

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA



OBTENCIÓN DE PECTINA CÍTRICA EN POLVO A PARTIR DE
CÁSCARA DE NARANJA

Por:

DANIELA ANDREA QUIROZ PORTUGAL

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.

Junio de 2025

TARIJA-BOLIVIA

ADVERTENCIA

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 está dedicado a mis padres, Carlos y Elsa, pues sin su apoyo, paciencia y confianza genuina no hubiera podido lograr mis objetivos. A Felipe y Carolina, mis hijos, quienes me impulsan a superarme y sacar lo mejor de mí, para demostrarles que todo es posible si uno así lo decide, los amo con todo mi corazón.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento primeramente con Dios, por siempre ser mi fortaleza y mi fuente constante de energía y siempre retarme a demostrarme que puedo conseguir lo que quiero si me lo propongo. Agradecer a mis docentes y guías a lo largo del desarrollo del presente trabajo, al Ing. José Ernesto Auad, por la paciencia y buena disposición siempre y una mención especial al Ing. Jorge Tejerina Oller (+), quien además de ser un gran docente ha sido un gran ser humano y amigo.

A mi esposo, Miguel por su apoyo y amor incondicionales, pues ha sido un gran compañero y motivador no solo en el desarrollo del presente proyecto, sino en los proyectos personales y de vida que tenemos

ÍNDICE DE MATERIAS

	Página
Advertencia	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Resumen	iv

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1	ANTECEDENTES	1
1.2	OBJETIVOS	6
1.3	JUSTIFICACIÓN	7

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1.	GENERALIDADES DE LA NARANJA	10
2.1.1.	HISTORIA Y ORIGEN DE LA NARANJA	10
2.1.2.	CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA NARANJA	11
2.1.2.1.	TAMAÑO Y PESO	11
2.1.2.2.	FORMA	12
2.1.2.3	COLOR	12
2.1.2.4	SABOR	12
2.2.	TAXONOMÍA Y MORFOLOGÍA DE LA NARANJA	12
2.2.1.	DESCRIPCIÓN TAXONÓMICA	12
2.2.2.	DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA	13
2.2.2.1.	ÁRBOL	13
2.2.2.2.	RAÍZ	13
2.2.2.3.	HOJAS	14
2.2.2.4.	FLORES	15
2.2.2.5.	FRUTO	15
2.2.2.5.1.	EPICARPIO Y FLAVEDO	16

2.2.2.5.2.	MESOCARPIO O ALBEDO	16
2.2.2.5.3.	ENDOCARPIO O PULPA	17
2.2.2.5.4.	SEMILLAS	17
2.3.	VARIEDADES DE NARANJA	17
2.3.1.	CLASIFICACIÓN GENERAL	17
2.3.1.1.	DULCES	17
2.3.1.1.1.	NARANJA NAVEL O DE OMBLIGO	17
2.3.1.1.2.	NARANJAS BLANCAS COMUNES	18
2.3.1.1.2.1.	VALENCIA	18
2.3.1.1.2.2.	SALUSTIANA	19
2.3.1.1.2.3.	NARANJAS DE JAFFA	20
2.3.1.1.3.	NARANJAS PIGMENTADAS O SANGUÍNEAS	21
2.3.1.2.1.	NARANJAS AMARGAS	21
2.3.1.2.	QUINOTO	22
2.4.	USOS DE LA NARANJA EN LA INDUSTRIA	23
2.4.1.	PULPA	23
2.4.2.	PIEL	24
2.4.3.	SEMILLAS	25
2.4.4.	FLORES Y FOLLAJE	26
2.4.5.	MADERA	27
2.4.6.	USOS MEDICINALES	27
2.5.	PRODUCCIÓN DE CÍTRICOS EN BOLIVIA	28
2.6.	PECTINA	30
2.6.1.	ESTRUCTURA QUÍMICA	32
2.6.2.	CLASIFICACIÓN DE LAS SUSTANCIAS PÉCTICAS	33
2.6.2.1.	PROTOPECTINA	34
2.6.2.2.	PECTINA	34
2.6.2.3.	ÁCIDOS PECTÍNICOS	35
2.6.2.4.	ÁCIDOS PÉCTICOS	35
2.6.2.5.	ENZIMAS PÉCTICAS	35

2.6.2.5.1.	PECTIN METIL ESTERASA (PME) O PECTASA	35
2.6.2.5.2.	POLIGALACTURONASA (PG, PMG)	36
2.6.3.	CLASIFICACIÓN DE PECTINAS	36
2.6.3.1.	PECTINAS DE ALTO METOXILO (HM)	36
2.6.3.1.1.	PECTINAS HM DE GELIFICACIÓN RÁPIDA (RAPIDSET)	37
2.6.3.1.2.	PECTINAS HM DE GELIFICACIÓN LENTA (SLOWSET)	37
2.6.3.2.	PECTINAS DE BAJO METOXILO	37
2.6.3.2.1.	PECTINA RÁPIDA	38
2.6.3.2.2.	PECTINA MEDIA	38
2.6.3.2.3.	PECTINA LENTA	38
2.6.3.3.	PECTINAS DE BAJO METOXILO AMIDADA (LMA)	38
2.7.	PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LA PECTINA	38
2.7.1.	SOLUBILIDAD	38
2.7.2.	VISCOSIDAD	39
2.7.3.	PODER DE GELIFICACIÓN EN GELES DE PECTINA	39
2.7.4.	LONGITUD DE LAS CADENAS	40
2.7.5.	PESO MOLECULAR	40
2.7.6.	ACCIÓN DE LOS ÁCIDOS	40
2.7.7.	ACCIÓN DE LAS ENZIMAS	40
2.8.	USOS DE LA PECTINA EN LA INDUSTRIA	41
2.8.1.	INDUSTRIA ALIMENTICIA	41
2.8.2.	INDUSTRIA FARMACÉUTICA	42
2.9.	CONSUMO DE PECTINA EN BOLIVIA	45
2.10.	MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE PECTINAS	47
2.10.1.	EXTRACCIÓN DE PECTINAS POR MÉTODOS FISICOQUÍMICOS	48
2.10.2.	EXTRACCIÓN DE PECTINAS POR MÉTODOS ENZIMÁTICOS	48

2.10.3.	EXTRACCIÓN DE PECTINAS POR EL MÉTODO CONVENCIONAL	48
2.11.	PROCESO DE OBTENCIÓN DE PECTINAS	49
2.12.	ESTUDIOS REALIZADOS EN EL CAMPO DE LA EXTRACCIÓN DE PECTINAS	50
2.13.	METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE LA PECTINA	52
2.13.1.	DETERMINACIÓN DEL PESO EQUIVALENTE (PE) Y ACIDEZ LIBRE (AL)	52
2.13.2.	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE GRUPOS METOXILO	53
2.13.3.	DETERMINACIÓN DEL GRADO DE ESTERIFICACIÓN	54
2.13.4.	DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE ÁCIDO ANHÍDRIDO GALACTURÓNICO (AAG)	55
2.13.5.	GRADO DE GELIFICACIÓN	55

CAPÍTULO III

PARTE EXPERIMENTAL

3.1.	INTRODUCCIÓN	56
3.2.	DISEÑO FACTORIAL	56
3.2.1.	DISEÑO FACTORIAL PARA LA OBTENCIÓN DE PECTINA CÍTRICA EN POLVO A PARTIR DE CÁSCARA DE NARANJA	57
3.3.	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE PECTINA CÍTRICA EN POLVO A PARTIR DE CÁSCARA DE NARANJA	58
3.3.1.	RECOLECCIÓN Y SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA	60

3.3.2.	PESADO	61
3.3.3.	DESPULPADO	62
3.3.4.	CORTADO	62
3.3.5.	LAVADO	63
3.3.6.	INACTIVACIÓN ENZIMÁTICA	63
3.3.7.	HIDRÓLISIS ÁCIDA	64
3.3.8.	FILTRACIÓN I	65
3.3.9.	PRECIPITACIÓN	65
3.3.10.	FILTRACIÓN II	66
3.3.11.	SECADO	67
3.3.12.	MOLIENDA	69
3.3.13.	TAMIZADO	69
3.3.14.	ENVASADO	70
3.4.	CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA PECTINA CÍTRICA OBTENIDA A PARTIR DE CÁSCARAS DE NARANJA	70
3.4.1.	DETERMINACIÓN DEL PESO EQUIVALENTE Y ACIDEZ LIBRE	70
3.4.2.	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE GRUPOS METOXILO, GRADO DE ESTERIFICACIÓN Y PORCENTAJE DE ÁCIDO ANHÍDRIDO GALACTURÓNICO (AAG)	71
3.4.3.	GRADO DE GELIFICACIÓN	72
3.5.	MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS EMPLEADOS EN EL PROCESO	73
3.5.1.	MATERIALES DE LABORATORIO	73
3.5.2.	EQUIPOS	74
3.5.3.	REACTIVOS	74
3.5.3.1.	ÁCIDO CÍTRICO (ANHÍDRIDO)	74
3.5.3.2.	ALCOHOL ETÍLICO AL 96%	74

3.5.3.3.	HIDRÓXIDO DE SODIO 0,1N y 0,25N	74
3.5.3.4.	ÁCIDO CLORHÍDRICO 0,25N	75
3.5.3.5.	ROJO DE FENOL	75

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA	76
4.2.	CARACTERÍSTICAS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS	76
4.2.1.	ANÁLISIS DEL DISEÑO FACTORIAL	78
4.2.2.	INFLUENCIA DEL pH TEMPERATURA Y TIEMPO EN EL RENDIMIENTO DE OBTENCIÓN	79
4.2.3.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS	81
4.2.4.	CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE LA PECTINA OBTENIDA	87
4.2.4.1.	DETERMINACIÓN DEL PESO EQUIVALENTE Y ACIDEZ LIBRE	87
4.2.4.2.	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE GRUPOS METOXILO, GRADO DE ESTERIFICACIÓN Y PORCENTAJE DE ÁCIDO ANHÍDRIDO GALACTURÓNICO (AAG)	89
4.2.4.3.	GRADO DE GELIFICACIÓN	91
4.2.5.	COMPARACIÓN DE PECTINA INDUSTRIAL Y LA PECTINA CÍTRICA OBTENIDA A PARTIR DE CÁSCARAS DE NARANJA	92
4.3.	BALANCE DE MATERIA PARA LA OBTENCIÓN DE PECTINA CÍTRICA A PARTIR DE CÁSCARA DE NARANJA	93
4.3.1.	RECOLECCIÓN DE CÁSCARA DE NARANJA	93

4.3.2.	DESPULPADO	93
4.3.3.	CORTADO	94
4.3.4.	LAVADO	94
4.3.5.	INACTIVACIÓN ENZIMÁTICA	95
4.3.6.	HIDRÓLISIS ÁCIDA	97
4.3.7.	FILTRACIÓN I	98
4.3.8.	PRECIPITACIÓN	99
4.3.9.	FILTRACIÓN II	100
4.3.10.	SECADO	101
4.3.11.	MOLIENDA	102
4.3.12.	TAMIZADO	103
4.3.13.	ENVASADO	103
4.4.	BALANCE DE ENERGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE PECTINA CÍTRICA A PARTIR DE CÁSCARA DE NARANJA	107
4.4.1.	HIDRÓLISIS ÁCIDA	107
4.4.2.	SECADO	108
4.5.	DETERMINACIÓN DE COSTOS DE PRODUCCIÓN A ESCALA LABORATORIO	109

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.	CONCLUSIONES	112
5.2.	RECOMENDACIONES	113
	BIBLIOGRAFÍA	115
	ANEXOS	124

ÍNDICE DE CUADROS O TABLAS

	Página
TABLA I-1. Rendimiento de pectina	2
TABLA I-2. Importaciones Nacionales de Materias Pécticas (2018 – 2020)	2
TABLA I-3. Valores de la Importación Nacional de Materias Pécticas (2018-2020) en miles de dólares americanos	3
TABLA I-4. Variedades de cítricos comercializados en Tarija	5
TABLA I-5. Producción de cítricos en Tarija ENA 2015	7
TABLA I-6. Porcentaje del destino de la producción de cítricos Tarija ENA 2015	8
TABLA II-1. Descripción taxonómica del naranjo	12
TABLA II-2. Producción de naranja por departamentos (2015- 2016)	28
TABLA II-3. Porcentaje total de pectina en partes de cítricos frescos por tamaños	31
TABLA II-4. Principales aplicaciones de la pectina de alto y bajo metoxilo	44
TABLA II-5. Fragmento estructura porcentual del sector industrial en Bolivia	45
TABLA II-6. Detalle de Importación de Sustancias Pécticas, septiembre 2017	47
TABLA III-1. Diseño de experimentos tipo 2k	57
TABLA III-2. Tabla del Diseño Factorial para la obtención de pectina cítrica.	58
TABLA III-3. Datos de secado de pectina a temperatura constante hasta peso constante	68
TABLA III-4. Detalle del material empleado en Laboratorio	73
TABLA IV-1. Análisis Fisicoquímicos del albedo de cáscara de naranja	76

TABLA IV-2.	Rendimiento de obtención de pectina	77
TABLA IV-3.	Efecto de las variables independientes en la variable respuesta	79
TABLA IV-4.	Análisis de Varianza y su efecto en el rendimiento para una significancia del 5%	80
TABLA IV-5.	Coeficientes para el modelo matemático	81
TABLA IV-6.	Coeficientes de las nuevas condiciones para el modelo matemático	82
TABLA IV-7.	Comparación del rendimiento observado y el rendimiento esperado con el modelo.	83
TABLA IV-8.	Referencias de obtención de pectinas a partir de diferentes materias primas	86
TABLA IV-9.	Análisis fisicoquímico y microbiológico de la pectina cítrica obtenida	87
TABLA IV-10.	Determinación Acidez libre y Peso equivalente	88
TABLA IV-11.	Determinación de grupos metoxilo, esterificación y ácido anhidro galacturónico	89
TABLA IV-12.	Determinación del grado de Gelificación (°SAG)	91
TABLA IV-13.	Comparación pectina comercial y pectina obtenida experimentalmente.	92
TABLA IV-14.	Tabla resumen de corrientes másicas para el acondicionamiento de la materia prima.	105
TABLA IV-15.	Tabla resumen de corrientes másicas para la extracción de pectina	106
TABLA IV-16.	Costo de materia prima e insumos	109
TABLA IV-17.	Requerimiento energético para la extracción de pectina	110
TABLA IV-18.	Costos de investigación del proyecto	111

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1-1. Producción de cítricos en Bolivia INE 2013	4
FIGURA 2-1. Características físicas de la naranja	11
FIGURA 2-2. Características físicas de la naranja	13
FIGURA 2-3. Morfología de la raíz del árbol de naranjo	14
FIGURA 2-4. Morfología de las hojas del árbol de naranja	14
FIGURA 2-5. Morfología de las flores del árbol de naranja	15
FIGURA 2-6. Morfología del fruto	16
FIGURA 2-7. Naranja Navel o de ombligo	18
FIGURA 2-8. Naranja Valencia	19
FIGURA 2-9. Naranja Salustiana	20
FIGURA 2-10. Naranja de Jaffa o Shamouti	20
FIGURA 2-11. Naranja Pigmentada o Sanguina	21
FIGURA 2-12. Naranja amarga	22
FIGURA 2-13. Variedad híbrida quinoto	23
FIGURA 2-14. Usos de la pulpa de naranja en la industria	24
FIGURA 2-15. Aplicaciones de la piel de la naranja	25
FIGURA 2-16. Aplicaciones de las semillas de naranja	25
FIGURA 2-17. Aplicaciones de las flores y forraje de naranja	26
FIGURA 2-18. Aplicaciones del polen de la flor de naranjo	26
FIGURA 2-19. Aplicaciones la madera del árbol de naranjo	27
FIGURA 2-20. Usos medicinales de la naranja	28
FIGURA 2-21. Producción de naranja en Tarija por municipios	30
FIGURA 2-22. Pectina presente en la pared celular de los tejidos vegetales	30
FIGURA 2-23. Estructura básica de la pectina	32
FIGURA 2-24. Estructura de la molécula de pectina	33
FIGURA 2-25. Estructura hipotética de la Protopectina	34
FIGURA 2-26. Degradación Enzimática de la pectina	36

FIGURA 2-27.	Estructura de la pectina de alto metoxilo	36
FIGURA 2-28.	Estructura de la pectina de bajo metoxilo	37
FIGURA 2-29.	Estructura de la pectina de Bajo Metoxilo Amidada	38
FIGURA 2-30.	Origen de importaciones de sustancias pécticas	46
FIGURA 2-31.	Proceso de extracción de pectina cítrica	50
FIGURA 2-32.	Reacción de molécula Ácido D-Galacturónico con NaOH	53
FIGURA 2-33.	Mecanismo de Saponificación del Ácido D-Galacturónico	54
FIGURA 3-1.	Proceso de obtención de pectina cítrica en polvo a partir de cáscara de naranja	59
FIGURA 3-2.	Recolección de cáscara de naranja	60
FIGURA 3-3.	Cáscara dañada	60
FIGURA 3-4.	Pesaje de la cáscara recolectada	61
FIGURA 3-5.	Pesaje del albedo acondicionado para la extracción	61
FIGURA 3-6.	Despulpado del albedo de naranja	62
FIGURA 3-7.	Cortado del albedo	62
FIGURA 3-8.	Lavado del albedo de naranja	63
FIGURA 3-9.	Inactivación enzimática del albedo de naranja	63
FIGURA 3-10.	Hidrólisis ácida	64
FIGURA 3-11.	Filtración de la solución hidrolizada	65
FIGURA 3-12.	Precipitación de la pectina con etanol	66
FIGURA 3-13.	Formación de la solución bifásica luego de las 12hrs de reposo	66
FIGURA 3-14.	Filtración de la pectina gelificada	67
FIGURA 3-15.	Secado de la pectina	67
FIGURA 3-16.	Curva de Secado de pectina gelificada	68
FIGURA 3-17.	Molienda de la pectina	69
FIGURA 3-18.	Tamizado de pectina	69
FIGURA 3-19.	Envasado de pectina	70

	71
FIGURA 3-20.	Determinación del Peso equivalente y Acidez Libre
FIGURA 3-21.	Determinación del contenido de Grupos Metoxilo
FIGURA 4-1.	Variable rendimiento vs. pH
FIGURA 4-2.	Rendimiento Observado vs. Rendimiento Modelo
FIGURA 4-3.	Proceso de Despulpado
FIGURA 4-4.	Proceso de Cortado
FIGURA 4-5.	Proceso de Lavado
FIGURA 4-6.	Proceso de Inactivación Enzimática
FIGURA 4-7.	Proceso de Hidrólisis
FIGURA 4-8.	Proceso de Filtración I
FIGURA 4-9.	Proceso de Precipitación
FIGURA 4-10.	Proceso de Filtración II
FIGURA 4-11.	Proceso de Secado
FIGURA 4-12.	Proceso de Molienda
FIGURA 4-13.	Proceso de Tamizado
FIGURA 4-14.	Proceso de Envasado

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1	DETALLE DE EQUIPOS EMPLEADOS DURANTE LA EXPERIMENTACIÓN
ANEXO 2	DEFINICIÓN DE ADITIVO ALIMENTARIO (CODEX STAN 192-1995)
ANEXO 3	IDENTIFICACION DE PECTINAS SEGÚN EL CODEX STAN 192-1995
ANEXO 4	CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DEL ALBEDO DE NARANJA
ANEXO 5	CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE LA PECTINA OBTENIDA
ANEXO 6	FICHA TÉCNICA DE PECTINA COMERCIAL MARCA KELCO MÉDIUM SET
ANEXO 7	FICHA TÉCNICA DE PECTINA COMERCIAL MARCA KELCO LOW

SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

AL	Acidez libre
AAG	Ácido Anhidro Galacturónico
CDTA	Ácido Ciclo hexanodiamino tetracético
$C_6H_8O_7$	Ácido cítrico
AG	Ácido D- Galacturónico
EDTA	Ácido etilendiamino tetraacético
ANOVA	Análisis de varianza
Ca	Calcio
λ	Calor de vaporización del agua
Q	Calor requerido
Cp	Capacidad calorífica
CCI	Centro de Comercio Internacional
ρ	Densidad (g/l)
D	Dextrógiro
ENA	Encuesta Nacional Agropecuaria
-COOCH ₃	Éster metílico
C ₂ H ₅ OH	Etanol
GE	Grado de esterificación
SAG	Grado de gelificación a condiciones de °Brix y pH controlados
GM	Grado de metoxilación
-COOH	Grupo metoxilo
Ha	Hectáreas
HM	High Metoxil/Alto Metoxilo
h	hora
INE	Instituto Nacional de Estadística
kW	Kilowatio
LOU	Laboratorio de Operaciones Unitarias

L	Levógiro
LMA	Low Metoxil Amidated/ Bajo Metoxilo Amidada
LM	Low Metoxil/Bajo Metoxilo
m	masa
MPa	Mega Pascal
meqq	miliequivalente químico
PME	pectinmetilesterasa
PE	Peso equivalente
PG	poligalacturonasa
% p/p	Porcentaje peso/ peso
$C_{12}H_{22}O_{11}$	Sacarosa
ASTM	Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales
T	Temperatura
t	tiempo
Ton	Toneladas