

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**OBTENCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE
CÁSCARA DE MANDARINA**

Por:

MARIEN ROSALIT LÓPEZ MUÑOZ

Modalidad de graduación: INVESTIGACIÓN APLICADA

**presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN
MISAEL SARACHO” como requisito para optar al grado académico de
licenciatura en Ingeniería Química.**

MAYO, 2023

TARIJA – BOLIVIA

V°B°

M. Sc. Ing. Marcelo Segovia Cortez
DECANO

M. Sc. Lic. Clovis Gustavo Succi Aguirre
VICE DECANO

Ing. Ernesto Evaristo Caihuara Alejandro
DIRECTOR DE DEPARTAMENTO

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

Ing. María Estela Sullca

Ing. Claudia Salazar Bellido

Ing. Gustavo Moreno López

ADVERTENCIA

El tribunal calificador del presente proyecto, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el presente trabajo, siendo las mismas únicamente responsabilidades del autor.

DEDICATORIA:

A Dios por guiar mis pasos en cada uno de mis objetivos.

A mis padres Mario López y Martha Muñoz por ser el pilar fundamental en mi vida, por su amor, trabajo, apoyo y sacrificio en todos estos años.

A mi hermana Mileni López que siempre está ahí a pesar de las circunstancias y me respalda en cada paso que doy y ahora por cumplir un objetivo más.

A mi pareja Marcelo Sandoval por su gran apoyo, por acompañarme en esta etapa y brindarme todo su amor, comprensión y cariño.

AGRADECIMIENTOS:

A Dios por darme una nueva oportunidad cada día.

A mi familia López Muñoz y mi pareja Marcelo Sandoval por su apoyo incondicional, porque siempre confiaron en mí para poder lograr cada uno de mis objetivos a lo largo de esta vida.

A los docentes de la carrera de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma "Juan Misael Saracho" (U.A.J.M.S.) por inculcarnos sus conocimientos y experiencias en cada materia cursada.

PENSAMIENTO:

El éxito no está en vencer siempre, sino
en no desanimarse nunca.

Napoleón Bonaparte

ÍNDICE

	Página
Advertencia.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Pensamiento.....	iv
Resumen.....	v

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1.Antecedentes.....	1
1.2.Objetivos.....	3
1.2.1.Objetivo general.....	3
1.2.2.Objetivos específicos.....	3
1.3.Justificación.....	4

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.La mandarina.....	5
2.1.1. Taxonomía.....	5
2.1.2. Morfología.....	5
2.1.2.1. Planta de mandarina.....	5
2.1.2.2. Hojas de mandarina.....	6
2.1.2.3. Raíz de mandarina.....	6
2.1.2.4. Flores de mandarina.....	7

2.1.2.5. Fruto de mandarina.....	7
2.1.3. Variedades de mandarinas.....	9
2.1.3.1. Clementinas.....	9
2.1.3.2. Satsuma.....	9
2.1.3.3. Híbridos.....	9
2.1.3.4. Murcot.....	10
2.1.3.5. Malvácea.....	10
2.1.3.6. Ponkan.....	10
2.1.3.7. Criolla.....	10
2.1.4. Variedad de mandarina en el departamento de Tarija.....	10
2.1.5. Valor nutricional de mandarina.....	11
2.1.6. Producción de la mandarina.....	11
2.2. Cáscara de mandarina.....	13
2.2.1. Valor nutricional de cáscara de mandarina.....	14
2.2.2. Beneficios de cáscara de mandarina.....	16
2.2.3. Producción de la cáscara de mandarina.....	17
2.3. Pectina.....	18
2.3.1. Estructura química de las pectinas.....	19
2.3.2. Clasificación de las sustancias pecticas.....	20
2.3.2.1. Protopectina.....	20
2.3.2.2. Ácidos pectínicos.....	20
2.3.2.3. Pectina.....	21
2.3.2.4. Ácidos pécticos.....	21

2.3.3. Clasificación de la pectina.....	22
2.3.3.1. Pectinas de alto metoxilo (hm).....	22
2.3.3.2. Pectinas de bajo metoxilo (lm).....	23
2.3.3.3. Pectina de bajo metoxilo amidadas (lma).....	23
2.3.4. Propiedades fisicoquímicas de las pectinas.....	24
2.3.4.1. Solubilidad.....	24
2.3.4.2. Grado de gelificación.....	24
2.3.4.2.1. Mecanismo de gelificación de la pectina.....	25
2.3.4.3. Acidez.....	25
2.3.4.4. Viscosidad.....	25
2.3.4.5. Contenido de metoxilos.....	26
2.3.4.6. Grado de esterificación.....	26
2.3.4.7. Peso equivalente.....	27
2.3.4.8. Ácido galacturónico.....	27
2.3.4.9. pH.....	27
2.3.5. Propiedades sensoriales de la pectina.....	27
2.3.6. Propiedades microbiológicas de la pectina.....	28
2.3.7. Aplicaciones de las pectinas.....	28
2.3.8. Caracterización de la pectina.....	29
2.3.9. Fundamentos teóricos de los métodos de caracterización físico-química de la pectina.....	32
2.3.9.1. Peso equivalente.....	32
2.3.9.2. Acidez libre.....	32
2.3.9.3. Porcentaje de metoxilo.....	32

2.3.9.4. Grado de esterificación.....	33
2.3.9.5. Porcentaje de ácido galacturónico anhidro.....	33
2.3.9.6. Grado de gelificación.....	33
2.4. Proceso de extracción de las pectinas.....	34
2.4.1. Inactivación de enzimas pécticas.....	34
2.4.2. Hidrólisis ácida.....	35
2.4.3. Precipitación.....	36
2.4.3.1. Coagulación.....	36
2.4.3.2. Floculación.....	37
2.4.3.3. Sedimentación.....	37
2.4.4. Métodos de extracción de pectina a nivel laboratorio.....	38
2.4.4.1. Extracción por hidrólisis ácida asistida por microondas.....	38
2.4.4.2. Extracción por hidrólisis ácida convencional.....	38

CAPÍTULO III

PARTE EXPERIMENTAL

3.1. Caracterización de la materia prima cáscara de mandarina.....	42
3.1.1. Propiedades físicas.....	42
3.1.2. Propiedades organolépticas.....	43
3.1.3. Propiedades fisicoquímicas.....	43
3.2. Variables del proceso experimental.....	45
3.2.1. pH.....	45
3.2.2 Tiempo de hidrólisis.....	45
3.2.3 Concentración de etanol.....	45

3.2.4 Tiempo de precipitación.....	45
3.2.5 Variables independientes.....	45
3.2.6. Variable dependiente.....	46
3.3. Diseño factorial o experimental.....	46
3.3.1. Procedimientos y técnicas del diseño factorial o experimental.....	46
3.3.1.1. Diseño factorial a dos niveles 2k.....	46
3.3.1.2. Análisis del diseño factorial 2k.....	46
3.3.2. Construcción del diseño factorial 2k etapa 1.....	47
3.3.2.1. Construcción de la matriz de diseño.....	47
3.3.3. Construcción del diseño factorial 2k etapa 2.....	48
3.3.3.1. Construcción de la matriz de diseño.....	49
3.4. Equipos, materiales y reactivos necesarios.....	49
3.4.1. Equipos.....	49
3.4.2. Materiales de laboratorio.....	50
3.4.3. Reactivos empleados.....	51
3.5. Descripción del proceso de obtención de pectina a partir de cáscara de mandarina.....	51
3.5.1. Diagrama de bloques.....	51
3.5.2. Descripción del diagrama de bloques para la obtención de pectina a partir de cáscara de mandarina.....	53
3.5.2.1. Recolección:.....	53
3.5.2.2. Selección y lavado:.....	53
3.5.2.3. Separación:.....	54
3.5.2.4. Cortado y pesado:.....	55

3.5.2.5. Inactivación de enzimas pécticas:.....	55
3.5.2.6. Hidrolisis ácida:.....	56
3.5.2.7. Filtración:.....	57
3.5.2.8. Precipitación:.....	59
3.5.2.9. Centrifugación:.....	59
3.5.2.10. Secado:.....	61
3.5.2.11. Molienda:.....	63
3.5.2.12. Tamizado:.....	64
3.5.2.13. Almacenado:.....	65
3.6. Caracterización físico-química de la pectina obtenida a partir de cáscara de mandarina.....	66
3.6.1. Determinación de peso equivalente y acidez libre.....	66
3.6.2. Determinación de porcentaje de metoxilo, grado de esterificación y porcentaje de ácido galacturónico anhidro.....	66
3.6.3. Grado de gelificación.....	67

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Presentación de los resultados de la caracterización de la cáscara de mandarina.....	69
4.2. Presentación de los resultados de producto extraído.....	69
4.2.1. Resultados del rendimiento del proceso.....	69
4.2.2. Presentación de los resultados de la caracterización fisicoquímica de la pectina extraída.....	72
4.2.2.1. Resultados de análisis físico-químicos de la pectina obtenida.....	72

4.2.2.2. Resultados de acidez libre y peso equivalente.....	73
4.2.2.3. Resultados del porcentaje de metoxilo, grado de esterificación y ácido anhídrido galacturónico.....	74
4.2.2.4. Resultados de grado de gelificación.....	76
4.2.3. Presentación de los resultados de la caracterización microbiológica de la pectina extraída.....	77
4.3. Comparación entre la pectina obtenida a partir de cáscara de mandarina y la pectina estándar.....	77
4.4. Balance de materia y energía para el proceso de obtención de pectina a partir de cáscara de mandarina.....	80
4.4.1. Balance de materia.....	80
4.4.2. Desglosamiento del balance de materia en sus distintas etapas.....	83
4.4.2.1. Etapa 1: Selección y lavado de la cáscara de mandarina.....	83
4.4.2.2. Etapa 2: Separación del albedo.....	83
4.4.2.3. Etapa 3: Cortado, pesado del albedo.....	84
4.4.2.4. Etapa 4: Inactivación enzimática.....	84
4.4.2.5. Etapa 5: Hidrólisis ácida del albedo.....	85
4.4.2.6. Etapa 6: Filtración de la solución hidrolizada.....	85
4.4.2.7. Etapa 7: Precipitación de la pectina.....	86
4.4.2.8. Etapa 8: Centrifugación y lavado de la pectina.....	87
4.4.2.9. Etapa 9: Secado de la pectina.....	87
4.4.2.10. Etapa 10: Molienda de la pectina.....	88
4.4.2.11. Etapa 11: Tamizado de la pectina.....	88
4.4.3. Balance de energía.....	89

4.4.3.1. Inactivación enzimática.....	90
4.4.3.2. Hidrólisis ácida.....	93
4.4.3.3. Filtración.....	95
4.4.3.4. Etapa de secado.....	96
4.4.4. Rendimiento del proceso productivo.....	97
4.5. Resultados estadísticos del diseño factorial.....	98
4.5.1. Análisis de varianza univariante.....	98
4.5.1.1. Pruebas de los efectos inter sujetos.....	98
4.6. Determinación del costo del proyecto de investigación aplicada.....	100

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.....	103
5.2. Recomendaciones.....	104

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía.....	105
-------------------	-----

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla II 1 Composición de la mandarina.....	8
Tabla II 2 Producción mundial de mandarina (2017 - 2021).....	12
Tabla II 3 Producción nacional de mandarina (2017 - 2021).....	12
Tabla II 4 Producción de mandarina en el departamento de Tarija (2011 - 2021).....	13
Tabla II 5 Producción mundial de cáscara de mandarina (2017 - 2021).....	17
Tabla II 6 Producción Nacional de cáscara de mandarina (2017 - 2021).....	17
Tabla II 7 Producción de cáscara de mandarina en el departamento de Tarija (2011 - 2021).....	18
Tabla II 8 Porcentaje de pectina en frutos.....	19
Tabla II 9 Caracterización de pectina estándar.....	31
Tabla III 1 Propiedades físicas de la cáscara de mandarina.....	42
Tabla III 2 Propiedades fisicoquímicas de la cáscara de mandarina.....	44
Tabla III 3 Datos de pérdida de peso de la pectina en función del tiempo de secado.....	61
Tabla IV 1 Análisis físico-químico de la cáscara de mandarina.....	69
Tabla IV 2 Resultados de rendimiento de la pectina obtenida etapa 1- Hidrolisis Acida.....	70
Tabla IV 3 Resultados de rendimiento de la pectina obtenida etapa 2- Precipitación.....	71
Tabla IV 4 Análisis fisicoquímico de la pectina obtenida.....	73
Tabla IV 5 Resultados del análisis de acidez libre y peso equivalente.....	73
Tabla IV 6 Tabla comparativa de la pectina extraída con otros autores.....	74
Tabla IV 7 Resultados del análisis de porcentaje de metoxilo, grado de esterificación y ácido anhídrido galacturónico.....	75

Tabla IV 8	Tabla comparativa de la pectina extraída con otros autores.....	76
Tabla IV 9	Resultados del análisis de grado de gelificación y viscosidad de la pectina extraída.....	76
Tabla IV 10	Análisis microbiológico de la pectina obtenida.....	77
Tabla IV 11	Comparación entre la pectina de cáscara de mandarina y la pectina cítrica.....	78
Tabla IV 12	Especificaciones de las corrientes másicas del balance de materia de la extracción de pectina a partir de la cáscara de mandarina.....	81
Tabla IV 13	Datos obtenidos del proceso de obtención de pectina.....	89
Tabla IV 14	Datos inactivación enzimática.....	90
Tabla IV 15	Datos de hidrólisis.....	93
Tabla IV 16	Tabla comparativa del rendimiento de la pectina extraída con otros autores.....	97
Tabla IV 17	Factores inter sujetos.....	98
Tabla IV 18	Análisis de varianza (ANOVA) variable respuesta rendimiento.....	99
Tabla IV 19	Resumen del modelo variable respuesta rendimiento.....	100
Tabla IV 20	Costo de reactivos.....	100
Tabla IV 21	Costos de análisis fisicoquímico de la materia prima y el producto....	101
Tabla IV 22	Costos de servicios y materiales directos e indirectos.....	102
Tabla IV 23	Costos totales.....	102

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura II 1 Planta de Mandarina.....	6
Figura II 2 Hojas del árbol de mandarina.....	6
Figura II 3 Flores del árbol de Mandarina.....	7
Figura II 4 Fruto de la Mandarina.....	7
Figura II 5 Sección transversal de la Mandarina.....	14
Figura II 6 Estructura de la pared celular de los tejidos vegetales.....	19
Figura II 7 Estructura de la pectina.....	20
Figura II 8 Clasificación de la pectina.....	22
Figura II 9 Pectinas con alto grado de metoxilo.....	23
Figura II 10 Pectinas con bajo grado de metoxilo.....	23
Figura IV 1 Selección y lavado de la cáscara de mandarina.....	83
Figura IV 2 Separación del albedo de la cascara de mandarina.....	83
Figura IV 3 Cortado del albedo.....	84
Figura IV 4 Inactivación de enzimas pecticas.....	84
Figura IV 5 Hidrólisis ácida.....	85
Figura IV 6 Filtración de la solución hidrolizada.....	85
Figura IV 7 Precipitación de pectina.....	86
Figura IV 8 Centrifugación y lavado.....	87
Figura IV 9 Secado de la pectina.....	87
Figura IV 10 Molienda de la pectina.....	88
Figura IV 11 Tamizado de la pectina.....	88

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro II 1 Taxonomía de la mandarina.....	5
Cuadro II 2 Mandarinas producidas en el departamento de Tarija.....	11
Cuadro II 3 Análisis microbiológico de la pectina.....	28
Cuadro III 1 Propiedades organolépticas de la cáscara de mandarina.....	43
Cuadro III 2 Selección de las variables independientes del proceso.....	45
Cuadro III 3 Selección de la variable dependiente del proceso.....	46
Cuadro III 4 Matriz de Diseño 1.....	48
Cuadro III 5 Matriz de Diseño 2.....	49
Cuadro III 6 Descripción de materiales utilizados.....	50

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

	Página
Diagrama II 1 Proceso de extracción por Hidrólisis Ácida asistida por Microondas..	38
Diagrama II 2 Proceso de extracción por Hidrólisis Ácida Convencional.....	39
Diagrama III 1 Diagrama de bloques para la obtención de pectina a partir de cáscara de mandarina	52

ÍNDICE DE GRAFICAS

	Página
Gráfica III 1 Curva de secado de la pectina (50° C).....	62
Gráfica III 2 Curva de secado humedad vs tiempo.....	63
Gráfica IV 1 Rendimiento vs pH.....	71
Gráfica IV 2 Rendimiento vs concentración.....	72

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Página
Fotografía III 1 Recolección de cáscara de mandarina.....	53
Fotografía III 2 Selección de la cáscara de mandarina.....	54
Fotografía III 3 Flavedo.....	54
Fotografía III 4 Albedo.....	54
Fotografía III 5 Cortado y pesado del albedo.....	55
Fotografía III 6 Inactivación de las enzimas pecticas del albedo.....	56
Fotografía III 7 Hidrolisis ácida.....	57
Fotografía III 8 Sistema de filtrado al vacío de la solución hidrolizada.....	58
Fotografía III 9 Solución hidrolizada antes y después del filtrado.....	58
Fotografía III 10 Precipitación de pectina con etanol.....	59
Fotografía III 11 Separación de la pectina húmeda mediante centrifugación.....	60
Fotografía III 12 Pectina húmeda.....	60
Fotografía III 13 Secado de la pectina.....	61
Fotografía III 14 Molienda de la pectina.....	64
Fotografía III 15 Molienda de la pectina.....	64
Fotografía III 16 Envasado de la pectina.....	65
Fotografía III 17 Determinación del peso equivalente y acidez libre.....	66
Fotografía III 18 Determinación de porcentaje de metoxilo, grado de esterificación y porcentaje de ácido galacturónico anhidro.....	67
Fotografía III 19 Ensayos de gelificación.....	67
Fotografía III 20 Medición de la viscosidad de los geles de pectina.....	68