II-5 Matriz de experimentos.....	45
Tabla II-6 Equipos usados en la extracción de pectina	56
Tabla II-7 Materiales usados en la extracción de pectina	57
Tabla III-1 Caracterización fisicoquímica de la cáscara de maracuyá.....	59
Tabla III-2 Resultados de rendimiento de la pectina extraída.....	59
Tabla III-3 Caracterización fisicoquímica de la pectina de la cáscara de maracuyá ..	60
Tabla III-4 Resultados del análisis de acidez libre y peso equivalente de la pectina..	61

Tabla III-5 Resultados del análisis de porcentaje de metoxilo, grado de esterificación y ácido anhídrido galacturónico	61
Tabla III-6 Resultados del análisis de grado de gelificación y viscosidad	62
Tabla III-7 Análisis fisicoquímico de la pectina extraída en comparación con la pectina estándar	62
Tabla III-8 Resumen del diseño	65
Tabla III-9 Diseño factorial variable respuesta rendimiento.....	65
Tabla III-10 Coeficientes codificados variable respuesta rendimiento.....	66
Tabla III-11 Coeficientes codificados variable respuesta rendimiento 2.....	67
Tabla III-12 Resumen del modelo	67
Tabla III-13 Análisis de varianza (ANOVA) para el rendimiento de pectina con un nivel de significancia de 5 %	68
Tabla III-14 Resultados de la variable respuesta rendimiento	69
Tabla III-15 Datos de pérdida de peso en función del tiempo a temperatura constante de 45 ± 2 °C	83
Tabla III-16 Detalle de costos de materias primas y reactivos	94
Tabla III-17 Detalle de costos de materiales empleados en la extracción de pectina .	95
Tabla III-18 Detalle de costos de análisis fisicoquímico de la materia prima y pectina extraída.....	96
Tabla III-19 Detalle de costos de servicios y materiales directos e indirectos	96
Tabla III-20 Detalle de costos totales.....	97
Tabla III-21 Detalle de costos de materia prima y reactivos	97
Tabla III-22 Detalle de costos de requerimiento energético	98
Tabla III-23 Detalle de costos de producción	98

Índice de Figuras

	Página
Figura 1 Diseño estructural de la pared celular.....	2
Figura 1-1 Tres unidades de ácido galacturónico no metoxilado unidas entre sí por enlaces α 1- 4.....	8
Figura 1-2 Pectina de alto metoxilo	10
Figura 1-3 Pectina de bajo metoxilo	11
Figura 1-4 Morfología del maracuyá	18
Figura 1-5 Maracuyá morada (<i>Passiflora edulis</i>)	20
Figura 1-6 Maracuyá amarillo (<i>Passiflora edulis flavicarpa</i>).....	22
Figura 2-1 Proceso seleccionado para la extracción de pectina de cáscara de maracuyá por hidrólisis ácida convencional.....	46
Figura 3-1 Diagrama de Pareto del proceso de extracción de pectina	70
Figura 3-2 Gráfica de probabilidad normal.....	71
Figura 3-3 Efectos principales para rendimiento	72
Figura 3-4 Gráfica de interacción CB y BC.....	73
Figura 3-5 Gráfica de cubos (medias ajustadas) del rendimiento	74
Figura 3-6 Etapa de pelado	75
Figura 3-7 Etapa de lavado	76
Figura 3-8 Etapa de cortado	76
Figura 3-9 Etapa de inactivación enzimática	77
Figura 3-10 Etapa de hidrólisis ácida.....	78
Figura 3-11 Etapa de filtración	79
Figura 3-12 Etapa de precipitación	80

Figura 3-13 Etapa de centrifugación	81
Figura 3-14 Etapa de secado	82
Figura 3-15 Curva de secado de la pectina a temperatura constante de 45 ± 2 °C	84
Figura 3-16 Etapa de molienda	84
Figura 3-17 Etapa de tamizado y envasado.....	85
Figura 3-18 Resumen del balance de materia del proceso de extracción	87
Figura 3-19 Resumen del balance de energía del proceso de extracción de pectina ..	92

Índice de Fotografías

	Página
Fotografía N° 2-1 Maracuyá	47
Fotografía N° 2-2 Corte y pesado de epicarpio y mesocarpio	48
Fotografía N° 2-3 Inactivación enzimática	49
Fotografía N° 2-4 Hidrólisis ácida	50
Fotografía N° 2-5 Filtrado al vacío de la solución hidrolizada.....	51
Fotografía N° 2-6 Precipitación de pectina con etanol	52
Fotografía N° 2-7 Centrifugación de pectina	53
Fotografía N° 2-8 Secado de pectina	54
Fotografía N° 2-9 Molienda de la pectina.....	54
Fotografía N° 2-10 Tamizado de pectina.....	55
Fotografía N° 2-11 Pectina envasada.....	56

Índice de anexos

Anexo 1 Pruebas preliminares para la determinación de los límites óptimos del diseño factorial	
Anexo 2 Modelo del diseño factorial	
Anexo 3 Descripción y caracterización fisicoquímica de la pectina extraída.....	
Anexo 4 Aditivos cuyo uso se permite en los alimentos en general (cuadro III - CODEX STAN 192-1995).....	
Anexo 5 Especificaciones técnicas de los equipos utilizados en el laboratorio.....	
Anexo 6 Análisis fisicoquímico de la cáscara del maracuyá	
Anexo 7 Análisis fisicoquímico de la pectina extraída	

ABREVIATURAS

Ácido anhídrido galacturónico	AAG
Ácido clorhídrico	HCl
Ácido galacturónico	Gal-A
Agua	H₂O
Cada uno	c/u
Centro de Análisis Investigación y Desarrollo	CEAND
Cromatografía de exclusión por tamaño de alta presión	HPSEC
Densidad	ρ
Dirección de Análisis Productivo	DAPRO
Etanol	C₂H₄OH
Grado de esterificación	GE
Grupo hidrófilo	-COONa
Grupo carboxílico	-COOCH₃
Hectárea	ha
Hidróxido de sodio	NaOH
Instituto Brasileiro de Geografía e Estadística	IBGE
Instituto Nacional de Estadística	INE

Laboratorio de Operaciones Unitarias	LOU
Lipoproteínas de baja densidad	LDL
Masa	m
Medicina centrada en el paciente	MCP
Ministerio de Desarrollo Productivo y Economía Plural	MDPyEP
Normalidad	N
Radical metoxilo	-O-CH₃
Relación masa sobre masa	%m/m
Volumen	V

UNIDADES

Boliviano	Bs
Centipoise	cP
Grados Celsius	°C
Grados de gelificación	°SAG
Gramo	g
Gramo por mililitro	g/ml
Hertz	Hz
Hora	h
Kilogramo	kg
Kilojoule	kJ
Kilovatio-hora	kW-h
Kilovatio	kW
Litro	l
Miliequivalentes	meq
Miliequivalentes por gramo	meq/g
Miligramos	mg
Milímetros	mm
Minutos	min

Omega	ω
Partes por millón	ppm
Revolución por minuto	r/min
Segundo	s
Voltios	V
Watts	W

GLOSARIO

Acidez libre

Cantidad de ácidos fuertes en el agua, generalmente expresada en miliequivalentes de una base fuerte necesarios para neutralizar una muestra de un litro de agua, utilizando, por ejemplo, fenolftaleína como indicador.

Ácido galacturónico

Es un monosacárido de 6 átomos de carbono correspondiente a la forma oxidada de la D-galactosa, por lo que también pertenece al grupo de los azúcares ácidos. Es el principal componente de las pectinas, donde puede encontrarse en forma de ácido poligalacturónico.

Aditivo alimentario

Es aquella sustancia que, sin constituir por sí misma un alimento ni poseer valor nutritivo, se agrega intencionalmente a los alimentos y bebidas en cantidades mínimas con el objetivo de modificar sus características organolépticas o facilitar o mejorar su proceso de elaboración o conservación.

Arabinosa

Es un azúcar reductor de cinco carbonos y es un componente de los arabinogalactanos que forman la pared celular de las micobacterias.

Cromatografía de intercambio aniónico

Es un proceso que permite la separación de iones y moléculas polares basado en las propiedades de carga de las moléculas. Puede ser usada en casi cualquier tipo de molécula cargada, incluyendo proteínas grandes, nucleótidos y aminoácidos pequeños.

Dalton

Se le conoce como unidad de masa atómica unificada, es una unidad estándar de masa empleada en física de partículas y bioquímica, corresponde a la doceava (1/12) parte de la masa de un átomo de Carbono-12 y equivale a $1.660\ 538\ 921\ (73) \times 10^{-27}$ kg.

Enzimas

Una enzima es un catalizador biológico. Es una proteína que acelera la velocidad de una reacción química específica en la célula.

Etanol

El etanol, también llamado alcohol etílico, es un compuesto químico orgánico alifático con un grupo funcional hidroxilo, formando parte de la familia de los alcoholes.

Gelificación

La gelificación en los alimentos se define como el proceso en el que el líquido se convierte en gel. Se considera gel al líquido que se ha suspendido en un sólido. La capacidad gelificante de las proteínas alimentarias es un atributo funcional importante para la fabricación de alimentos.

Glucosa

La glucosa está presente en la mayoría de las frutas y en muchos vegetales. Es abundante como polímero de reserva en los animales (glucógeno) y en las plantas (almidón). La mayor parte de la glucosa está presente como polímero no digestible (celulosa).

Grado de esterificación

Es la relación entre los grupos de ácido galacturónico esterificado y los grupos de ácido galacturónico total presentes en la pectina, este grado determina la propiedad gelificante de la pectina y, por ende, su aplicación.

Grado de metoxilación

Se define el grado de metoxilación como la relación entre los grupos metoxilados y aquellos ácidos libres presentes en la cadena molecular de la pectina. El grado de metoxilación influye en las propiedades de la pectina, en particular la solubilidad y las condiciones de gelatinización.

Interacciones hidrofóbicas

La interacción hidrofóbica se produce cuando al plegarse un polipéptido los radicales hidrófobos se acercan debido a que son excluidos por el agua. Luego, las moléculas de agua muy ordenadas en cubierta de solvatación se liberan del interior aumentando el desorden de las moléculas del agua.

Metanol

El metanol es la forma más básica del alcohol. A temperatura ambiente se presenta como un líquido ligero, incoloro, inflamable y tóxico que se emplea como anticongelante, disolvente y combustible.

Micelas

Partícula muy pequeña compuesta de sustancias solubles en agua que se juntan formando una bola. Estas partículas pueden transportar otras sustancias en su interior.

Monosacáridos

Los monosacáridos son moléculas orgánicas, monómeros de carbohidratos o glúcidos que forman polímeros llamados polisacáridos. Se denominan azúcares simples, ya que están compuestos por una única molécula de azúcar.

Onda electromagnética

La radiación electromagnética se genera por la vibración de electrones u otras partículas con carga eléctrica. La energía producida por esta vibración viaja en forma de ondas electromagnéticas.

Pardeamiento enzimático

El pardeamiento enzimático (PE) está relacionado con la actividad de la enzima polifenol oxidasa (PPO) que cataliza la oxidación a diferentes compuestos fenólicos, con la consecuente transformación a pigmentos oscuros no deseables para la calidad industrial.

Peso equivalente

El peso equivalente es el peso molecular de la sustancia dividido entre el número de protones (si es un ácido), el número de hidroxilos (si es una base), el número de ligandos (si es una especie formadora de complejos), o el número de electrones que intercambia (si es un par redox).

Polisacáridos

Los polisacáridos son macromoléculas formadas por la unión de una gran cantidad de monosacáridos. Se encuentran entre los glúcidos, y cumplen funciones diversas, sobre todo de reservas energéticas y estructurales.

pH

Medida del grado de acidez o alcalinidad de una sustancia o una solución. El pH indica la concentración de iones de hidrógeno presentes en determinadas disoluciones. La sigla significa potencial de hidrógeno o potencial de hidrogeniones.

Ramnosa

La ramnosa es un monosacárido de seis carbonos que pertenece al grupo de las metilpentosas y de las desoxihexosas. Es un desoxiazúcar natural que se obtiene de plantas.

Reología

La reología describe la deformación de un cuerpo bajo la influencia de esfuerzos, pero la reología no está limitada a los polímeros, se puede aplicar a todo tipo de material, sólido, líquido o gas.

Sacarosa

La sacarosa, conocida comúnmente como azúcar de mesa, es un disacárido formado por la unión de una molécula de glucosa y una de fructosa.

Solvente

Un disolvente o solvente es una sustancia química que disuelve al soluto, resultando en una disolución; normalmente el solvente es el componente de una disolución presente en mayor cantidad.

Sorbente

Los sorbentes recogen moléculas de líquidos y gases de una forma muy similar a como las esponjas absorben agua.

Viscosidad

La viscosidad se refiere a la resistencia que poseen algunos líquidos durante su fluidez y deformación. A mayor viscosidad, más resistencia opondrá el fluido a su deformación, o, lo que es lo mismo: cuanto más fuerte son las fuerzas intermoleculares de atracción, mayor es la viscosidad.