

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

PROYECTO DE GRADO



**OBTENCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE LA CÁSCARA DE
NARANJA (CITRUS SINENSIS) RECOLECTADA EN LA
PROVINCIA CERCADO (DEPARTAMENTO DE TARIJA)
MEDIANTE HIDROLISIS ÁCIDA.**

Por:

JUAN ENRIQUE BURGOS QUIROGA

**Modalidad de graduación Investigación Aplicada, presentando a consideración
de la “UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como
requisito para optar el grado académico de Licenciatura de Ingeniería Química.**

Diciembre 2024

TARIJA-BOLIVIA

DEDICATORIA

A mi madre Alicia quien a sido mi guía en esta travesía mi refugio y mi mayor fuente de fortaleza gracias por tu amor incondicional, tus sacrificios, tu fe en mí, tus palabras de aliento y tu dedicación han sido mi mayor motivación para alcanzar este logro

A mi padre que a sido mi mayor ejemplo de esfuerzo y perseverancia, gracias por inculcarme el valor de trabajo duro, por tus consejos llenos de experiencia que han sido un motor esencial para llegar hasta aquí, este logro es un reflejo de los valores que me infundiste a lo largo de mi vida, este trabajo esta dedicado a ti con todo mi amor y gratitud

A mis hermanos Roció, Boris, Dimelza, Jorgito quienes forman una parte fundamental de mi camino, los cuales han sido una fuente de apoyo, inspiración y alegría a lo largo de mi vida

A mis sobrinos Carlitos, Renata, Evian y Abi quienes con su energía y amor que me recuerdan lo hermoso de ser niño y llenan mi vida de alegría con sus travesuras

A Carla Fabiana Cuevas Vocal, por su gran apoyo incondicional, por ser un gran pilar y el motivo para seguir creciendo, por acompañarme en los mejor y sobre todo en los peores momentos de esta etapa, por fortalecerme con todo su amor, cariño y comprensión.

ÍNDICE

Advertencia.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Pensamiento.....	iv

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes	1
1.2 Objetivos	6
1.2.1 Objetivo general.....	6
1.3 Justificación.....	6
1.3.1 Justificación Técnica.....	6
1.3.2 Justificación Económica.....	7
1.3.3 Justificación Social.....	7
1.3.4 Justificación Ambiental.....	7
1.3.5 Justificación Personal.....	8

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1 Pectina.....	10
2.1.1 Localización y estructuras de las pectinas	11
2.1.2 Clasificación de las sustancias pécticas	12

2.1.3 Clasificación de las pectinas	13
2.1.3.1 Grado de esterificación (GE)	13
2.2 Caracterización del producto.....	17
2.3 Propiedades Fisicoquímicas De La Pectina	18
2.4 Proceso de extracción de la pectina	21
2.4.7 Determinación del grado de esterificación (GE).....	25
2.5 Generalidades De La Naranja	26
2.5.1 Descripción y clasificación botánica de planta y fruto de la variedad.	26
2.5.2 Producción de naranja en el mundo	28
2.5.3 Producción de naranja nacional	30
2.5.4 Producción de cítricos en macrorregiones	30
2.5.5 Comercio internacional de cítricos.....	31
2.5.6 Producción de naranja Departamental	32
2.5.7 Caracterización de cascara de naranja.....	34

CAPÍTULO III

PARTE EXPERIMENTAL

3.1 Introducción	36
3.2 Metodología del estudio.....	37
3.2.1 Metodología cuantitativa.....	37
3.2.2 Metodología experimental	37
3.3 Selección del proceso a utilizar.....	37
3.4 Selección de variables para el proceso experimental.....	40
3.4.1 Variables Dependientes.....	40
3.4.2 Variables Dependientes.....	41

3.5 Diseño Experimental.....	41
3.6 Modelo del diseño factorial.....	41
3.6.1.1 Suma de los Cuadrados (SC).....	44
3.6.1.2 Grados de Libertad (GL).....	44
3.6.2.3 Valor F	45
3.6.1.4 Valor P	46
3.6.2 Coeficiente de correlación y determinación múltiple	46
3.6.3 Codificación.....	47
3.6.4. Coeficientes del modelo.....	48
3.6.5. Diseño del modelo.....	48
3.6.6. Usando las sumas de cuadrados	49
3.7 Matriz de diseño.....	49
3.7.1 Matriz de experimentos para el diseño factorial completo 2³	51
3.8 Equipos, materiales y reactivos necesarios para el proceso.....	52
3.8.1 Equipo a utilizar	52
3.8.2 Materiales.....	52
3.8.3. Reactivos empleados.....	53
3.9. Descripción del proceso experimental seleccionado.....	54
3.10 Preparación de reactivos	57
3.11 Descripción de la materia prima	59
3.12 Descripción y caracterización fisicoquímica de la pectina extraída	67
3.12.2 Det. de metoxilo, esterificación y ácido anhídrido galacturónico.....	68

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Presentación de los resultados de producto extraído.....	70
4.1.1 Resultados de rendimiento del proceso.....	70
4.2.2 Resultados de análisis fisicoquímicos.....	72
4.2.3 Resultados de acidez libre y peso equivalente	73
4.2.4 Resultados del porcentaje de metoxilo, esterificación y galacturónico	74
4.4 Balance de materia para el proceso de extracción	76
4.4.1 Etapa de lavado	78
4.4.2 Etapa de pelado	79
4.4.3 Etapa de inactivación enzimática	80
4.4.4 Etapa de hidrolisis acida.....	82
4.4.5 Etapa de primera filtración.....	85
4.4.6 Etapa de precipitación	87
4.4.7 Etapa de segunda filtración	88
4.4.8 Etapa de lavado	89
4.4.9 Etapa de secado	90
4.4.10 Etapa de molienda	91
4.4.11 Etapa de tamizado	92
4.4.12. Resumen del balance de materia del proceso.....	93
4.5 Balance de energía para el proceso de extracción.....	96
4.5.1. Etapa de inactivación enzimática	97
4.5.2 Etapa de hidrólisis acida.....	97
4.5.3 Etapa de primera filtración.....	98

4.5.4 Etapa de segunda filtración	99
4.5.5 Etapa de lavado	99
4.5.6 Etapa de secado	100
3.7 Análisis estadístico.....	102
4.6.1 Influencia de la temperatura, pH y tiempo en el rendimiento de pectina	102
4.6.2 Análisis estadístico de la variable respuesta	103
4.6.3 Análisis de Varianza (ANOVA)	104
4.6.4 Diagrama de Pareto	105
4.6.5 Gráficas Factoriales.....	106
4.7 Evaluación de costos	109
4.7.1 Costo del estudio.....	109
4.7.2 Costo de producción.....	110

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Conclusiones	112
5.2 Recomendaciones.....	112
Bibliografía	114
ANEXOS.....	117

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro I-1 Tamaño del Mercado de Pectina.....	4
Cuadro II-1 Porcentaje de pectina en frutos.....	11
Cuadro II-2 Relación entre grado de esterificación y contenido de metoxilos	13
Cuadro II-3 Tipos de pectinas	15
Cuadro II-4 Caracterización de pectina estándar	17
Cuadro II-5 Análisis microbiológico de la pectina	20
Cuadro II-6 Clasificación botánica del Citrus sinensis	28
Cuadro II-7 Producción mundial de naranja	29
Cuadro II-8 Producción Departamental de Cítricos Gestión 2015	32
Cuadro II-9 Tarija: distribución de la producción agrícola 2014 – 2015.....	33
Cuadro II-10 Variedades de cítricos	34
Cuadro II-11 Composición físico-química de la cascara de naranja.....	35
Cuadro III-1 Escala de calificación.....	38
Cuadro III-2 Factores a ponderar para la elección del proceso a utilizar.....	39
Cuadro III-3 Variables independientes	41
Cuadro III-4 Variable dependiente.....	41
Cuadro III-5 ANOVA	43
Cuadro III-6 Modelo de grado de libertad	45
Cuadro III-7 Matriz de diseño en orden estándar.....	50
Cuadro III-8 Codificación de variables.....	50
Cuadro III-9 Matriz de experimentos para la extracción experimental de pectina	51
Cuadro III-10 Codificación el proceso de extracción de pectina	52
Cuadro III-11 Descripción de los materiales requeridos.....	53

Cuadro III-12 Simbología del diagrama de flujo	56
Cuadro IV-1 Resultado de Rendimiento	71
Cuadro IV-2 Parámetros de análisis fisicoquímicos	72
Cuadro IV-3 Resultados de análisis fisicoquímicos.....	72
Cuadro IV-4 Resultado de acidez libre y peso equivalente	73
Cuadro IV-5 Comparación de la pectina extraída con otros autores	73
Cuadro IV-6 Resultados del análisis de porcentaje.....	74
Cuadro IV-7 Comparación de la pectina extraída con otros autores	74
Cuadro IV-8 Comparación de análisis fisicoquímicos de la pectina extraída	75
Cuadro IV-9 Especificaciones de las corrientes másicas del balance de materia	77
Cuadro IV-10 Resumen del balance de materia.....	95
Cuadro IV-11 Datos de Secado.....	101
Cuadro IV-12 Valores del consumo energético del balance de energía	102
Cuadro IV-13 Resumen del diseño factorial variable respuesta rendimiento.....	103
Cuadro IV-14 Diseño factorial variable respuesta rendimiento.....	103
Cuadro IV-15 Resumen del modelo variable respuesta.....	105
Cuadro IV-16 Resultados de la variable respuesta	108
Cuadro IV-17 Detalle del costo de extracción de la pectina	109
Cuadro IV-18 Detalle del costo de análisis fisicoquímicos	109
Cuadro IV-19 Costo Materiales Indirectos	110
Cuadro IV-20 Costos Totales.....	110
Cuadro IV-21 Costo de energía.....	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I-1 Productores de Pectina a nivel mundial	4
Figura II-1 Pectina.....	10
Figura II-2 Estructura química de la pectina.....	11
Figura II-3 Conversión a éster (esterificación de Fisher).....	14
Figura II-4 Pectina de alto metoxilo.....	15
Figura II-5 Pectina de bajo metoxilo.....	16
Figura II-6 Proceso de Extracción de Pectina	21
Figura II-7 Reacción química de ácido D-galacturónico con NaOH.....	23
Figura II-8 Mecanismo de saponificación del ácido D-galacturónico	25
Figura II-9 Planta de naranjo.....	27
Figura II-10 Fruta Naranja	27
Figura II-11 Países con mayor producción de naranja.....	29
Figura II-12 Superficie, producción y rendimiento según cultivo año 2015 -2016....	30
Figura II-13 Producciones según macroregiones.....	31
Figura II-14 Exportación de cítricos (expresado en millones de dólares)	31
Figura II-15 Destino de las exportaciones de cítricos en el año 2016	32
Figura III-1 Gráfica de cubos del diseño factorial 2^3	47
Figura III-2 Diagrama de bloques del proceso de extracción de pectina	54
Figura III-3 Diagrama de flujo del proceso de extracción de pectina cítrica.....	56
Figura III-4 Hidróxido de sodio	57
Figura III-5 Hidróxido de sodio al 0.1N	57
Figura III-6 Hidróxido de sodio al 0,25N	58
Figura III-7 Estandarización del Hidróxido al 0,1N	59

Figura III-8 Lavado de naranja (citrus sinensis)	60
Figura III-9 Separación de albedo.....	60
Figura III-10 Pesado de albedo	61
Figura III-11 Cortado del albedo.....	61
Figura III-12 Inactivación enzimática.....	62
Figura III-13 Hidrólisis Ácida ajustando el pH	62
Figura III-14 Etapa de hidrólisis ácida.....	63
Figura III-15 Filtrado al vacío de la solución hidrolizada.....	63
Figura III-16 Solución hidrolizada filtrada	64
Figura III-17 Precipitación de pectina con etanol.....	64
Figura III-18 Filtrado y lavado de la pectina obtenida.....	65
Figura III-19 Pesado de la pectina húmeda.....	65
Figura III-20 Secado de la pectina	66
Figura III-21 Molienda de la pectina	66
Figura III-22 Tamizado de la pectina.....	67
Figura III-23 Envasado de pectina	67
Figura III-24 Determinación del peso equivalente y acidez libre	68
Figura III-25 Det. de porcentaje de metoxilo, esterificación y porcentaje de ácido ...	68
Figura IV-1 Balance de materia para la extracción de pectina	76
Figura IV-2 Etapa de lavado	78
Figura IV-3 Etapa de pelado	80
Figura IV-4 Etapa de inactivación enzimática	81
Figura IV-5 Etapa de hidrólisis ácida.....	82
Figura IV-6 Etapa de primera filtración.....	86

Figura IV-7 Etapa de precipitación	87
Figura IV-8 Etapa de segunda filtración	88
Figura IV-9 Etapa de lavado	89
Figura IV-10 Etapa de secado	90
Figura IV-11 Etapa de molienda	91
Figura IV-12 Etapa de tamizado	92
Figura IV-13 Resumen del balance de materia de la extracción de pectina	94
Figura IV- 14 Balance de energía para el proceso de extracción.....	96
Figura IV-15 Gráfica de secado	101
Figura IV-16 ANOVA	104
Figura IV-17 Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para el rendimiento ...	106
Figura IV-18 Gráfica de efectos principales para rendimiento	106
Figura IV-19 Gráfica de probabilidad normal	107
Figura IV-20 Gráfica de cubos.....	108

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 – Carta Solicitud.....	119
Anexo 2 – Resultados Fisicoquímicos	120
Anexo 3 – Especificaciones de los equipos	122
Anexo 4 – Solicitud de Material	126
Anexo 5 - Requerimiento de Material.....	128