

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES

FACULTAD DE INGENIERIA

INGENIERIA QUIMICA, INGENIERIA AMBIENTAL,
INGENIERIA DE ALIMENTOS E INGENIERIA PETROQUIMICA



PROYECTO DE GRADO PRESENTADO POR:

JESSICA LIZETH CHOOLNER CHOOLNER

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERO QUÍMICO

“EXTRACCION DE LA PECTINA DEL POMELO

MEDIANTE HIDROLISIS ACIDA”

TUTOR: ING. WILLIAM CUSI ARQUIPA

COTUTOR: DRA. GABRIELA TERRAZAS CHAVEZ

COTUTOR: DRA. MARIA OTILIA TORREZ TINTAYA

LA PAZ – BOLIVIA

2020



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERIA**



LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.

LICENCIA DE USO

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.

DEDICATORIA.

A Dios todopoderoso, por darme la dirección correcta para alcanzar mis metas.

A mis Padres, por brindarme su apoyo inmenso e incondicional en cada momento de mi vida.

A mi tío Edgar N (†). por su apoyo, sus recomendaciones, motivaciones para la culminación de mi proyecto.

A todos mis familiares y amigos que de una u otra manera colaboraron para que pudiera concluir con el presente trabajo.

AGRADECIMIENTOS.

A la Facultad de Ingeniería, carrera: Ingeniería Química de la Universidad Mayor de San Andrés, por abrirme sus puertas de sus aulas.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería Química, por ser nuestros guías durante el proceso de nuestra formación académica.

A nuestro jurado calificador, Ing. Alfredo Álvarez Cossío, Ing. Jesús Góngora Beltrán; por el tiempo dedicado en la evaluación y aporte de sus conocimientos en el presente proyecto de grado.

A nuestros asesores, Ing. William Cusi Aruquipa, Dra Gabriela Terrazas Chávez y Dra María Torrez por su invaluable orientación, ayuda científica, motivación y materialización del presente trabajo.

Al Instituto de Servicio de Laboratorio e Investigación en Salud (Seladis) de la UMSA, en especial al área de Bromatología, por abrirme sus puertas, y permitir realizar mi proyecto; gracias por su paciencia, apoyo, colaboración, y los maravillosos momentos vividos, gracias a todos y cada una de las personas que lo integran

A nuestros compañeros, por permitirnos compartir junto a ellos, experiencias, vivencias y expectativas durante el tiempo que duro nuestros estudios.

RESUMEN

Una de las principales materias primas vegetales procesadas y que contribuyen en mayor medida a la generación de subproductos son los cítricos. Los subproductos generados en la producción de jugos como las cáscaras de frutas cítricas contienen antioxidantes y pectina que podrán tener un efecto de beneficio a la salud humana. Para tal finalidad, el presente trabajo se centró en el uso del albedo de la cáscara de pomelo para la extracción de pectina por hidrólisis ácida tomando en consideración que dicho material (cáscara) es actualmente un producto de desecho.

En el estudio se realizó la caracterización de la materia prima, extracción mediante hidrólisis ácida, diseño experimental en el proceso de extracción, cinética de extracción, caracterización de la pectina y diseño del extractor a nivel Bench Scale.

Los resultados de la caracterización definieron al albedo de pomelo con un pH de 4, un porcentaje de humedad de 64,79%, un porcentaje de cenizas de 0,87% y el contenido de sólidos solubles de 3°Brix. Los resultados experimentales obtenidos indican que la extracción mediante hidrólisis ácida se obtuvo un rendimiento de 8,4% en condiciones de Temperatura 80°C, Tiempo 70 min, pH 3, Relación: Sólido/Disolvente 3: 10, Tamaño de albedo 2*2 cm y la Velocidad de agitación de 100 rpm.

El análisis cinético de extracción mostró mediante la ley de velocidad para primer y segundo orden de reacción, también se graficaron sus ecuaciones de linealización, obteniéndose la pendiente de la gráfica el valor de la constante de reacción $k = 0,0423 \text{ min}^{-1}$ con una correlación de 0,93 a temperatura de 80°C que es la correlación que se acerca más a la unidad.

Se diseñó el equipo de extracción de pectina a nivel Bench Scale, para una capacidad de 50L cuyas características son: 4 deflectores, diámetro del tanque 40cm, altura del tanque 75cm, agitación por turbina de 6 aspas planas inclinadas a 45° y un espesor óptimo de aislamiento de $e = 4\text{cm}$.

Los resultados obtenidos de la caracterización de la pectina están dentro de los parámetros de la FAO que es aplicable a la elaboración de mermeladas por ser una pectina de alto porcentaje de metoxilo.

ABSTRACT

One of the main processed vegetable raw materials that contributes the most to the generation of by-products is citrus. By-products generated in the production of juices such as citrus fruit peels contain antioxidants and pectin that may have a beneficial effect on human health. For this purpose, the present work focused on the use of albedo from grapefruit peel for the extraction of pectin by acid hydrolysis, taking into consideration that the material (peel) is actually a waste product.

The study carried out the characterization of the raw material, extraction by acid hydrolysis, experimental design in the extraction process, extraction kinetics, characterization of the pectin and design of the extractor at the Bench Scale level.

The results of the characterization defined the grapefruit albedo with a pH of 4, a humidity percentage of 64.79%, an ash percentage of 0.87% and the soluble solids content of 3° Brix. The experimental results obtained indicate that the extraction by acid hydrolysis obtained a yield of 8.4% under conditions of Temperature 80 ° C, Time 70 min, pH 3, Ratio: Solute / Solvent 3: 10, Albedo size 2 * 2 cm and the stirring speed of 100 rpm.

The kinetic analysis of extraction showed by means of the speed law for the first and second order of reaction, their linearization equations were also graphed, obtaining the slope of the graph the value of the reaction constant $k = 0.0423 \text{ min}^{-1}$ with a correlation of 0.93 at a temperature of 80°C, which is the correlation that is closest to unity.

The pectin extraction equipment was designed at the Bench Scale level, for a capacity of 50L whose characteristics are: 4 deflectors, tank diameter 40cm, tank height 75cm, turbine stirring with 6 flat blades inclined at 45° and an optimal insulation thickness of $e = 4\text{cm}$.

The results obtained from the characterization of the pectin are within the FAO parameters that is applicable to the production of jams as it is a pectin with a high percentage of methoxyl.

INDICE

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	2
1.1 ANTECEDENTES.....	2
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.3 OBJETIVOS	6
1.3.1 Objetivo general.....	6
1.3.2 Objetivos específicos	6
1.4 JUSTIFICACIÓN	6
1.4.1 Justificación técnica.....	6
1.4.2 Justificación económica.....	7
1.4.3 Justificación social.....	7
1.4.4 Justificación ambiental	7
1.4.5 Justificación académica	8
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	10
2.1 POMELO	10
2.1.1 Clasificación botánica del pomelo.....	10
2.1.2 Descripción botánica del pomelo.....	10
2.1.3 Variedades de pomelo.....	11
2.1.4 Composición Nutricional.....	13

2.1.5 Estructura del pomelo	14
2.1.6 Usos	14
2.1.7 Índice de madurez del pomelo	15
2.1.8 Rendimiento de pectina en frutas.....	16
2.2 PRODUCCIÓN DE POMELO.....	16
2.2.1 Producción de pomelo en Bolivia.....	16
2.2.2 Producción mundial de pomelo	16
2.3 PECTINA.....	21
2.3.1 Las pectinas en el entorno productivo	21
2.3.2 Definición de pectina	21
2.3.3 Clasificación de las sustancias pécticas	22
2.3.4 Composición química y estructura de la pectina	25
2.4 EXTRACCIÓN.....	25
2.4.1 Definición	25
2.4.2 Métodos de extracción de pectina.....	26
2.4.3 Factores que influyen en el proceso de extracción	27
2.4.4 Cinética de extracción.....	28
2.5 TÉCNICAS PARA LA PRECIPITACIÓN DE PECTINA.....	30
a) Precipitación con acetona.	30
b) Precipitación con sales metálicas	30

c) Precipitación con alcohol etílico.....	30
2.6 USOS Y APLICACIONES DE LA PECTINA A NIVEL AGROINDUSTRIAL....	30
2.6.1 Aplicaciones en la industria de alimentos.....	31
2.6.2 Aplicaciones de la pectina en la industria farmacéutica	31
2.6.3 Cosméticos y productos de aseo	32
2.6.4 Industria Metalmecánica.....	32
2.6.5 Otras industrias	32
2.7 PRODUCCION DE PECTINA	33
2.7.1 Importación de pectina en Bolivia.....	33
2.7.2 Productores de pectina a nivel mundial	33
2.8 DISEÑO EXPERIMENTAL	34
2.8.1 Diseño de experimentos.....	34
2.8.2 Metodología para la aplicación del diseño de experimentos	34
2.8.3 Diseño factorial 2^k	36
2.9 DISEÑO DEL EXTRACTOR (NIVEL BENCH SCALE)	36
2.9.1 Tanque agitado.....	36
2.9.2 Escalamiento.....	41
2.9.3 Cálculo del diámetro del eje conectado al agitador	45
2.9.4 Cálculo del espesor del aislante (Transferencia de calor).....	47
CAPITULO III: METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	54

3.1 RECOLECCION DE LA MATERIA PRIMA.....	54
3.2 CARACTERIZACION DE LA MATERIA PRIMA	55
3.2.1 Determinación de contenido de humedad.....	55
3.2.2 Determinación de cenizas	56
3.2.3 Determinación de pH.....	57
3.2.4 Determinación de sólidos solubles	58
3.3 PREPARACIÓN DE LA MATERIA PRIMA	60
3.3.1 Selección de materia prima.....	60
3.3.2 Selección de cáscaras	61
3.4 PROCESO DE OBTENCIÓN DE PECTINA DE POMELO	62
3.4.1 Inactivación enzimática	63
3.4.2 Extracción por el método hidrólisis ácida.....	64
3.4.3 Filtración I y enfriamiento	65
3.4.4 Precipitación	66
3.4.5 Filtración II	67
3.4.6 Secado.....	67
3.4.7 Tamizado y Almacenamiento	68
3.5 CINETICA DE EXTRACCION.....	68
3.6 CARACTERIZACION DE LA PECTINA	68
3.6.1 Humedad.....	69

3.6.2 Cenizas.....	70
3.6.3 Azúcares reductores.....	71
3.6.3 Porcentaje de metoxilo, %Acido anhídrido galacturonico y grado de esterificación.....	72
CAPITULO IV: CÁLCULOS Y RESULTADOS	74
4.1 CARACTERIZACION DE LA MATERIA PRIMA	74
4.2 PROCESO DE LA EXTRACCION DE PECTINA DEL POMELO.....	74
4.2.1 Variables que Influyen en el Proceso de Extracción	75
4.2.2 Variables para el diseño experimental	81
4.2.3 Diseño experimental	82
4.2.4 Diseño en el Programa Design Expert.....	83
4.2.5 Cuantificación del alcohol empleado en el proceso de precipitación.....	89
4.2.6 Proceso de secado de la pectina.....	90
4.3 CINETICA DE EXTRACCION.....	91
4.4 CARACTERIZACION DE LA PECTINA	96
4.4.1 Propiedades físicas de la pectina	96
4.4.2 Parámetros de la pectina según la FAO	97
4.5 DISEÑO DEL EXTRACTOR (NIVEL BENCH SCALE)	97
4.5.1 Extractor a nivel laboratorio	97
4.5.2 Extractor a nivel Bench Scale	99

4.5.3 Cálculo del espesor del aislante	105
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	113
5.1 CONCLUSIONES	113
5.2 RECOMENDACIONES.....	115
BIBLIOGRAFIA	117
ANEXOS	123

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Producción de pomelo en Bolivia.....	5
Tabla 2. Importación de pectina en Bolivia.....	5
Tabla 3. Composición nutricional de la toronja.....	13
Tabla 4. Rendimiento de pectina de varios frutos	16
Tabla 5. Producción de pomelo en Bolivia.....	16
Tabla 6. Exportación de pomelo (mil toneladas).....	17
Tabla 7. Importación de pomelo (mil toneladas).....	19
Tabla 8. Características de las pectinas	24
Tabla 9. Importación de pectina en Bolivia.....	33
Tabla 10. Principales países productores de pectina.....	34
Tabla 11. Proporciones Geométricas para un sistema de agitación Normal	39
Tabla 12. Volúmenes a diferentes escalas	43
Tabla 13. Cantidad de materia prima por día.....	54
Tabla 14. Características del albedo de Pomelo	74
Tabla 15. Grados Brix reportados en el proceso de inactivación enzimática	74
Tabla 16. Parámetros para la determinación del tamaño de cáscara	75
Tabla 17. Parámetros para la determinación del pH.....	76
Tabla 18. Parámetros para la determinación de la temperatura	77
Tabla 19. Parámetros para la determinación del tiempo de extracción	78
Tabla 20. Parámetros para la determinación de la velocidad de agitación	79
Tabla 21. Parámetros para la determinación de la relación albedo/disolvente	80
Tabla 22. Variables influyentes y constantes en el proceso de extracción	81
Tabla 23. Resultados del Diseño Experimental	82

Tabla 24. Análisis de Varianza	87
Tabla 25. Valores obtenidos del diseño experimental	89
Tabla 26. Volumen de alcohol utilizado en la precipitación de pectina	90
Tabla 27. Resultados de la concentración de pectina a diferentes temperaturas y tiempos de extracción.....	92
Tabla 28. Expresiones de la velocidad de reacción	93
Tabla 29. Factor de correlación según el orden de reacción.....	94
Tabla 30. Ecuaciones de linealización como Primer Orden de Reacción	95
Tabla 31. Parámetros cinéticos	95
Tabla 32. Propiedades físicas de la pectina extraída.....	96
Tabla 33. Propiedades de la pectina extraída comparada con los requerimientos de la FAO	97
Tabla 34. Parámetros y valores del extractor a nivel laboratorio	98
Tabla 35. Dimensiones para el diseño del extractor escala Bench	105
Tabla 36. Espesor del aislamiento	111

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Toronja	10
Figura 2. Sección transversal de un fruto de pomelo "Marsh"	14
Figura 3. Madurez del pomelo	15
Figura 4. Estructura de pectina de alto grado de metoxilo	23
Figura 5. Estructura de pectina de bajo grado de metoxilo	24
Figura 6. Estructura de la pectina	25
Figura 7. Procedimiento para la realización de un DOE	35
Figura 8. Tanque típico de proceso con agitación	37
Figura 9. Representación de flujos: Radial, Axial y Tangencial	39
Figura 10. Parámetros del Tanque	40
Figura 11. Reducción de la transferencia de calor a través de superficies	48
Figura 12. Pesaje de cáscaras de pomelo	54
Figura 13. Diagrama de Proceso del contenido de humedad.....	56
Figura 14. Diagrama de Proceso para determinar cenizas.....	57
Figura 15. Diagrama de Proceso para determinar el pH.....	58
Figura 16. Diagrama de proceso para determinar sólidos solubles	59
Figura 17. Diagrama de proceso de la preparación de la materia prima	60
Figura 18. Separación del albedo de la cáscara	61
Figura 19. Diagrama de proceso de obtención de pectina a partir de albedo de pomelo	62
Figura 20. Tratamiento térmico del albedo.....	64
Figura 21. Extracción por hidrólisis ácida	64
Figura 22. Filtración del líquido	66
Figura 23. Precipitación de la Pectina	66

Figura 24. Filtración de la Pectina	67
Figura 25. Secado de la Pectina	67
Figura 26. Diagrama de Proceso del contenido de humedad de la Pectina	69
Figura 27. Diagrama de Proceso para determinar cenizas de la Pectina	70
Figura 28. Diagrama de Proceso para determinar azúcares reductores	71
Figura 29. Diagrama de Proceso para determinar %MeO, %AUA y %DE	72
Figura 30. Espesor del aislamiento	109

INDICE DE GRAFICOS

Gráfica 1. Correlaciones de potencia para diversos impulsores y deflectores.....	45
Gráfica 2. Variación del peso durante el tiempo de secado.....	75
Gráfica 3. Tamaño de cáscara respecto al rendimiento de Pectina.....	76
Gráfica 4. pH respecto al rendimiento de Pectina	77
Gráfica 5. Temperatura respecto al rendimiento de Pectina	78
Gráfica 6. Tiempo de extracción respecto al rendimiento de Pectina	79
Gráfica 7. Velocidad respecto al rendimiento de Pectina	80
Gráfica 8. Relación albedo/disolvente respecto al rendimiento de Pectina.....	81
Gráfica 9. Gráfica de media Normal.....	84
Gráfica 10. Diagrama de Pareto.....	85
Gráfica 11. a) Interacción AC, b) Interacción BC, c) Interacción AB.....	86
Gráfica 12. a) Interacción BC superficie de contorno, b) Interacción AC en gráfica 3D.....	88
Gráfica 13. Precipitación de pectina	90
Gráfica 14. Variación del peso durante el tiempo de secado.....	91
Gráfica 15. Representación de la Pectina en función del tiempo a diferentes temperaturas	92
Gráfica 16. Método integral de linealización, primer orden de reacción a 80°C.....	93
Gráfica 17. Método integral de linealización, segundo orden de reacción a 80°C	94
Gráfica 18. Dependencia de la constante de velocidad de reacción con la temperatura	95
Gráfica 19. Diagrama Relación entre el número de Reynolds y el número de Potencia...	102
Gráfica 20. Espesor del aislamiento óptimo	110

INDICE DE SIMBOLOS

DESCRIPCION	SIMBOLO	UNIDADES
Masa de Pectina	m	g ó Kg
Altura del líquido	H	cm ó m
Resistencia térmica	R	$\frac{K}{W}$
Tiempo	t	min
Área	A	m ²
Temperatura	T	°C ó K
Temperatura del Fluido	T _i	°C ó K
Temperatura Ambiente	T ₀	°C ó K
Coefficiente convectivo aire	h _e	W/m ² °K
Coefficiente convectivo fluido	h _i	W/m ² °K
Porcentaje de Humedad	%H	%
Porcentaje de Cenizas	%C	%
Densidad	ρ	$\frac{Kg}{m^3}$
Volumen	V	ml ó L
Numero de Nusselt	Nu	Adimensional
Conductividad térmica	K	$\frac{W}{m^{\circ}K}$
Numero de Reynolds	Re	Adimensional
Numero de Prandtl	Pr	Adimensional
Numero de Rayleigh	R _a	Adimensional
Viscosidad Dinámica	μ	Pa – s
Gravedad	g	$\frac{m^2}{s}$

Diámetro del agitador	D_a	m ó cm
Diámetro de eje del agitador	D_e	pulg ó m
Diámetro del tanque	D_t	cm ó m
Altura de agitador sobre el fondo del tanque	C	cm ó m
Altura de tanque	H_t	cm ó m
Espesor de los deflectores	J	cm ó m
Longitud de las Aspas del agitador	L	cm ó m
Velocidad de agitación	N	rpm ó rev/s
Número de Potencia	N_p	Adimensional
Potencia	P	W ó Hp
Calor	Q	W
Esfuerzo torsor	T_{tor}	lb-pulg
Altura de la aspa del Agitador	W	cm ó m
Espesor óptimo de aislamiento	e	cm ó m

CAPITULO I

INTRODUCCION

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

La sustancia que se había supuesto era la causa de que los jugos de frutas se conviertan en jaleas, fue aislada por Braconnot en 1824, quien la denominó pectina. Las extensas investigaciones realizadas en los cien años siguientes esclarecieron las propiedades de las sustancias pécticas, pero poco hicieron para aclarar su naturaleza química. En 1916, Ehrlich y Suarez dieron a conocer el aislamiento del ácido D-galacturónico que en forma de polímero es el integrante principal de todas las pectinas. Entre 1920 y 1940 quedó establecida la producción de pectinas en escala comercial en cierto número de naciones y aquellas llegaron a formar parte importante del comercio internacional (Raymond E. & Donald F., 1961, pág. 792).

La pectina es un aditivo muy importante en los alimentos, usado en el procesamiento de frutas, vegetales y en las industrias farmacéuticas. Principalmente, se utilizan las manzanas y frutas cítricas como materia prima para la fabricación de las pectinas comerciales. El uso de pectina en mermeladas de alto contenido de azúcar es una de las más conocidas aplicaciones a uno de los mercados más grandes para la pectina.

Anualmente se producen aproximadamente 35.000 toneladas métricas de pectina en el mundo. Los mayores productores de pectina, producen más de 8 mil toneladas anuales. El principal país productor es México, le siguen Bélgica, Estados Unidos, Dinamarca, Francia, Brasil, España, China e Italia. Cada año los Estados Unidos importa más de siete millones de libras de pectina (Ferreyra Guerrero, 2015, págs. 40,41).

El destino de los desechos agroindustriales es uno de los grandes problemas ambientales a nivel mundial, el uso de estos descartes como sub-productos se ha convertido en uno de los desafíos más importantes en la industria alimentaria, ya que no sólo permite otorgarles un nuevo

uso como materia prima, sino que además permite reducir costos y contribuir a reducir el impacto ambiental (Rezzadori, A., Benedetti, S., Amante, 2012).

A nivel mundial, la preocupación por el aprovechamiento de residuos ha tomado gran fuerza entre la comunidad científica y sobre todo a nivel industrial, en donde los procesos de transformación generan subproductos que pueden ser útiles en otras actividades. De hecho estudios recientes han demostrado que las cáscaras de frutas como la naranja contienen antioxidantes y pectina (fibra) que podrían tener un efecto benéfico en la salud humana (Londoño, J., Lima, V.R. De, L., Gil, A., Pasa, T., Arango, G., Pineda, 2010).

El grapefruit o toronja puede ser un híbrido de pomelo con naranja dulce, que se asume que ocurrió en Barbados en el siglo XVIII. No se conoce en estado silvestre y su historia comienza en las Antillas al principio del siglo XIX. Aunque tiene diferencias claras con el pomelo, es dudoso que sean suficientes, en el caso de los cítricos, para considerarlas como especies distintas (Leon, 2000, pág. 302).

Citrus máxima (Burm.) Merr., Nota: Algunas formas o híbridos de *C. máxima* se han naturalizado en Paraguay (Gade 1976) y en Brasil (Pirani 1999, Pirani & Groppo 2012). Es probable que lo mismo ocurra en algunos sitios de Bolivia. Nom. Vern.: Naranja. Pomelo, toronja (Moller Jorgensen, Harley Nee, & Georg Beck, 2014, pág. 1171).

Sus frutos en fresco se consumen en las comidas, de entrada o de postre, y transformados en mermeladas o en zumos, tanto naturales como concentrados. La industria aprovecha un 20% de su producción, principalmente para la elaboración de zumos y pequeñas cantidades para mermeladas (IICA & FAO, pág. 79).

Estados Unidos es el mayor país productor de pomelos, y el mayor exportador de pomelos frescos, representando casi el 40 por ciento del total de las exportaciones mundiales de productos frescos. Le siguen en importancia Sudáfrica e Israel. La mayor parte de la producción de

pomelos se consume en los mercados internos, y las exportaciones totales de pomelos frescos representan menos del 40 por ciento de la producción mundial. Los Estados Unidos, Israel y Cuba son los principales proveedores de zumos de pomelo en el mercado mundial. Las exportaciones representan aproximadamente la mitad de la producción mundial de pomelos elaborados (FAO, 2004, pág. 9).

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Bolivia es importador de pectina, a pesar de tener gran variedad de cultivos cítricos como naranja, limón, lima y pomelo. En nuestro caso utilizaremos pomelo cuya cáscara (albedo) sirve de materia prima para obtener pectina. En la actualidad no se utilizan las cáscaras de pomelo, su disposición final son los botaderos de basura del Municipio de La Paz y El Alto que contribuyen a aumentar la contaminación ambiental. Sin embargo, el reciclado de las cáscaras de pomelo tienen las siguientes ventajas:

- Disminuye la contaminación del medio ambiente
- Posibilita una nueva fuente de ingresos.

Del total de residuos sólidos que se generan anualmente en Bolivia (1,7 millones de toneladas), 55,2% son residuos orgánicos, 22,1% son desechos reciclables (papel, plástico, vidrios, metales) y el restante 22,7% es basura no reciclable (Tapia, 2011).

Las cáscaras de pomelo se obtendrán de la venta de jugos de la ciudad de La Paz (Plaza Pérez Velasco y otros). Los pomelos provienen de la región de Alto Beni del departamento de La Paz.

La superficie en (Ha) y cantidad cosechada en (qq) de pomelos en Bolivia (INE, 2015).

Tabla 1. Producción de pomelo en Bolivia

	Superficie total (Ha)	Cantidad cosechada (qq)
Beni	156,5	28422,3
Chuquisaca	11,0	762,6
Cochabamba	69,7	44,2
La Paz	67,6	8855,1
Pando	16,3	1154,7
Santa Cruz	54,4	11728,5
Tarija	47,7	3395,6
Total general	423,2	54362,9

Fuente: Censo Agropecuario (INE, 2015)

La importación de pectina por año en Bolivia se menciona en la siguiente tabla.

Tabla 2. Importación de pectina en Bolivia

	AÑO		2016		2017	
	Peso bruto en (kg)	Valor CIF en (\$us)	Peso bruto en (kg)	Valor CIF en (\$us)	Peso bruto en (kg)	Valor CIF en (\$us)
Materias	13086	224553	11690	190446	21055	349059
Pécticas						

Fuente: INE

En la mayoría de los países en desarrollo la pectina es importada. La producción regionalizada por pequeños procesadores podría satisfacer la demanda con un menor costo, ya que existe el apoyo por algunos gobiernos. Sin embargo, existen algunas barreras al superar, tales como el precio, la dificultad de aislar pectina en forma de polvo y a pequeña escala para obtener una gama de pectinas con propiedades específicas, no sólo un tipo de producto. Típicamente, la producción de pectina en países tropicales en desarrollo se coimplantada a

través de la industria de jugo a gran escala. Pocos fabricantes sostienen el comercio mundial y curiosamente, todas las pectinas utilizadas en los EE.UU. es importado, principalmente de Europa, de América Central y del Sur (Bates, R., Morris, J., & Crandal 2001; ITDG, 2007).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

- Extraer la pectina del pomelo mediante hidrólisis ácida.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar la cantidad de materia prima
- Caracterizar la materia prima
- Realizar la inactivación enzimática (secado, molido, tamizado)
- Aplicar el método de hidrólisis ácida para la obtención de la pectina presente en el residuo orgánico (cáscara de pomelo)
- Utilizar el diseño experimental en el proceso de extracción para la hidrólisis ácida.
- Realizar la cinética de extracción
- Realizar el secado, molido y tamizado de la pectina
- Caracterizar la pectina obtenida
- Diseñar un extractor a nivel Bench Scale en el proceso de extracción por hidrólisis ácida

1.4 JUSTIFICACIÓN

1.4.1 Justificación técnica

En el presente proyecto se plantean en el proceso menos etapas, reducción de reactivos químicos y por ende el tiempo de proceso tiende a reducirse en la obtención de pectina.

1.4.2 Justificación económica

Es un material de desecho o sea no tiene costo alguno, en el proceso existe disminución de etapas, reducción del uso de reactivos químicos, tiempo de proceso disminuye; todos estos factores tienden a reducir el costo del producto.

1.4.3 Justificación social

La utilización de la cáscara de pomelo como materia prima para la obtención de la pectina, permitirá otorgarle valor agregado a un sub producto de la fruta fresca que se desecha, permitirá disminuir la contaminación ambiental y beneficiar a los procesadores o agricultores de estos frutos con mayores ingresos económicos.

Además de generar contaminación con residuos orgánicos como las cáscaras de pomelo afecta a la salud de la población. Según la Ley Marco de Gestión Integral de Residuos, menciona el derecho a la salud y a vivir en un ambiente sano y equilibrado”.

El interés social busca impulsar a la industria química y reducir su impacto ambiental. Por tal motivo, la utilización de residuos orgánicos como materia prima de bajo costo, para la obtención de productos químicos como la pectina que tiene aplicación en la industria alimentaria y farmacología.

1.4.4 Justificación ambiental

La materia prima a utilizar son residuos orgánicos de pomelo generados de la venta de jugos de pomelo de la ciudad de La Paz (Plaza Pérez Velasco y otros), con el proyecto se presenta una alternativa para la utilización de cáscaras de pomelo en vez de que sea su disposición final el botadero de Gobierno Autónomo Municipal de La Paz.

Por tal motivo se menciona la Ley Marco de Gestión Integral de Residuos, tiene como objetivo de prevenir la reducción de la generación de residuos, su aprovechamiento y

disposición final sanitaria y ambientalmente segura, en el marco de los derechos de la Madre Tierra.

1.4.5 Justificación académica

El presente proyecto busca poner en práctica los conocimientos adquiridos en las diferentes materias cursadas en la carrera.





CAPITULO II

MARCO TEORICO

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 POMELO

2.1.1 Clasificación botánica del pomelo

Nombre Común: Toronja

Nombre científico: Citrus paradisi

Origen: Asia

Familia: Rutaceae

Género: Citrus

2.1.2 Descripción botánica del pomelo

Árbol auranciáceo, de la familia de las rutáceas. Sus características morfológicas son similares a los demás citrus, de tronco reducido, corto y de copa compacta, brotes color púrpura y pocas espinas. La toronja uno de los cítricos más sensibles al frío; las flores no resisten temperaturas inferiores a un grado bajo cero, por lo que su cultivo se restringe a climas semitropicales, templados y también a altitudes próximas al nivel del mar (IICA & FAO, pág. 77).



Figura 1. Toronja

Fuente: Fichas Técnicas PRODAR (IICA & FAO, pág. 77)

Posee unas **raíces** pivotantes y profundas que requieren de suelos frescos, sueltos y bien drenados. Los hoyos para su plantación no deben ser inferiores a 70X70 centímetros. Puede sembrarse por semilla pero los frutos resultan regresivos, así que los árboles obtenidos por este procedimiento solo se utilizan como portainjerto. En la actualidad se utilizan con plántones injertados sobre mandarina.

Hojas: de tamaño intermedio, algo vellosas, con alas grandes, nervios muy marcados y olor típico.

Flores: grandes de color verdoso y estambres reducidos.

Fruto: de forma globular achatada de color amarillo claro y de grandes dimensiones, puede alcanzar un diámetro de 15 cm a 20 cm, de aroma muy grato, es un hesperidio. Consta de: exocarpo (flavedo: presenta vesículas que contienen aceites esenciales), mesocarpo (albedo: pomposo y de color blanco) grueso y endocarpo (pulpa: presenta tricomas con jugo) blanco, rosa o rojo (IICA & FAO, pág. 77).

2.1.3 Variedades de pomelo

2.1.3.1 Variedades blancas o comunes

a) Duncan: árbol vigoroso, grande y muy productivo; su fruto es de mayor tamaño que el de la variedad Marsh y el árbol es más resistente al frío. Sabor excelente, pulpa muy firme y jugosa, buena acidez y niveles de azúcar elevados, dando un sabor equilibrado, rico y dulce. Elevado número de semillas (30-50 por fruto), pero a pesar de ello sigue siendo el punto de referencia en cuanto a calidad. La presencia de semillas no es un obstáculo para su industrialización dados el sabor y la firmeza de los gajos, siendo una variedad muy indicada para la transformación en zumo.

b) Marsh (Marsh seedles): se obtuvo a partir de semilla de la variedad Duncan. Procede de Florida (EE.UU.). Árbol vigoroso y muy productivo, de tamaño grande y más sensible al frío.

El fruto es algo más pequeño que Duncan, pero el número de semillas es mucho menor (2-3 por fruto). El contenido de zumo es alto y dicho zumo es dulce, aunque con acidez elevada al comienzo de la cosecha. Esta variedad permanece más tiempo en el árbol (hasta tres meses), aunque a finales de cosecha la acidez es baja y el sabor un tanto insípido. Es la variedad más importante del mundo, adecuada para la industria de refrescos (IICA & FAO, págs. 77,78).

2.1.3.2 Variedades pigmentadas

Deben su color al pigmento licopeno, a diferencia de las naranjas, en las que el color se debe a las antocianinas. El licopeno se genera cuando las temperaturas son elevadas. La popularidad de las toronjas pigmentadas se ha incrementado en las dos últimas décadas en muchos países, aunque no ha ocurrido así en Japón.

a) Burgundy: probablemente se originó a partir de la variedad Thompson. Es una variedad tardía que se mantiene en el árbol hasta comienzos del verano en buenas condiciones comerciales. La corteza es lisa y su color no acompaña a la intensa coloración interna en tono marrón. Escaso número de semillas (1-2), pulpa firme, muy jugosa, con sabor dulce y poco amargo.

b) Ruby (Ruby red, Redblush, Henninger): estas variedades se originaron en la misma zona de Texas, probablemente al mismo tiempo y muchos expertos piensan que se trata de la misma variedad. Mutación espontánea de Thompson. Sin semillas. Madura aproximadamente al mismo tiempo que la toronja Thompson, pero presenta mejor calidad interna y mejor pigmentación interna y externa. La intensidad de la pigmentación aumenta con la temperatura ambiente. Es la primera variedad de toronja rosa que permitió una rápida identificación por la coloración externa sin necesidad de ser partida.

c) Star Ruby: fue obtenida mediante la irradiación de una semilla de la variedad Hudson en Texas en 1959. La pulpa es de coloración más intensa y la coloración externa es superior a la de

las variedades más recientes. Presenta escasas semillas (1-2, en algunos frutos). La corteza es muy delgada, el contenido de zumo es muy alto y el sabor más dulce y menos amargo que el de Marsh y otras variedades pigmentadas. Es la toronja estándar con la que se suelen comparar otras variedades.

d) Thompson o Pink Marsh: fue la primera variedad pigmentada sin semillas. Se originó como mutación espontánea de Marsh Seedles en florida en 1913. Las características del árbol y del fruto son muy similares a las de la variedad Marsh, ya que sólo difiere en dos aspectos: es de madurez algo más precoz y la pulpa es ligeramente rosa en la zona próxima a las membranas de los gajos, aunque este color tiende a mitigarse con el paso del tiempo (IICA & FAO, pág. 78).

2.1.4 Composición Nutricional

Los datos de la composición nutricional se deben interpretar por 100 g de la porción comestible (IICA & FAO, pág. 78).

Tabla 3. Composición nutricional de la toronja

COMPUESTO	CANTIDAD
Calorías	33 Kcal
Agua	90.48g
Proteína	0.69g
Grasa	0.10g
Cenizas	0.33g
Carbohidratos	8.41g
Fibra	1.1g
Calcio	12mg
Hierro	0.06mg
Fosforo	8mg
Vitamina C	33.3mg

Fuente: Fichas técnicas (IICA & FAO, pág. 78)

2.1.5 Estructura del pomelo

El exocarpo o flavedo, que es la parte más externa del fruto. El endocarpo, está formado por una epidermis (la parte más interna en contacto con el lóculo). Entre ambos se encuentra el mesocarpo o albedo. Cuando el fruto madura, la corteza puede separarse del endocarpo y está formada por el exocarpo y el mesocarpo. Es el primero el que adquiere la coloración característica de cada variedad (Agusti, 2003, págs. 78,81).

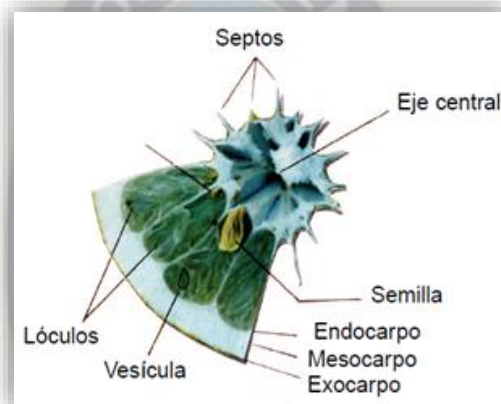


Figura 2. Sección transversal de un fruto de pomelo "Marsh"

Fuente: Anatomía de cítricos (Agusti, 2003, pág. 81)

2.1.6 Usos

Sus frutos en fresco se consumen en las comidas, de entrada o de postre, y transformados en mermeladas o en zumos, tanto naturales como concentrados. La industria aprovecha un 20% de su producción, principalmente para la elaboración de zumos y pequeñas cantidades para mermeladas.

De la cáscara se extrae un aceite esencial muy utilizado en perfumería; esta esencia es soluble en aceite de parafina, tiene un aroma fresco y combina bien con aceite esencial de limón, lima,

neroli, azahar y verbena. Entra en combinaciones de perfumes del tipo limón, aroma de gardenia, flor de azahar y chipre.

El zumo de toronja combate el letargo y la sequedad de la garganta y el olor estimula el hemisferio derecho del cerebro, agudiza la memoria y la concentración. (IICA & FAO, pág. 79)

De la corteza se extrae un aceite muy utilizado en la industria de cosméticos y en sesiones de aromaterapia; de las semillas, se puede extraer un aceite rico en grasas insaturadas semejante al aceite de oliva, pudiendo ser consumido con la misma finalidad; y del albedo, se puede extraer pectina, utilizada, rutinariamente, en la industria de alimentos (Pedroso de Oliveira, Koller, Scivitaro, & Pedroso de Oliveira, 2007, pág. 15).

2.1.7 Índice de madurez del pomelo

El color es un buen índice de madurez en la mayoría de frutas. Existen dos tipos de color: el color de cubrimiento y el color de fondo. El color de fondo (verde, amarillo, naranja) está más bien relacionado con la evolución de la madurez del producto, en cambio el color de cubrimiento (rojo, azul) está más relacionado con la calidad y presentación del producto. El estado de madurez va de muy verde, verde, pintón, maduro y sobremaduro (Franco Villanueva, pág. 2).

Las cáscaras elegidas corresponden a un grado de maduración entre 3 y 4.



Figura 3. Madurez del pomelo

Fuente: Elaboración propia

2.1.8 Rendimiento de pectina en frutas

Tabla 4. Rendimiento de pectina de varios frutos

FRUTO	% Pectina
Toronja	9,24
Naranja agria	9,99
Maracuyá amarillo	5,38
Maracuyá rojo	5,18
Limón mandarina	4,07

Fuente: (Acevedo Berger & Ramirez Diaz, 2011, pág. 57)

2.2 PRODUCCIÓN DE POMELO

2.2.1 Producción de pomelo en Bolivia

La superficie en (Ha) y cantidad cosechada en (qq) de pomelos en Bolivia (INE, 2015).

Tabla 5. Producción de pomelo en Bolivia

	Superficie total (Ha)	Cantidad cosechada (qq)
Beni	156,5	28422,3
Chuquisaca	11,0	762,6
Cochabamba	69,7	44,2
La Paz	67,6	8855,1
Pando	16,3	1154,7
Santa Cruz	54,4	11728,5
Tarija	47,7	3395,6
Total general	423,2	54362,9

Fuente: INE, 2015

2.2.2 Producción mundial de pomelo

2.2.2.1 Exportación mundial por países principales

Tabla 6. Exportación de pomelo (mil toneladas)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016 Preliminary
WORLD	1 208.2	1 162.9	1 166.0	1 096.9	1 136.1	1 097.7	1 149.3	1 104.0	1 090.6
Northern Hemisphere	978.0	939.3	951.3	906.7	914.7	908.6	887.9	879.1	879.8
USA	270.0	247.0	242.0	227.0	209.0	184.0	147.0	141.0	135.0
Mediterranean Region	352.3	310.2	341.1	339.3	348.3	325.0	366.4	344.7	358.5
Cyprus	13.5	12.1	11.6	11.2	11.6	10.5	10.0	8.2	7.8
Greece	1.9	1.2	0.6	1.3	1.3	2.2	1.5	1.3	1.0
Italy	3.1	6.4	8.7	4.9	2.1	2.7	3.0	3.1	2.1
Spain	34.2	40.6	47.0	54.0	47.6	49.5	65.2	55.9	65.6
Egypt	12.0	13.0	15.1	11.0	20.6	29.5	16.3	31.9	20.4
Morocco	1.3	1.0	1.4	0.8	3.1	1.6	0.5	0.6	0.5
Israel	77.0	85.3	85.3	84.5	83.0	79.0	77.0	61.0	61.0
Lebanon	3.0	3.3	3.2	3.1	2.8	2.5	2.3	2.0	1.7
Turkey	185.0	128.2	156.7	158.3	166.0	137.2	178.3	165.9	182.4
Others, Mediterranean	21.3	19.2	11.4	10.4	11.2	10.2	12.4	14.7	16.0
France	11.1	9.3	4.9	5.3	7.1	8.2	8.9	11.2	10.5
Croatia	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.2	2.4
Slovenia	10.2	9.9	6.6	5.1	4.0	1.9	3.1	3.2	3.1
Portugal	1.2	0.5	1.3	2.7	3.0	5.0	4.0	6.5	11.9
Mexico	14.0	11.0	18.7	17.0	18.7	17.6	14.3	20.0	18.0
China, Mainland	98.9	120.0	105.1	100.3	124.4	157.9	136.9	151.9	137.5
Thailand	11.2	11.2	12.2	13.4	13.4	14.8	13.1	12.3	19.4
Others, Europe	216.6	222.9	215.7	190.9	183.8	192.2	191.0	184.8	182.0
Austria	17.9	13.9	16.7	14.3	16.3	9.7	13.4	10.0	5.7
Belgium-Luxembourg	63.2	67.4	21.8	15.0	13.2	13.0	12.3	10.1	9.2
Bulgaria	0.6	2.4	0.9	0.5	0.9	1.0	1.4	3.4	3.7
Czech Republic	2.5	2.6	2.5	3.1	3.1	4.2	5.5	6.0	6.1
Denmark	0.5	0.3	0.4	0.7	1.4	0.8	0.5	0.9	0.8
Germany	14.3	13.1	15.2	14.4	13.4	12.9	13.2	13.4	14.3
Hungary	0.4	0.2	2.3	3.4	2.6	3.3	2.2	2.2	2.4
Ireland	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1
Lithuania	3.3	4.3	6.7	6.1	7.9	8.2	6.1	4.4	4.2
Netherlands	110.3	114.7	143.7	127.5	116.9	129.0	130.7	129.8	130.4
Poland	1.4	1.3	1.7	2.4	2.9	3.7	2.3	1.8	1.9
Slovakia	0.3	0.4	0.5	0.2	0.1	0.4	0.2	0.3	0.3
Sweden	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1
Switzerland	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
UK	1.4	1.3	2.1	2.3	3.1	4.5	2.0	1.6	1.8
Estonia	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Latvia	0.0	0.3	0.6	0.6	0.7	0.6	0.8	0.8	0.9
Romania	0.0	0.2	0.4	0.4	1.3	0.7	0.1	0.1	0.2
Others, Central America	7.5	6.5	5.6	1.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0
Cuba	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Honduras	6.2	6.5	5.6	1.3	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
Dominican Republic	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Others, Northern Hemisphere	6.4	10.1	9.5	14.8	12.9	12.1	15.0	17.8	17.4
Jordan	0.7	0.6	0.6	0.5	0.0	0.7	1.0	1.3	1.5
China, Hong Kong	1.6	3.5	4.0	7.1	6.3	6.6	7.7	9.6	9.6
India	3.3	2.2	0.5	0.8	0.9	0.1	0.2	0.6	0.5
Malaysia	0.0	1.6	2.1	1.9	2.0	2.1	2.7	2.9	3.2
Russian Federation	0.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7	0.6
Singapore	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	0.6	0.5	0.3	0.3
Viet Nam	0.0	1.4	2.1	4.1	3.3	1.5	1.5	1.5	0.2
Indonesia	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Saudi Arabia	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.4	1.2	1.0	1.5

Fuente: Statistical Bulletin (Division & FAO, 2017, pág. 24)

Tabla 6. (continuación) Exportación de pomelo (mil toneladas)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016 Preliminary
Southern Hemisphere	230.2	223.6	214.7	190.2	221.5	189.1	261.4	224.9	210.9
Argentina	33.4	17.2	10.6	10.2	2.4	1.6	1.0	0.5	0.5
Australia	0.4	0.8	0.2	0.4	0.5	0.7	0.2	0.2	1.1
South Africa	196.0	199.0	198.8	173.4	213.7	180.2	252.9	217.6	202.5
Others, Southern Hemisphere	0.4	6.5	5.0	6.2	4.8	6.5	7.4	6.7	6.7
Zimbabwe	0.0	4.4	2.9	3.5	2.4	3.1	3.2	2.6	2.6
Chile	0.0	1.4	1.6	1.4	1.4	1.4	1.1	0.9	1.1
Peru	0.0	0.2	0.3	0.4	0.8	0.9	1.1	1.5	1.6
Mozambique	0.0	0.1	0.2	0.7	0.3	1.0	1.8	0.5	1.2
Uruguay	0.4	0.3	0.1	0.2	0.0	0.1	0.2	1.2	0.2

Fuente: Statistical Bulletin (Division & FAO, 2017, pág. 25)



2.2.2.2 Importación mundial por países principales

Tabla 7. Importación de pomelo (mil toneladas)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016 Preliminary
WORLD	1 119.2	1 084.8	1 094.7	1 046.8	1 037.9	1 111.7	1 065.4	1 020.9	987.5
Northern Hemisphere	1 115.1	1 080.2	1 090.4	1 042.3	1 034.0	1 107.0	1 048.6	1 009.9	979.2
Canada	51.3	47.1	46.0	45.0	44.0	43.0	42.0	40.0	40.0
USA	14.0	12.0	12.0	7.0	1.0	13.0	13.0	10.0	10.0
Mediterranean Region	164.9	155.9	146.3	136.0	131.1	142.0	133.8	135.5	122.8
France	94.3	85.7	82.9	75.4	77.3	85.0	78.1	76.0	75.8
Italy	29.9	34.7	31.7	31.0	27.5	29.1	28.5	30.4	25.5
Others, Mediterranean	40.7	35.5	31.7	29.6	26.3	27.8	27.2	29.1	21.5
Albania	0.3	0.4	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Bosnia and Herzegovina	2.1	1.7	1.9	1.7	1.6	1.3	1.9	1.5	1.6
Croatia	2.6	2.5	2.6	2.4	2.7	2.4	2.7	2.7	2.7
Cyprus	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0
Greece	2.9	2.9	2.9	3.6	2.8	4.3	3.4	3.5	3.0
Serbia and Montenegro	5.0	4.6	4.3	4.1	4.8	4.3	5.7	4.9	0.7
Slovenia	10.6	9.1	6.2	4.5	4.3	3.5	4.0	4.2	2.9
Malta	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2
Spain	12.5	9.3	8.3	6.1	6.0	6.6	5.5	8.8	7.9
Turkey	4.4	4.9	5.3	6.7	3.7	4.9	3.5	2.9	2.1
Austria	21.8	18.2	19.0	17.5	19.9	14.2	19.1	18.0	15.9
Belgium-Luxembourg	75.3	53.8	27.0	24.2	23.5	23.4	21.1	19.3	21.0
Bulgaria	8.5	12.3	11.3	11.3	10.6	9.9	13.7	14.2	16.2
China, Mainland	3.5	5.7	8.1	11.6	12.3	18.8	24.4	32.2	32.4
China, Hong Kong	10.9	16.9	17.8	17.0	24.8	15.2	15.7	15.8	16.1
Czech Republic	13.5	14.7	13.5	14.1	13.3	14.9	15.4	14.1	13.9
Denmark	5.9	5.7	5.8	5.5	5.2	5.3	5.5	5.6	5.3
Finland	2.2	2.0	2.2	2.2	2.2	2.3	2.4	2.0	2.2
Germany	83.7	84.5	81.5	64.3	59.5	69.5	64.2	62.9	61.1
Hungary	4.6	5.3	6.8	5.7	5.6	6.4	6.2	6.2	5.3
Ireland	4.7	2.9	3.1	2.9	3.6	3.9	4.6	4.6	3.5
Japan	188.0	180.0	174.8	160.0	151.4	127.3	106.9	101.0	83.4
Latvia	2.8	2.9	3.1	3.4	4.0	3.6	3.8	4.3	4.5
Lithuania	10.8	11.2	12.5	11.6	13.9	14.0	12.7	9.0	8.5
Netherlands	160.6	166.6	190.2	178.3	169.6	181.3	159.4	166.9	161.7
Poland	37.1	44.0	39.0	41.7	44.1	47.5	44.7	49.8	49.9
Portugal	2.3	1.3	2.4	2.5	2.9	4.5	3.6	4.7	6.9
Romania	33.9	28.2	30.9	26.1	30.8	23.4	32.4	31.9	32.0
Russian Federation	89.5	91.4	112.0	117.0	113.0	141.0	133.0	101.0	105.0
Slovakia	5.7	5.0	5.0	5.6	5.6	5.6	6.1	5.8	6.0
Sweden	8.0	7.6	7.5	9.7	8.6	7.9	7.5	6.9	6.8
Switzerland	8.0	8.6	7.4	7.2	7.4	7.3	7.2	7.2	7.1
UK	43.7	35.3	36.8	37.0	37.0	34.0	33.8	33.2	31.6
Ukraine	17.7	17.3	20.8	25.7	26.8	31.7	22.4	12.4	18.8

Fuente: Statistical Bulletin (Division & FAO, 2017, pág. 36)

Tabla 7. (Continuación) Importación de pomelo (mil toneladas)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016 Preliminary
Others, Northern Hemisphere	42.5	43.9	47.9	52.1	62.5	96.2	93.9	95.3	91.2
Armenia	0.6	0.9	1.2	1.1	1.2	1.2	1.3	1.0	1.3
Azerbaijan	0.0	0.1	0.2	0.4	0.5	0.1	0.0	0.1	0.0
Belarus	4.7	4.6	4.7	4.2	4.5	8.3	8.5	7.0	5.9
Estonia	1.5	1.5	1.6	1.1	1.5	1.5	1.4	1.5	1.6
Georgia	0.3	0.4	0.3	0.5	0.9	1.0	0.8	0.9	1.0
Guatemala	0.0	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
Iceland	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2
Indonesia	0.3	0.3	0.2	0.4	0.3	0.1	0.2	0.1	0.1
Jordan	0.4	0.3	0.4	0.3	0.6	0.8	1.3	0.9	0.9
Kazakhstan	0.7	0.9	1.1	0.8	1.3	1.5	1.1	1.3	1.2
Kuwait	0.0	0.0	0.0	10.0	0.0	2.4	2.9	2.6	2.6
Macedonia	1.0	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	1.5	1.3	1.3
Malaysia	1.1	1.1	0.9	1.1	1.3	0.9	1.3	1.7	1.6
Mexico	10.0	11.0	10.0	2.0	8.3	2.2	1.7	2.6	1.9
Norway	1.5	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4	1.3
Oman	0.1	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2
Philippines	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3
Qatar	1.3	0.0	1.2	0.0	0.0	3.9	6.0	6.3	6.3
Republic of Korea	4.9	5.7	8.0	9.3	10.5	11.6	19.5	25.0	23.2
Republic of Moldova	1.6	1.6	1.7	1.7	1.6	1.6	1.7	1.7	1.7
Saudi Arabia	8.0	8.0	8.5	11.2	21.5	50.9	37.1	33.5	33.5
Singapore	4.1	4.0	4.5	4.6	5.3	5.1	5.5	5.6	5.1
Southern Hemisphere	4.0	4.6	4.3	4.4	3.9	4.7	16.8	11.1	8.3
Argentina	2.0	2.0	1.8	2.0	1.3	1.6	1.4	1.5	2.4
Australia	0.7	0.8	0.9	1.0	1.0	1.2	1.5	1.3	1.0
New Zealand	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2
South Africa	0.4	1.0	0.6	0.6	0.5	0.5	12.0	7.0	4.0
Others, Southern Hemisphere	0.5	0.5	0.6	0.4	0.8	1.0	1.6	1.0	0.6
Paraguay	0.2	0.1	0.2	0.0	0.4	0.4	1.1	0.4	0.1
Uruguay	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.2	0.3	0.3
Brazil	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

Fuente: Statistical Bulletin (Division & FAO, 2017, pág. 37)

2.3 PECTINA

2.3.1 Las pectinas en el entorno productivo

Por consiguiente, las sustancias péctnicas por ser unas de las mayores constituyentes de las paredes celulares de los vegetales, se obtienen a partir de los restos o subproductos que derivan de la agroindustria procesadora de frutas como parchita, naranja, limón, toronja, manzanas, piña, guayaba dulce, entre otras; lo que genera para quienes lo transforman un valor agregado y por ende resultan más económicas que otros espesantes o texturizadores de productos procesados.

Por otro lado, establece que la cantidad y calidad final de este producto gelificante, dependerá de varios aspectos, como la variedad, tipo de fruto, cantidad que el mismo contiene, índice de maduración, manejo post cosecha, actividad enzimática una vez recolectado el fruto y por supuesto del método empleado durante el proceso de extracción. La escogencia de la parte del fruto que se utilizará, en conjunto con las técnicas empleadas en el proceso de obtención serán también de gran importancia e incidirán de manera favorable o desfavorable en las características finales de la pectina obtenida. Por consiguiente es necesario recalcar que en frutos muy verdes una gran parte del contenido péptico es insoluble en agua, la solubilidad y cantidad dependerán del grado de madurez, pues ello genera un cambio a nivel estructural que repercute directamente en la textura (Inciarte, 2016, pág. 81).

2.3.2 Definición de pectina

Está inicialmente presente como protopectina insoluble la cual se transforma en pectina soluble durante el proceso de maduración de las frutas. Si la fruta experimenta una maduración excesiva, puede producirse una descomposición molecular debido a la acción de las enzimas pectinolíticas las cuales producen pectinas de cadena más cortas con menores propiedades gelificantes y viscosantes (Ferreira Ardila, 2007, pág. 13).

Las sustancias pécticas son macromoléculas de naturaleza glucídica, de origen exclusivamente vegetal y compuestas esencialmente de ácido galacturónico polimerizado. Se las encuentra en mayor parte de los tejidos vegetales, donde desempeñan una importante función en el mantenimiento de su textura.

Así mismo la definen como un hidrato de carbono purificado que se obtiene de la porción interna de la cáscara de los frutos cítricos o del bagazo de las manzanas exprimidas por extracción con ácidos diluidos. La cáscara de los cítricos es rica en pectina, modificándose su contenido según la estación y la variedad. Esta sustancia se asocia con la celulosa y le proporciona a la pared celular la habilidad de absorber grandes cantidades de agua. La celulosa tiene un importante rol en la estructura ya que le da rigidez a las células, mientras que la pectina confiere la textura (Inciarte, 2016, págs. 50,51).

2.3.3 Clasificación de las sustancias pécticas

2.3.3.1 Según su estructura

a) **Protopectina:** termino aplicado a las sustancias pécticas insolubles en agua, y que bajo condiciones controladas de hidrólisis ácida originan ácidos pectínicos. Esta fue descubierta por Fremy en el año 1840, es la forma nativa de la pectina. Es un polímero insoluble en agua y se encuentra en las etapas de formación y maduración de los tejidos vegetales, están constituidos por azúcares parcialmente metilados, particularmente por unidades de anhidro galacturónico enlazada unas a otras. Se encuentra contenida en forma desconocida en los tejidos vegetales.

b) **Ácidos pectínicos:** son los ácidos poligalacturónicos coloidales que contienen una apreciable proporción de grupos metil-éster. Estos ácidos, bajo condiciones adecuadas, son capaces de formar geles con azúcar y ácido o, si presentan un bajo contenido en metoxilo, con determinados iones metálicos. Las sales de los ácidos pectínicos se denominan pectinatos. Se caracteriza por contener una cantidad menor al 4% de metoxilos,

c) **pectinas:** son aquellos ácidos pectínicos solubles en agua, de elevado contenido en ésteres metílicos y grado de neutralización, capaces de formar geles con azúcar y ácido bajo condiciones adecuadas.

d) **Ácidos pécticos:** son aquellas sustancias pécticas constituidas principalmente por ácidos poligalacturónicos prácticamente libres de grupos metoxilo. Las sales de estos ácidos se denominan pectatos.

2.3.3.2 De acuerdo al grado de esterificación

El grado de esterificación es aquel que se encarga de medir la cantidad de grupos carboxilos que se encuentran esterificados con alcohol en la cadena de ácido galacturónico. Según el grado de esterificación se clasifican en:

a) Pectinas de alto grado de metoxilo

Son aquellas pectinas que contienen un grado de esterificación que supera el 50%, una de sus características principales es que forma geles en presencia de azúcar, ácido y agua (Inciarte, 2016, págs. 52,53).

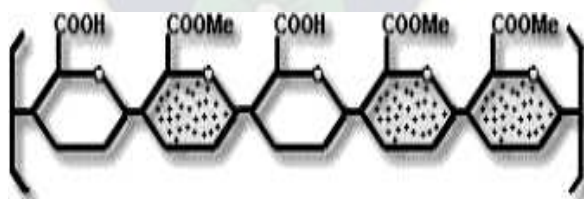


Figura 4. Estructura de pectina de alto grado de metoxilo

Fuente: (Inciarte, 2016, pág. 54)

Estas pectinas son capaces de formar geles en condiciones de pH entre 2,8 y 3,5 y un contenido de sólidos solubles (azúcar) entre 60% y 70%, en promedio 65% (Ferreira Ardila, 2007, pág. 17).

En la formación del gel con pectinas de alto metoxilo se sabe que a pH 3,0 cerca del 90% de los grupos ácidos están en forma no disociada y son por lo tanto capaces de formar puentes de

hidrógeno con grupos ácidos o hidroxilos de cadenas adyacentes. Estas zonas de unión pueden considerarse como “cristalinas” mientras que las partes de la molécula que no presentan uniones entrecruzadas están en solución. Podría decirse que en un gel con pectinas de alto metoxilo la mitad está en solución y la mitad no (Ferreira Ardila, 2007, pág. 18).

La característica más importante de la pectina es el poder de gelación, ya que esta característica indica la capacidad del producto de formar geles y es la que define la clase de pectina, “Ultrarrápido”, “Rápido”, “Medio rápido” o “Lento”. El poder de gelación es directamente proporcional al grado de metoxilación de la pectina (Bentacourt Latorre & Llano Moreno, 2009, pág. 13).

Tabla 8. Características de las pectinas

Característica	Ultrarrápido	Rápido	Medio Rápido	Lento
%esterificación	74-95	71-74	66-70	58-65

Fuente: (Bentacourt Latorre & Llano Moreno, 2009, pág. 14)

b) Pectinas de bajo metoxilo

Presentan un bajo grado de esterificación por lo general por debajo del 50%, este tipo de pectina no solo necesita de azúcar y agua sino también la presencia de calcio para generar la formación de geles.

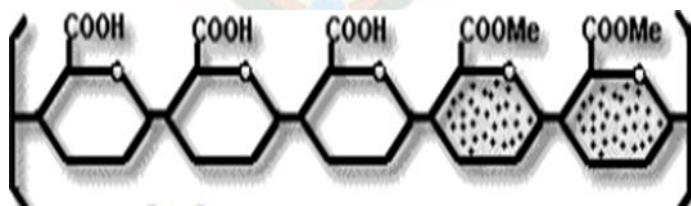


Figura 5. Estructura de pectina de bajo grado de metoxilo

Fuente: (Inciarte, 2016, pág. 54)

En este caso los geles se pueden obtener entre pH 1,0 a pH 7,0 o aún superior; el pH no afecta la textura del gel ni el intervalo de sólidos solubles y puede fluctuar entre 0% y 80% pero la presencia de calcio (40-100 mg) es el factor predominante en la formación del gel. Si no hay calcio no se produce gelificación (Ferreira Ardila, 2007, pág. 18).

2.3.4 Composición química y estructura de la pectina

Estructuralmente se componen principalmente por ácido galacturónico unidos enlace α 1-4.

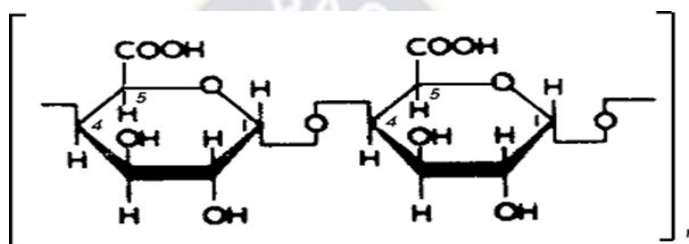


Figura 6. Estructura de la pectina

Fuente: (Inciarte, 2016, pág. 55)

La pectina es un polímero del ácido D-galacturónico con unidades unidas por enlaces α 1-4. Las cadenas de pectina están interrumpidas por unidades de L- ramnosa unidas mediante enlaces α 1-2. También se puede encontrar galactosa, arabinosa, glucosa y xilosa. Por lo menos tres de estos azúcares neutros se han encontrado en pectinas en forma de cadenas laterales cortas (Ferreira Ardila, 2007, pág. 16).

2.4 EXTRACCIÓN

2.4.1 Definición

Es un proceso que implica separación, donde entran en contacto 2 sustancias inmiscibles entre si y las sustancias que se van a separar se diluyen en varias proporciones durante las diferentes fases. Es un trabajo unitario, donde uno de los constituyentes se elimina o separa, por entrar en contacto con otro material o fase que tiene mayor afinidad por él, mientras que los componentes se quedan en la matriz vegetal.

2.4.2 Métodos de extracción de pectina.

Las pectinas de buena calidad se obtienen de una gran variedad de frutos. La cantidad o rendimiento de esta varía de una fruta a otra, ya sea por la constitución de sus tejidos o por el estado de maduración. Por lo general, el proceso de extracción está basado en una hidrólisis, una separación y recuperación del material. Sin embargo, existen numerosas técnicas y de ellas dependerá la calidad o el tipo de pectina final a obtener y su beneficio para el ser humano. Por ello, se hace necesario que al extraerla del tejido vegetal que las contiene, ya sea, mediante la utilización de equipos, reactivos o disolventes, estos no dejen residuos tóxicos que repercutan directamente en el producto final y que afecten la salud humana.

2.4.2.1 Extracción tipo soxhlet.

Se emplea para materiales sólidos, es de extracción continua y se basa en la técnica de arrastre con vapor. Existe una gran variedad de equipos para llevar a cabo este proceso de extracción, uno de los más eficientes y fáciles de usar es el equipo soxhlet inventado por Franz Von Soxhlet en el año 1879, para ser utilizado en la extracción de lípidos a partir de muestras sólidas (Inciarte, 2016, pág. 99).

2.4.2.2 Extracción Asistida por Microondas (EAM).

Está basada en el uso de energía de microondas para que los compuestos o sustancias de interés pasen de la muestra a un disolvente adecuado. Este método utiliza volúmenes pequeños de solvente y permite controlar los parámetros que afectan la eficiencia en la extracción.

2.4.2.3 Hidrólisis ácida.

Se basa en la extracción de pectina a partir de frutas cítricas. En este método la materia prima se suspende en agua caliente con una cantidad específica de un ácido fuerte, posterior a ello la solución resultante se retira de los sólidos insolubles por filtración; luego se debe mezclar con

alcohol para hacer precipitar la pectina. El precipitado se extrae y se purifica lavándolo y finalmente es secado, molido y tamizado.

2.4.2.4 Hidrodestilación.

Consiste en aplicar calor y separar por medio de este los componentes de una mezcla, aprovechando las diferencias de volatilidades de los compuestos. El material vegetal se debe colocar en contacto directo con el agua o solvente, luego cuando se le aplica calor comienza a destilar al alcanzar el punto de ebullición del solvente. El vapor de agua que se genera por la temperatura alta extrae compuestos que se encuentran localizados en el interior del vegetal. La fase orgánica que se forma es separada del material vegetal, basándose la temperatura de ebullición de la mezcla a presión.

2.4.2.5 Extracción con microorganismos.

Consiste en colocar el tejido vegetal que contiene la pectina naturalmente en su interior a la acción de los microorganismos pertenecientes al género Bacillus, quienes permiten la liberación y recuperación de las mismas, dando como resultado una pectina de buen rendimiento y de alto peso molecular (Inciarte, 2016, pág. 100).

2.4.3 Factores que influyen en el proceso de extracción

2.4.3.1 Tamaño de partícula

La presencia de partículas muy finas, dificulta los procesos de percolación pues se presenta compactación y formación de falsas vías, y los procesos de maceración, en donde las partículas pasan al extracto, haciendo necesaria la realización de la etapa adicional de filtración, la cual no siempre es de fácil ejecución.

2.4.3.2 Velocidad de agitación

La eficiencia del proceso extractivo es función del equilibrio de saturación del solvente. La agitación hace que nuevas cantidades de solvente, pobre en las sustancias extraíbles, entren en contacto con el sólido y un nuevo punto de equilibrio de saturación sea alcanzado.

2.4.3.3 Temperatura

La disolución de las sustancias extraíbles es facilitada por el aumento de la temperatura. Muchos principios activos son termolábiles y pueden ser destruidos, total o parcialmente, a temperaturas elevadas.

2.4.3.4 pH

El pH influye en la solubilidad de diversos compuestos ya que permite la posibilidad de formación de sales.

2.4.3.5 Tiempo de extracción

El tiempo de extracción debe ser suficiente para permitir la separación de los compuestos de interés, aunque se debe prestar cuidado para que no sea excesivo.

2.4.3.6 Naturaleza del solvente

Dependiendo de la finalidad deseada, el solvente utilizado extrae, selectivamente o no, cierta clase de compuestos. El alcohol etílico y sus mezclas con agua es el solvente por excelencia para la obtención de extractos y tinturas (Sharapin, 2000, págs. 39,40).

2.4.4 Cinética de extracción

2.4.4.1 Cinética química

Es el estudio de las velocidades de las reacciones químicas y de los mecanismos mediante los que tienen lugar. La cinética química introduce la variable tiempo en el estudio de las reacciones químicas y estudia el camino que siguen los reactivos para convertirse en productos.

Muchas veces este camino necesita que los reactivos superen barreras de energía (activación) para que la reacción se produzca, y ello determina la velocidad de la reacción.

2.4.4.2 Velocidad de reacción

Es la rapidez con que se modifica la concentración de un producto o un reactivo al transcurrir el tiempo (Quimbiotec, 2006, pág. 2).

a) Ecuación integrada de la velocidad

La ecuación de velocidad integrada da las concentraciones de reactivos y productos en función del tiempo. Se obtiene por integración de la ley de velocidad: (Quimbiotec, 2006, págs. 9-11).

Cinética de primer orden $A \rightarrow C$

$$v(t) = -\frac{d[A]}{dt} = k[A] \rightarrow \ln \frac{[A]}{[A]_0} = -kt$$

Cinética de segundo orden $A \rightarrow C$

$$v(t) = -\frac{d[A]}{dt} = k[A]^2 \rightarrow \frac{1}{[A]} = \frac{1}{[A]_0} + kt$$

2.4.4.3 Energía de activación

Toda reacción química, espontánea o no, lleva aparejada la necesidad de un cierto aporte de energía para iniciarse: energía de activación.

a) Dependencia de las velocidades de reacción con la temperatura

Arrhenius (1889) demostró que las constantes de velocidad de muchas reacciones varían con la temperatura según la expresión: (Quimbiotec, 2006, págs. 14,15).

$$k = A * \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right)$$

$$\ln k = \frac{-E_a}{RT} + \ln A$$

Si el proceso es controlado por la transferencia de masa o por reacción química en función de lo siguiente: (Ramírez Hernández, Moreno Quintero, Curbelo Hernández, & Crespo Zafra, 2016, pág. 5).

$E_a < 12 \text{ KJ/mol}$ el proceso es controlado por la difusión

$E_a > 40 \text{ KJ/mol}$ el proceso es controlado por la reacción química

2.5 TÉCNICAS PARA LA PRECIPITACIÓN DE PECTINA

Las técnicas para hacer precipitar a las pectinas son numerosas, depende en cierto modo de ellas para obtener diferentes grados de purezas, a continuación se describen algunas:

a) Precipitación con acetona. La acetona tiene la particularidad de hacer precipitar a la pectina, resultado de ello es una coagulación más firme, aunque también tiende a precipitar otras sustancias no pécticas.

b) Precipitación con sales metálicas. El sulfato de cobre y el alumbre son las sales más usadas, este procedimiento arroja buenos resultados, pero tiene el inconveniente de la remoción posterior del metal.

c) Precipitación con alcohol etílico. Es el más empleado, tiene la propiedad de precipitar la pectina directamente del material vegetal, va a depender de la presencia de electrólitos y el grado de esterificación (Inciarte, 2016, pág. 101).

2.6 USOS Y APLICACIONES DE LA PECTINA A NIVEL AGROINDUSTRIAL

La pectina es algo más que el material que produce mermelada, es una materia versátil y sin peligro para la salud que se deriva de fuentes naturales y puede ciertamente pretender ser un aditivo alimentario con una imagen muy saludable que contrasta con las implicaciones en los riesgos sobre la salud de muchos aditivos, por este motivo se utiliza en una diversidad de agroindustrias dentro de las cuales se pueden nombrar:

2.6.1 Aplicaciones en la industria de alimentos

2.6.1.1 Mermeladas y jaleas

La función principal es proporcionar una viscosidad al producto de manera que evite cambios durante el transporte, aumente su vida útil y sea apetitoso ante los ojos del consumidor, la cantidad de pectina utilizada es muy variada dependiendo la fruta con la que se esté realizando sin embargo el rango de concentración oscila entre 0,1-0,5.

2.6.1.2 Preparación de frutas para yogur

Las pectinas clasificadas como “bajo grado de esterificación” se utilizan con frecuencia para preparar el almíbar de frutas que se usan para el consumo de yogures, generando una textura suave y parcialmente tixotrópica (características de fluidos que alcanzan mayor viscosidad a medida que se aplica agitación) (Inciarte, 2016, pág. 68).

2.6.1.3 Golosinas

Se usan en la industria de golosinas para preparar gomas de fruta y rellenos, los cuales se aromatizan con componentes de frutas naturales o sabores sintéticos en combinación con agentes montadores. A pesar de que la utilización de pectina necesita de una rigurosa observación ofrece una diversidad de beneficios, ya que se obtiene una textura fina, sabor agradable y una gelificación rápida.

2.6.2 Aplicaciones de la pectina en la industria farmacéutica

La utilización de la pectina en la industria farmacéutica se debe principalmente a sus propiedades de atrapar una alta cantidad de agua confiriéndole casi siempre la capacidad de producir un efecto de sinergia que provoca la acción de principios activos componentes de la especialidad. Le proporciona estabilidad a las formulaciones líquidas farmacéuticas. Tiene un efecto positivo en algunas enfermedades, especialmente en diarreas y vómitos, ya que ayuda a

tolerar y asimilar los alimentos en especial los derivados lácteos a través de la formación de un sistema que cumple funciones de protección y regulación en el aparato gastrointestinal.

En este sentido, las pectinas de alto metoxilo asociadas a otros principios activos, tienen una gran utilización en los tratamientos de gastritis y úlceras, ya que al ser ingerida cubre las paredes estomacales de una especie de película más o menos gelificada, y la protege de hipersecreciones gástricas y biliares. Su acción en la pared intestinal es análoga; además, se añade una acción desintoxicante, debido al poder adsorbente y secuestrante de la macromolécula péctica, que permite la inhibición de toxinas. Esta propiedad se utiliza a veces en casos de envenenamiento por metales (Inciarte, 2016, pág. 69).

2.6.3 Cosméticos y productos de aseo

Se utiliza en la realización de pastas dentífricas (crema dental o pasta de dientes), cremas corporales, absorbentes en jabones, entre otros.

2.6.4 Industria Metalmecánica

Ayuda en el endurecimiento del acero y otras aleaciones puede usarse en concentraciones de 0.2 a 4%, la pectina es más ventajosa que los aceites debido a que la operación se regula con facilidad cambiando las concentraciones. De igual manera se utiliza para recubrir las láminas de aluminio.

2.6.5 Otras industrias

Se utiliza en diversas industrias para la producción y preparación de:

- En la industria de plásticos y fabricación de productos espumantes como agentes de clarificación y aglutinantes.
- Preparación de fibras.
- Fabricación de papel celofán y cintas de adorno.

- Para la preparación de sustancias adhesivas en sustitución de la dextrina (Inciarte, 2016, pág. 70).

2.7 PRODUCCION DE PECTINA

2.7.1 Importación de pectina en Bolivia

La importación de pectina por año en Bolivia se menciona en la siguiente tabla.

Tabla 9. Importación de pectina en Bolivia

	AÑO					
	2015		2016		2017	
	Peso bruto	Valor CIF	Peso bruto	Valor CIF	Peso bruto	Valor CIF
	en (kg)	en (\$us)	en (kg)	en (\$us)	en (kg)	en (\$us)
Materias	13086	224553	11690	190446	21055	349059
Pécticas						

Fuente: INE

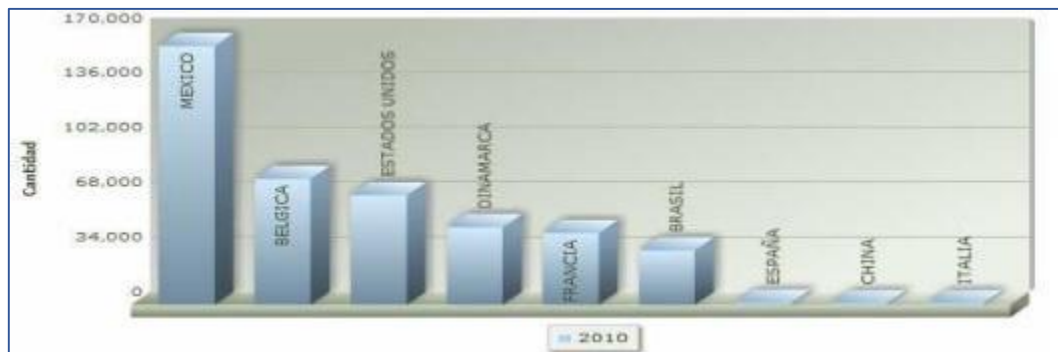
2.7.2 Productores de pectina a nivel mundial

La pectina es un aditivo muy importante en los alimentos, usado en el procesamiento de frutas, vegetales y en las industrias farmacéuticas. Principalmente, se utilizan las manzanas y frutas cítricas como materia prima para la fabricación de las pectinas comerciales. El uso de pectina en mermeladas de alto contenido de azúcar es una de las más conocidas aplicaciones a uno de los mercados más grandes para la pectina.

Anualmente se producen aproximadamente 35.000 toneladas métricas de pectina en el mundo. Los mayores productores de pectina, producen más de 8 mil toneladas anuales. El principal país productor es México, le siguen Bélgica, Estados Unidos, Dinamarca, Francia,

Brasil, España, China e Italia. Cada año los Estados Unidos importa más de siete millones de libras de pectina.

Tabla 10. Principales países productores de pectina



Fuente: Estudio de pre factibilidad (Ferreyra Guerrero, 2015, pág. 41)

2.8 DISEÑO EXPERIMENTAL

2.8.1 Diseño de experimentos

El diseño de experimentos (DOE) es una técnica que consiste en realizar una serie de experimentos en los que se inducen cambios deliberados en las variables de un proceso, de manera que es posible observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida. Con esta técnica se puede conseguir, por ejemplo, mejorar el rendimiento de un proceso y reducir su variabilidad o los costos de producción. Su aplicación en la industria comprende campos como la Química, la Mecánica, los materiales, la Ingeniería Industrial o la Electrónica (Ilzarbe Izquierdo, Tanco, Viles, & Alvarez Sanchez Arjona, 2007, pág. 128).

2.8.2 Metodología para la aplicación del diseño de experimentos

Un diseño de experimentos implica mucho más que decidir cuáles son las condiciones en las que se realizarán cada uno de los experimentos necesarios para conseguir el objetivo; se deben considerar, además, varias etapas previas y posteriores a la ejecución de tales experimentos. Se ha decidido seguir la metodología de Montgomery, base de muchas otras, que consta de las siete etapas mostradas en la figura 7.

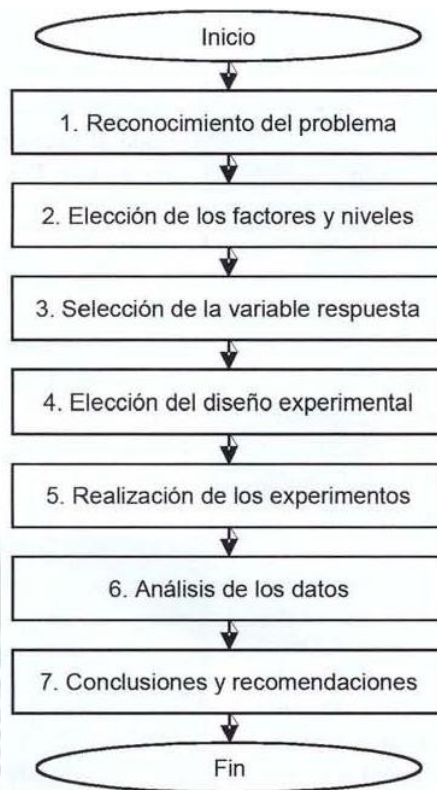


Figura 7. Procedimiento para la realización de un DOE

Fuente: (Ilzarbe Izquierdo, Tanco, Viles, & Alvarez Sanchez Arjona, 2007, pág. 130)

Se formulan algunas recomendaciones que el propio Montgomery sugiere tener en cuenta durante todo el proceso de la experimentación:

- **Utilizar los conocimientos previos sobre el problema:** el conocimiento del proceso adquiere una importancia significativa en cada una de las etapas del diseño.
- **Mantener el diseño y el análisis lo más sencillo posible:** si se realizan correctamente los pasos establecidos para el diseño del experimento se obtendrá un diseño sencillo que, en general, conduce a un análisis sencillo y más fácil de interpretar.
- **Entender la diferencia entre estadísticamente significativo y significativo en la práctica:** aunque las nuevas condiciones produzcan mejores resultados, esto no significa que en la práctica sean aplicables. Algunas veces suele suceder que

modificar las condiciones de operación de una variable resulta más caro que las ventajas obtenidas con el cambio.

- **Recordar que los experimentos son iterativos:** generalmente, al principio de toda experimentación no se posee la información suficiente para realizar un análisis completamente correcto. Por eso se recomienda no invertir más del 25-40% del presupuesto en los primeros experimentos (Iizarbe Izquierdo, Tanco, Viles, & Alvarez Sanchez Arjona, 2007, págs. 130,131).

2.8.3 Diseño factorial 2^k

Los diseños factoriales se usan ampliamente en experimentos que incluyen varios factores cuando es necesario estudiar el efecto conjunto de los factores sobre una respuesta.

El más importante de estos casos especiales es el de k factores, cada uno con sólo dos niveles. Estos niveles pueden ser cuantitativos, como dos valores de temperatura, presión o tiempo, o bien cualitativos, como dos máquinas, dos operadores, los niveles "alto" y "bajo" de un factor (Montgomery, 2004, pág. 218).

2.9 DISEÑO DEL EXTRACTOR (NIVEL BENCH SCALE)

2.9.1 Tanque agitado

Los líquidos se agitan con más frecuencia en algún tipo de tanque o recipiente, por lo general de forma cilíndrica y provista de un eje vertical. La parte superior del tanque puede estar abierta al aire; pero generalmente está cerrada. Las proporciones del tanque varían bastante, dependiendo de la naturaleza del problema de agitación. Sin embargo, en muchas situaciones se utiliza un diseño estandarizado como el que se muestra en la figura 8, El fondo del tanque es redondeado, no plano, para eliminar las esquinas o regiones agudas en las que no penetrarían las corrientes de fluido. La profundidad (o altura) del líquido es aproximadamente igual al diámetro del tanque (Mc Cabe, Smith, & Harriot, 2002, pág. 260).

Un agitador va instalado sobre un eje suspendido, es decir, un eje sostenido en la parte superior. El eje es accionado por un motor, a veces directamente conectado al eje, pero es más común que se encuentre conectado a éste, a través de una caja reductora de velocidad. Por lo general también lleva incorporados accesorios tales como líneas de entrada y salida, serpentines, encamisados y pozo para termómetros u otros equipos de medición de la temperatura (Mc Cabe, Smith, & Harriot, 2002, pág. 260).

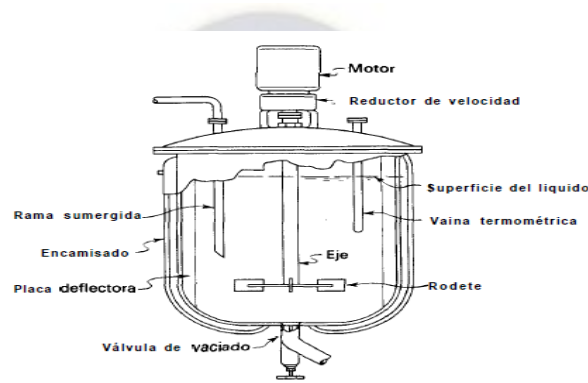


Figura 8. Tanque típico de proceso con agitación

Fuente: Operaciones Unitarias en Ingeniería Química (Mc Cabe, Smith, & Harriot, 2002, pág. 260)

2.9.1.1 Tipos de impulsores

Los tres principales tipos de impulsores son de palas, turbinas y hélices.

✚ Impulsores de Pala

Las palas giran a bajas o moderadas velocidades en el centro del estanque, impulsando el líquido radial y tangencialmente, sin que haya prácticamente movimiento vertical a excepción de que las placas se encuentren inclinadas. Las corrientes que generan se desplazan hacia fuera hasta la pared del estanque y después hacia arriba o hacia abajo. Los agitadores de palas giran a velocidades comprendidas entre 20 y 150 rpm aproximadamente.

A velocidades muy bajas los agitadores de palas generan una agitación muy suave en estanques sin placas deflectoras. Para velocidades más elevadas, estas que son necesarias ya que

de lo contrario el líquido se desplaza en bloque alrededor del estanque con alta velocidad, pero con poca mezcla (Castillo Uribe, 2013, pág. 14).

Impulsores de Hélice

El flujo de un impulsor de hélice es axial, trabaja a altas velocidades y se utiliza para líquidos de baja viscosidad. Las hélices pequeñas pueden girar utilizando transmisión directa a una velocidad que varía entre 1150 y 1750 rpm; las hélices grandes pueden girar entre 400 y 800 rpm. Las corrientes de flujo que salen del impulsor continúan a través del líquido en una dirección determinada hasta que chocan con el fondo o las paredes del estanque. Se utilizan para homogenizar, suspender fluidos y favorecer el intercambio de calor.

Impulsores de Turbina

Se consideran velocidades medias de 100 a 300 rpm y elevadas de 300 a 1000 rpm. Las placas pueden ser rectas o curvas, inclinadas o verticales. Los de turbina son eficaces para un amplio intervalo de viscosidades. Cerca del impulsor se produce una zona de corrientes rápidas, una elevada turbulencia y un intenso esfuerzo de corte. Las corrientes principales son radiales y tangenciales. Los componentes tangenciales inducen la formación de vórtices y remolinos, los que se evitan utilizando placas deflectoras. Turbina tipo hojas inclinadas: Este tipo de impulsor combina flujo radial con flujo axial (Castillo Uribe, 2013, págs. 17-19).

2.9.1.2 Flujos axial, radial y tangencial

La velocidad del fluido en cualquier punto del estanque tiene tres componentes, y el tipo de flujo predominante va a depender de las variaciones del movimiento y de la velocidad de estas. La primera componente de velocidad es radial y actúa en dirección perpendicular al eje del impulsor. La segunda es longitudinal o axial y actúa en dirección paralela al eje. La tercera es tangencial o rotacional, y actúa en dirección tangencial a la trayectoria circular descrita por el impulsor. El flujo será definido por el tipo de impulsor a utilizar. Generalmente para flujos

radiales se usan impulsores de turbinas planas, para flujos axiales se usan hélices marinas con ángulos en sus palas no mayores a 90°, para flujos tangenciales (velocidades bajas) se utilizan impulsores de palas, para flujo combinado axial y radial se usa turbina de aspas inclinadas a 45 grados (Castillo Uribe, 2013, pág. 22).

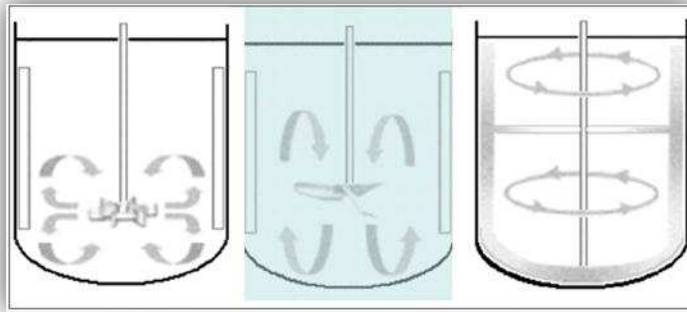


Figura 9. Representación de flujos: Radial, Axial y Tangencial

Fuente: Modelos de flujo (Castillo Uribe, 2013, pág. 22)

2.9.1.3 Diseño del tanque de agitación

Varios tipos de recipientes y tanques de diferentes formas y tamaños geométricos se utilizan para el mezclado de fluidos. Las proporciones geométricas del sistema de agitación que se considera como el diseño “normal” se muestran en la tabla 11:

Tabla 11. Proporciones Geométricas para un sistema de agitación Normal

$\frac{J}{D_t} = \frac{1}{12}$	$\frac{D_a}{D_a} = \frac{2}{3}$	$\frac{C}{D_t} = \frac{1}{3}$
$\frac{L}{D_a} = \frac{1}{4}$	$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{5}$	$\frac{H}{D_t} = 1$

Fuente: Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias (Geankoplis, 1998, pág. 165)

En algunos casos, para las correlaciones del agitador, $W/D_a = 1/8$. El número de deflectores en la mayoría de los usos es 4. El claro o brecha entre los deflectores y la pared suele ser de 0.10

a 0.15 J para asegurar que el líquido no forme bolsas cerca de esa zona. En pocas correlaciones la relación entre el deflector y el diámetro del tanque es $J/D_t = 1/10$ en lugar de $1/12$ (Geankoplis, 1998, pág. 164).

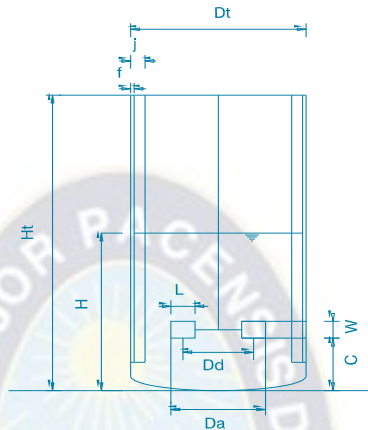


Figura 10. Parámetros del Tanque

Fuente: Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias (Geankoplis, 1998, pág. 163)

2.9.1.4 Parámetros característicos en agitadores

a) Número de potencia

El consumo de potencia se relaciona con la densidad del fluido, su viscosidad, la velocidad de rotación y el diámetro impulsor D_a . El número de potencia es:

$$N_p = \frac{P}{\rho \cdot N^3 \cdot D_a^5}$$

Dónde:

$N =$ Velocidad de agitación [rev/s]

$D_a =$ Diámetro Impulsor [m]

$\rho =$ Densidad de la mezcla [Kg/m^3]

$P =$ Potencia [W] o [J/s]

b) Número de reynolds

Con diversos estudios se ha demostrado que la transición del flujo laminar al turbulento en tuberías no está sólo en la función de la velocidad, sino, también de la densidad y viscosidad de fluido y del diámetro del tubo. Estas variables se combinan en la expresión del número de Reynolds, que es adimensional:

$$N_{Re} = \frac{N \cdot D^2 \cdot \rho}{\mu}$$

Dónde:

$N =$ Velocidad de Agitación [*rev/s*]

$D_a =$ Diámetro del agitador [*m*]

$\rho =$ Densidad del fluido [*Kg/m³*]

$\mu =$ Viscosidad [*Kg/m · s*]

El valor del número de Reynolds define si el carácter del fluido es turbulento o laminar. Además, se considera que el paso entre el régimen laminar y el turbulento no es inmediato, pasando por una zona de transición. Se define de la siguiente manera: (Geankoplis, 1998, pág. 164).

- Régimen laminar: $N_{Re} < 10$
- Régimen transitorio: $10 < N_{Re} < 10000$
- Régimen turbulento: $N_{Re} > 10000$

2.9.2 Escalamiento

El escalado se fundamenta en el llamado principio de semejanza o similitud. Este principio se refiere a las relaciones entre sistemas físicos de tamaños diferentes y es esencial para el cambio de escala de procesos químicos y bioquímicos (Ruiz Colorado, 2009, pág. 17).

El principio de similitud busca mantener constantes los fenómenos que caracterizan el proceso en cuestión y hacer uso de los grupos adimensionales.

Los tipos de similitudes importantes en la mayoría de estudios en ingeniería química son los siguientes: i) geométrica: proporcionalidad dimensional en aspectos mecánicos y estáticos (deformación); las relaciones de las dimensiones correspondientes son iguales en ambos sistemas. ii) Cinemática: no sólo hay similitud geométrica, sino que, además, las relaciones de velocidad en puntos correspondientes en cada sistema son iguales (movimiento). iii) Dinámica o de fuerzas: si además de la similitud cinemática, las relaciones de las fuerzas entre puntos correspondientes en cada sistema son iguales. iv) Térmica: los cocientes de los flujos de calor convectivo, conductivo y por radiación tienen valores idénticos en ambos sistemas; pero se requiere la similitud geométrica, si los sistemas se encuentran a diferentes temperaturas. v) Química: la selección de las dimensiones y condiciones de operación para satisfacer las similitudes geométrica, térmica y química (Ruiz Colorado, 2009, págs. 19,20).

El escalado de procesos químicos, para llevar a cabo un escalado satisfactorio es necesario cumplir con la teoría de la similitud ($m' = k \cdot m$), donde m y m' son los modelos a pequeña escala y a gran escala, respectivamente, y k corresponde al factor de escala.

El cambio de escala o generalización es un proceso propio e ineludible en la industria. El cambio de escala es una proyección en la cual los datos obtenidos en un sistema se utilizan para diseñar otro de tamaño diferente, es decir, una proyección es una correspondencia biunívoca entre los puntos de un sistema 1 y los puntos de un sistema 2. Existe una serie de relaciones para ambos sistemas. Las proyecciones en función de la escala se pueden dividir en:

- **Conformes:** la proyección conserva el ángulo entre dos puntos medidos en el sistema de referencia y en el sistema escalado, es decir, mantiene la forma.
- **Equidistante:** la proyección conserva las relaciones de distancias. Es conveniente señalar que no todos los sistemas cumplen esta propiedad.

- **Equivalente:** las proyecciones conservan las relaciones en sus superficies (de amplio uso en cartografía).
- **Afiláctica o de dirección verdadera:** las proyecciones no conservan las propiedades anteriores, pero tienen valores tolerables para sus variables y números adimensionales. En general, relacionan las direcciones de todos los puntos respecto del centro y las mantienen constantes (Ruiz Colorado, 2009, pág. 21).

La escala de banco, a nuestro juicio, es muy importante, ya que permite estudiar el proceso a un volumen relativamente pequeño, pero en equipos que poseen diámetros internos de la vasija superior a 200 mm, lo que permite minimizar los efectos de pared y lograr un comportamiento hidrodinámico (Pino Garcia, Jauregui Haza, & Quiñones Garcia, 1997, pág. 13).

Tabla 12. Volúmenes a diferentes escalas

Parámetro	Escalas seleccionadas				
	Banco	Piloto		Industria	
Vi (L)	16	100	630	4000	20000

Fuente: La Planta Piloto y el Escalado de Procesos de Obtención de principios Activos para Medicamentos por Síntesis Química (Pino Garcia, Jauregui Haza, & Quiñones Garcia, 1997, pág. 14)

2.9.2.1 Procedimiento

En las industrias de procesos los datos experimentales suelen estar disponibles a partir de un sistema de agitación de tamaño de laboratorio o de unidad de piloto y se desea aumentar la escala de los resultados para diseñar una unidad a escala completa. Como hay una gran diversidad de los procesos cuya escala se debe aumentar, no hay un solo método que pueda manejar todos los tipos de problema de aumento de escala y hay muchas maneras de hacer esto. La semejanza geométrica es importante, por supuesto y es la más fácil de lograr. La semejanza cinemática puede definirse en términos de razones de velocidades o de tiempos. La semejanza dinámica requiere proporciones fijas de fuerzas viscosas, inerciales o gravitatorias. Aun si se

logra la semejanza geométrica, las semejanzas dinámicas y cinemáticas no siempre se pueden obtener al mismo tiempo. Por consiguiente, a veces lo que el diseñador debe hacer es confiar en su buen juicio y experiencia para hacer el aumento de escala.

Seguidamente se sugiere un procedimiento paso a paso para aumentar de escala desde las condiciones iniciales, donde los tamaños geométricos dados en la tabla son D_{a1} , D_{t1} , H_1 , W_1 y así sucesivamente, hasta las condiciones finales de D_{a2} , D_{t2} , H_2 , W_2 .

Calcule la razón de aumento de escala R . Suponiendo que el recipiente original es un cilindro estándar con $D_{t1} = H_1$, el volumen V_1 es:

$$V_1 = \frac{\pi D_{t1}^2}{4} H_1 = \frac{\pi D_{t1}^3}{4}$$

Por tanto la relación entre los volúmenes es:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{\frac{\pi D_{t2}^3}{4}}{\frac{\pi D_{t1}^3}{4}} = \frac{D_{t2}^3}{D_{t1}^3} = \left(\frac{D_{t2}}{D_{t1}}\right)^3$$

Así la relación de aumento de escala es:

$$R = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\frac{1}{3}} = \frac{D_{t2}}{D_{t1}}$$

Al usar este valor de R , aplíquelo a todas las dimensiones de la tabla 11, para calcular las nuevas dimensiones. Por ejemplo (Geankoplis, 1998, págs. 167,168).

$$D_{a2} = R D_{a1}$$

La potencia necesaria puede determinarse usando la ecuación del Número de potencia y la gráfica 1.

Curva 1. Turbina de seis aspas planas $Da/W=5$; cuatro deflectores cada uno con $Dt/J=12$

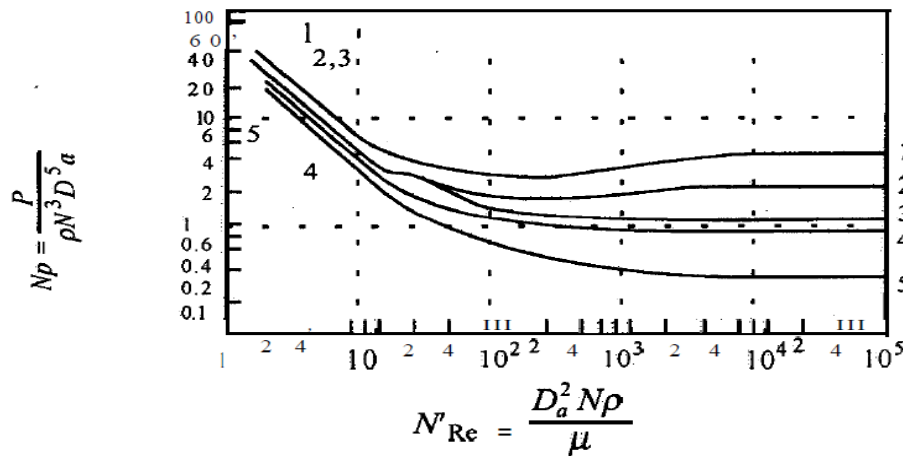
Curva 2. Turbina abierta de seis aspas planas $Da/W=8$; cuatro deflectores con $Dt/J=12$

Curva 3. Turbina abierta de seis aspas a 45° ; $Da/W=8$; cuatro deflectores con $Dt/J=12$

Curva 4. Propulsor; inclinado $2Da$ cuatro deflectores con $Dt/J=10$; también es válido para el mismo propulsor en posición angular y desplazada del centro sin deflectores.

Curva 5. Propulsor; inclinado $=Da$ cuatro deflectores con $Dt/J=10$; también es válido para un propulsor en posición angular desplazada del centro sin deflectores.

De esta manera se conoce el número de potencia con lo cual se puede hacer el cálculo de los datos necesarios para el diseño del extractor.



Gráfica 1. Correlaciones de potencia para diversos impulsores y deflectores

Fuente: Procesos de transporte y Operaciones Unitarias (Geankoplis, 1998, pág. 165)

2.9.3 Cálculo del diámetro del eje conectado al agitador

La ecuación se usa para el diseño de ejes: (Mott, P.E., 2006, pág. 548).

$$D_e = \left[\frac{32N}{\pi} \sqrt{\left(\frac{k_t M}{S_n}\right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T_{tor}}{S_y}\right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

D_e = Diámetro del eje del impulsor [pulg]

N = Factor de diseño

K_t = Valores de diseño para la flexión

M = Momento flexionante [lb-pulg]

S_n = Resistencia a la fatiga [psi]

T_{tor} = Momento torsión del eje [lb-pulg]

S_y = Resistencia de la fluencia [psi]

Para el cálculo del esfuerzo torsor (T_{tor}) se usa la ecuación: (Mott, P.E., 2006, págs. 535,536).

$$T_{tor} = 63000 * \frac{P}{n}$$

Donde:

T_{tor} = Esfuerzo torsor [lb – pulg]

n = Velocidad de giro [rpm]

P = Potencia [HP]

2.9.4 Cálculo del espesor del aislante (Transferencia de calor)

2.9.4.1 Conducción

La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas.

La rapidez o razón de la conducción de calor a través de un medio depende de la configuración geométrica de este, su espesor y el material de que éste hecho, así como la diferencia de temperatura a través de él (Cengel, 2007, págs. 17,18).

2.9.4.2 Convección

La convección es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacentes que están en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos.

La convección recibe el nombre de convección forzada si el fluido es forzado a fluir sobre la superficie mediante medios externos como un ventilador, una bomba o el viento. Como contraste, se dice que es convección natural (o libre) si el movimiento del fluido es causado por las fuerzas de empuje (Cengel, 2007, págs. 25,26).

2.9.4.3 Aislamiento térmico

Los aislamientos térmicos son materiales o combinaciones de materiales que se usan principalmente para suministrar resistencia al flujo de calor.

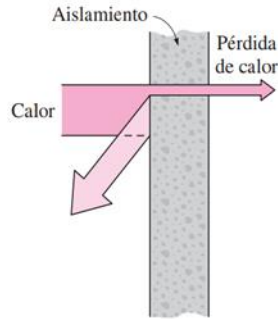


Figura 11. Reducción de la transferencia de calor a través de superficies

Fuente: Transferencia de Calor y Masa (Cengel, 2007, pág. 423)

Los aislamientos térmicos sirven como esas barreras y desempeñan un papel importante en el diseño y fabricación de todos los aparatos o sistemas eficientes relacionados con la energía.

a) Razones para aislar

Varias razones para usar aislamiento se pueden resumir del modo siguiente:

➤ Conservación de la energía

Conservar la energía mediante la reducción de la velocidad del flujo de calor es la razón principal de las superficies aisladoras. Se dispone con amplitud de materiales para aislamiento que se comportarán de manera satisfactoria en el rango de temperaturas de -268°C hasta 1000°C (-450°F hasta 1800°F).

➤ Mantenimiento de la temperatura del proceso

En la industria química algunos procesos son sensibles a la temperatura y puede ser necesario aislar fuertemente los tanques en los que se llevan a cabo así como las secciones de flujo con el fin de mantener la misma temperatura en toda su extensión.

➤ Reducción de la variación y las fluctuaciones de la temperatura

La temperatura en un recinto puede variar mucho entre la sección media y los bordes si no se encuentra aislado. El aislamiento minimiza la no uniformidad en la temperatura de un recinto y retarda las fluctuaciones.

➤ **Prevención de la condensación y la corrosión**

El vapor de agua que existe en el aire se condensa sobre las superficies cuya temperatura está por debajo del punto de rocío, y las superficies exteriores de los tanques o tubos que contienen un fluido frío con frecuencia caen por debajo de la temperatura de rocío, a menos que cuenten con un aislamiento adecuado.

El agua líquida sobre las superficies expuestas de los tanques o tubos metálicos puede fomentar la corrosión así como el desarrollo de algas.

➤ **Protección contra incendios**

Se puede minimizar el daño durante un incendio al conservar los combustibles valiosos en una caja segura que esté bien aislada. El aislamiento puede disminuir la velocidad del flujo de calor a tal grado que la temperatura en el interior de la caja nunca se eleve a niveles inseguros durante el incendio.

➤ **Protección contra la congelación**

La exposición prolongada a temperaturas inferiores a la de congelación puede causar que el agua encontrada en tubos o recipientes de almacenamiento se congele y éstos se revienten, como resultado de la transferencia de calor del agua hacia el ambiente frío.

El reventamiento de tubos, como resultado de la congelación, puede causar daños considerables. El aislamiento adecuado retarda la pérdida de calor del agua e impide la congelación durante una exposición limitada a temperaturas por debajo de la de congelación (Cengel, 2007, págs. 425,426).

b) El valor R de aislamiento

Para el aislamiento plano el valor R se obtiene simplemente al dividir el espesor de ese aislamiento entre su conductividad térmica. Es decir,

$$\text{Valor } R = \frac{L}{k}$$

Dónde:

L= espesor de aislante (m)

k = conductividad térmica (W/m°C)

Para el aislamiento de tubos, el valor R se determina mediante la relación de la resistencia térmica a partir de:

$$\text{Valor } R = \frac{r_2}{k} * \ln \frac{r_2}{r_1}$$

Donde r_1 es el radio interior y r_2 es el radio exterior del aislamiento. Una vez que se dispone del valor R, se puede determinar la rapidez, o razón, de la transferencia de calor a través del aislamiento, a partir de: (Cengel, 2007, pág. 428).

$$Q = \frac{\Delta T}{\text{Valor } R} * \text{Area}$$

Dónde:

ΔT = diferencia de temperatura (°C)

Área = área superficial para un cilindro (m²)

c) **Espesor del aislamiento óptimo**

Se debe tener conciencia de que el aislamiento no elimina la transferencia de calor; simplemente la reduce. Entre más grueso sea el aislamiento, menor será la razón de la transferencia de calor, pero también más elevado será el costo de ese aislamiento. Por lo tanto, debe haber un espesor óptimo del aislamiento que corresponda a un costo mínimo combinado del propio aislamiento y la pérdida de calor (Cengel, 2007, pág. 429).

2.9.4.4 Cálculo del coeficiente de convección

a) Para el fluido

- Flujo turbulento

Al principio se mencionó que el flujo en los tubos lisos es completamente turbulento para $Re > 10000$. El flujo turbulento se utiliza de manera común en la práctica debido a los coeficientes más altos de transferencia de calor asociados con él.

Para el flujo turbulento completamente desarrollado en tubos lisos, se puede obtener:

$$Nu = 0.023 * Re^{0.8} * Pr^n$$

Donde $n = 0.4$ para el calentamiento y 0.3 para el enfriamiento del fluido que fluye por el tubo. Esta ecuación se conoce como ecuación de Dittus-Boelter (Cengel, 2007, págs. 473,474).

En donde:

$$Re = \text{Número de Reynolds}$$

$$Nu = \text{Número de Nusselt}$$

$$Pr = \text{Número de Prandtl}$$

b) Para el aire

- El número de Grashof

El número de Grashof, el cual también es adimensional y representa la razón entre la fuerza de empuje y la fuerza viscosa que actúan sobre el fluido.

$$Gr_L = \frac{g * \beta * (T_s - T_\infty) * L_c^3}{\nu^2}$$

En donde:

g = aceleración gravitacional, m/s^2

β = coeficiente de expansión volumétrica, $\frac{1}{K}$ ($\beta = \frac{1}{T}$)

T_s = temperatura de la superficie, °C

T_∞ = Temperatura del fluido suficientemente lejos de la superficie, °C

L_c = longitud característica de la configuración geométrica, m

ν = Viscosidad cinemática del fluido, m²/s

- **Número de Rayleigh**

El número promedio de Nusselt Nu en la convección natural son de la forma:

$$Nu = \frac{h * L_c}{k} = C(Gr_L Pr)^n = C Ra_L^n$$

En donde Ra_L es el número de Rayleigh, el cual es el producto de los números de Grashof y de Prandtl:

$$Ra_L = Gr_L * Pr = \frac{g * \beta * (T_s - T_\infty) * L_c^3}{\nu^2} * Pr$$

Todas las propiedades del fluido deben evaluarse a la temperatura de película T_f = (T_s + T_∞)/2. La superficie exterior de un cilindro vertical se puede tratar como una placa vertical cuando el diámetro del cilindro es suficientemente grande, de modo que los efectos de la curvatura sean despreciables. Esta condición se satisface si:

$$D \geq \frac{35L}{Gr_L^{1/4}}$$

Cuando se satisfacen estos criterios, también se pueden usar las relaciones de las placas verticales para los cilindros verticales. El número promedio de Nusselt será: (Cengel, 2007, págs. 509-512)

$$Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 * Ra_L^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$$

Donde:

R_{aL} = Número de Rayleigh

N_u = Número de Nusselt

P_r = Número de Prandtl



CAPITULO III

METODOLOGIA

EXPERIMENTAL

CAPITULO III

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.1 RECOLECCION DE LA MATERIA PRIMA

Las cáscaras se recolectaron de 10 puestos de la venta de jugos de la ciudad de La Paz (Plaza Pérez Velasco y otros). Los pomelos provienen de la región de Alto Beni del departamento de La Paz. Posteriormente se pesa en una balanza y saber la cantidad aproximada de cáscaras de pomelo generados de la venta de jugos de pomelo.



Figura 12. Pesaje de cáscaras de pomelo

Fuente: Elaboración propia

La siguiente tabla se detalla la cantidad aproximada de cáscaras de pomelo por día en gramos que se genera de la venta de jugos.

Tabla 13. Cantidad de materia prima por día

N° PUESTO	DIAS							Total por puesto (g)
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	
1	4736,4	4774,3	4821,0	4859,4	4878,3	6308,1	3359,4	33736,9
2	5954,2	6274,4	6618,0	6725,5	6736,8	7323,7	4228,7	43861,5
3	5773,1	6118,3	6517,4	6675,0	6697,8	7091,7	4027,4	42900,7
4	5085,9	5328,3	5434,5	5715,9	5759,1	6696,1	3249,8	37269,4
5	4385,6	4556,6	4849,8	5007,3	5340,3	5397,9	3255,7	32793,2
6	5244,9	5581,8	5902,6	6043,7	6307,4	6333,4	3281,8	38695,4
7	4782,9	4812,0	4827,6	4872,6	4895,9	5500,1	3511,7	33202,8

N° Puesto	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total (g)
8	6217,8	6314,2	6404,7	6484,1	6656,1	7232,3	4742,9	44052,2
9	4235,0	4689,7	4773,9	5168,5	5699,2	6163,1	3292,1	34021,6
10	4289,1	4521,2	4755,1	5161,1	5385,3	5826,8	3630,1	33568,8
			TOTAL (g)					374102,5

Fuente: Elaboración propia

La cantidad total aproximada de cáscaras de pomelo de 10 puestos de la venta de jugos en una semana es de 374,1 (kg).

La mayor producción de pomelo se da en los meses de marzo a septiembre; en los meses de octubre y noviembre baja la producción de la toronja; en los meses de diciembre a febrero no hay pomelo en el mercado local.

Las condiciones de almacenamiento de cáscaras de pomelo deben estar en un ambiente a una temperatura de 10°C (Lopez Camelo, 2003, pág. 9) durante tres días, para evitar que las cáscaras entren en estado de descomposición, y para evitar presencia de hongos en nuestra materia prima; de presentar descomposición en las cáscaras estas deben ser rechazadas.

3.2 CARACTERIZACION DE LA MATERIA PRIMA

3.2.1 Determinación de contenido de humedad

La medición del contenido de humedad de albedo de pomelo se basa en el procedimiento de la norma NB 312026 (ANEXO A) y la adaptación al laboratorio.

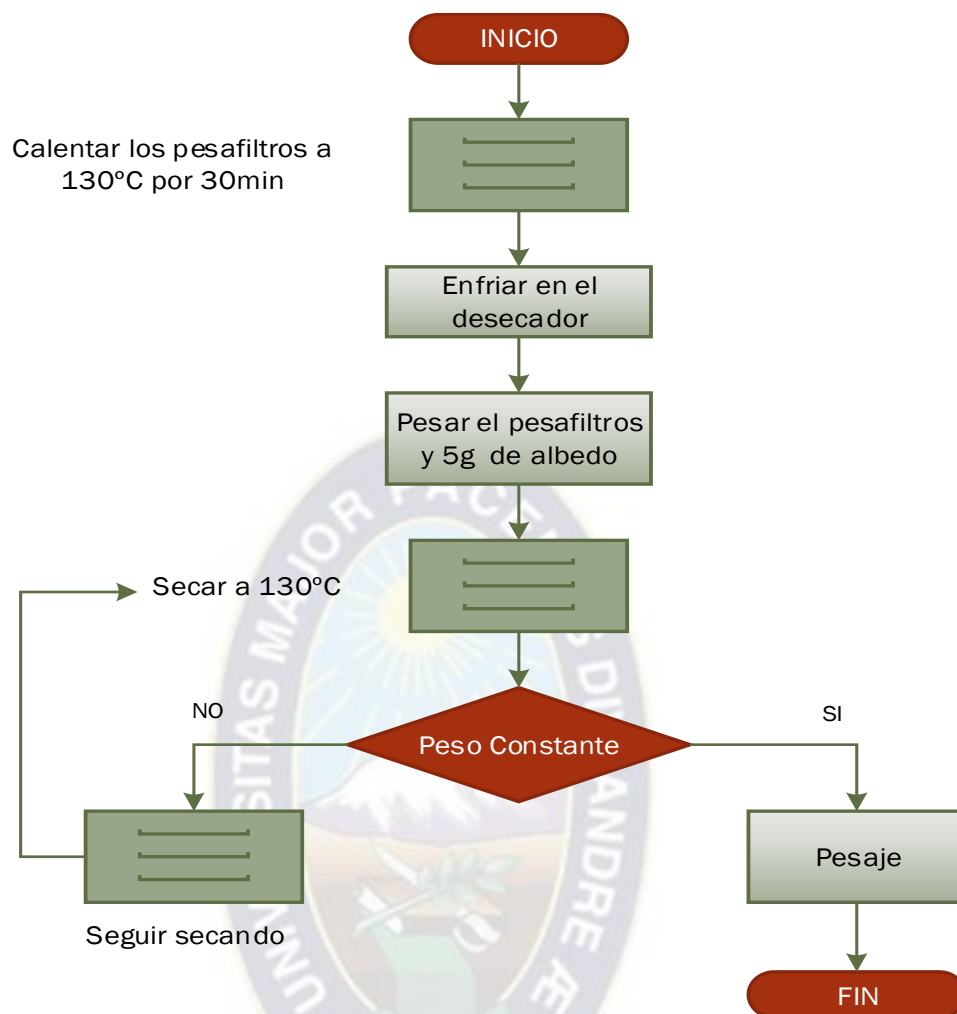


Figura 13. Diagrama de Proceso del contenido de humedad

Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Determinación de cenizas

La determinación de cenizas de albedo de pomelo, se fundamenta en el procedimiento descrito en el ANEXO B de la norma NB 312030 y la adaptación al laboratorio.

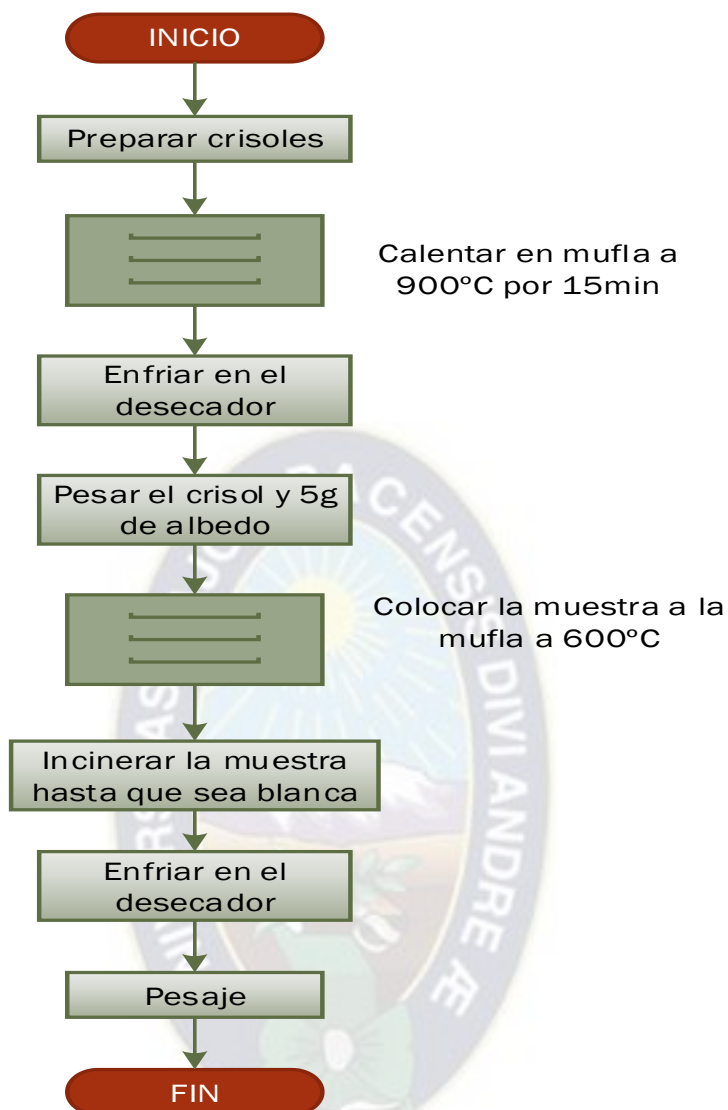


Figura 14. Diagrama de Proceso para determinar cenizas

Fuente: Elaboración propia

3.2.3 Determinación de pH

La medición del pH de albedo de pomelo se basa en el procedimiento de la norma INEN 389 (ANEXO C) y la adaptación al laboratorio.

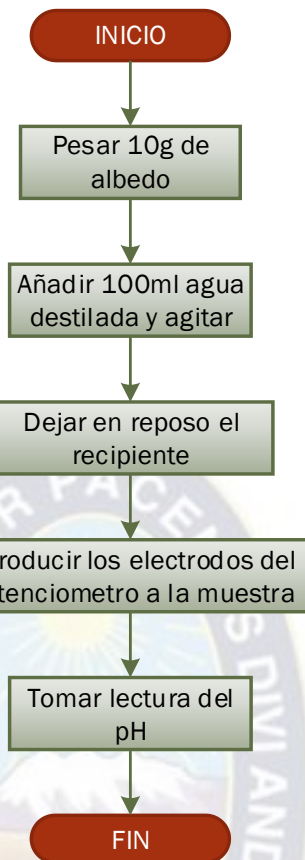


Figura 15. Diagrama de Proceso para determinar el pH

Fuente: Elaboración propia

3.2.4 Determinación de sólidos solubles

La determinación del contenido de °Brix o sólidos solubles en el albedo de pomelo, se fundamenta en el procedimiento descrito en el ANEXO D de la norma INEN 380.

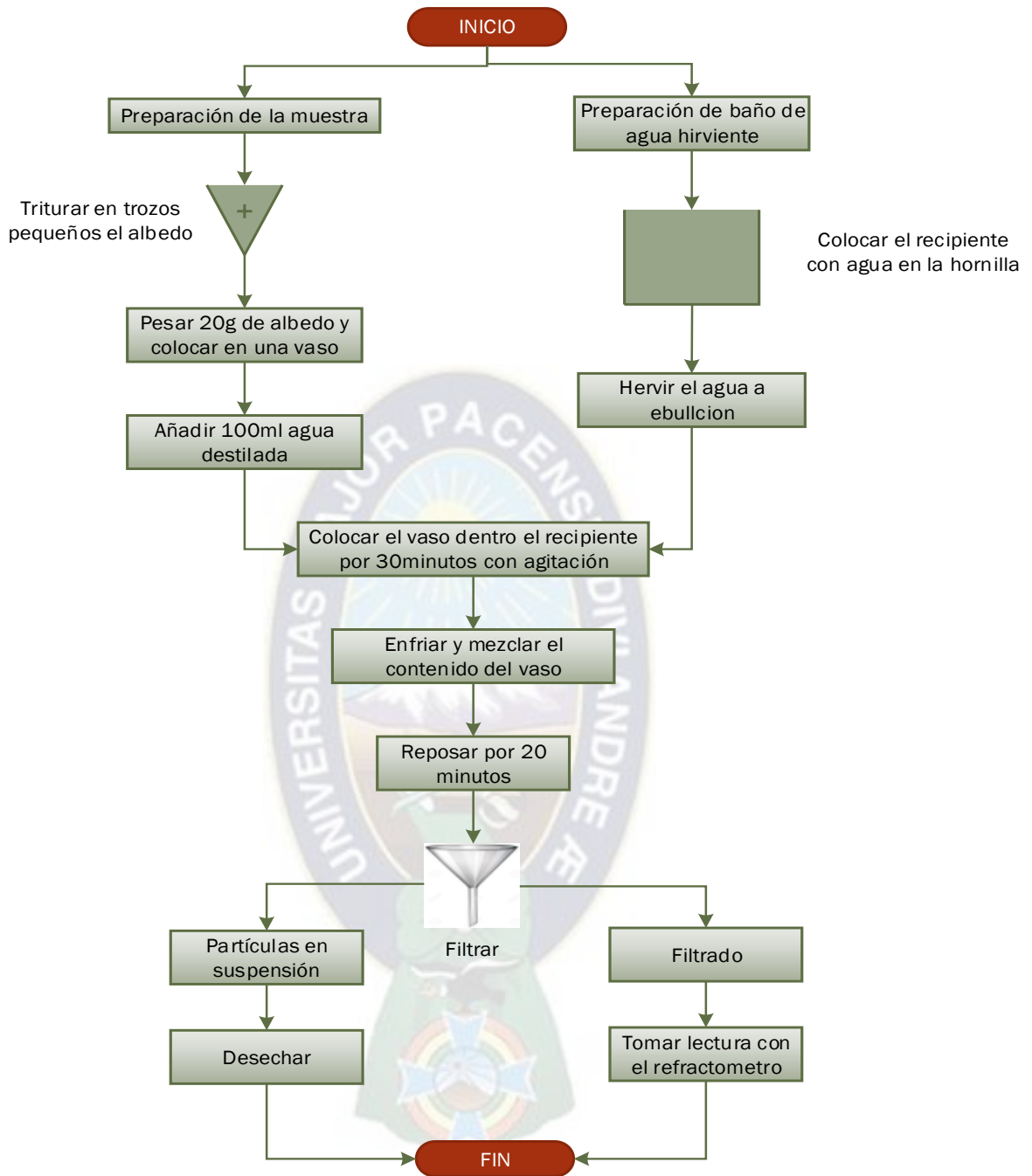


Figura 16. Diagrama de proceso para determinar sólidos solubles

Fuente: Elaboración propia

3.3 PREPARACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

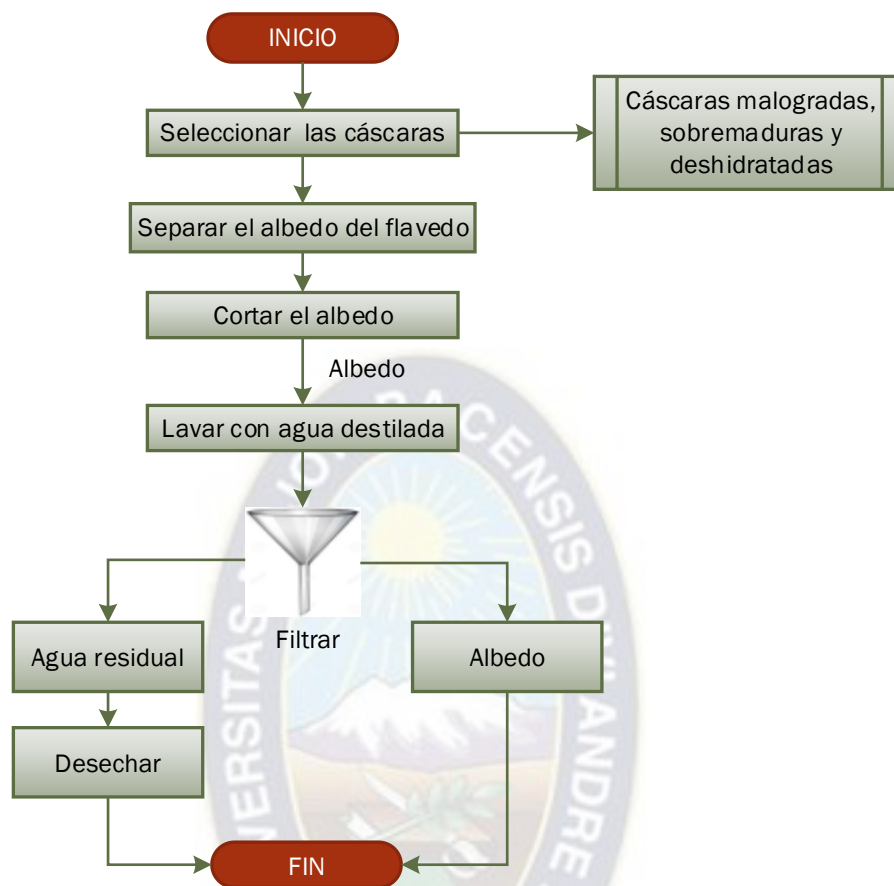


Figura 17. Diagrama de proceso de la preparación de la materia prima

Fuente: Elaboración propia

3.3.1 Selección de materia prima

Las pectinas están presentes en los frutos maduros, especialmente en algunos tejidos suaves como la cáscara de los cítricos (toronja).

Por su parte, las protopectinas son moléculas altamente esterificadas, muy insolubles en agua, que se encuentran en los tejidos inmaduros de los frutos y son responsables de su textura rígida; sin embargo, la acción de la enzima protopectinasa hace que se conviertan en pectinas solubles

en un proceso que ocurre durante la maduración y que trae consigo el ablandamiento del fruto (Badui Dergal, 2013, pág. 78).

Se seleccionaron las cáscaras de forma cualitativa, según el color verde-amarillo y verde-amarillo-rosa, correspondiente a un estado de madurez 3 y 4.

3.3.2 Selección de cáscaras

Inicialmente se debe separar el mesocarpo o albedo de la epidermis o exocarpo de la cáscara (flavedo).

Este es el inicio de la primera fase, donde la materia prima a utilizar, mesocarpo, deben estar libres de patógenos, con un índice de madurez intermedia, epicarpio sin magulladuras presentes, ni partes en estado de descomposición o deshidratación; pues esto mejora el rendimiento y la calidad de pectina (Inciarte, 2016, págs. 101,102).

Según el artículo "Extracción de pectina a partir de la corteza de maracuyá" se fraccionaron las cortezas hasta trozos de 2*2 cm (Cuesta & Muñoz, 2010, pág. 92).

El descortezamiento se realizó mediante un cuchillo, asegurándose la total separación de las secciones verde-amarillas (flavedo) y blanco-rosadas (albedo) de la cáscara, las cuales seguidamente fueron cortadas en cuadrados hasta alcanzar 75g de cáscara por ensayo. Su lavado se efectuó con agua destilada para seguidamente filtrar en una tela y obtener el albedo para su posterior tratamiento.



Figura 18. Separación del albedo de la cáscara

Fuente: Elaboración propia

3.4 PROCESO DE OBTENCIÓN DE PECTINA DE POMELO

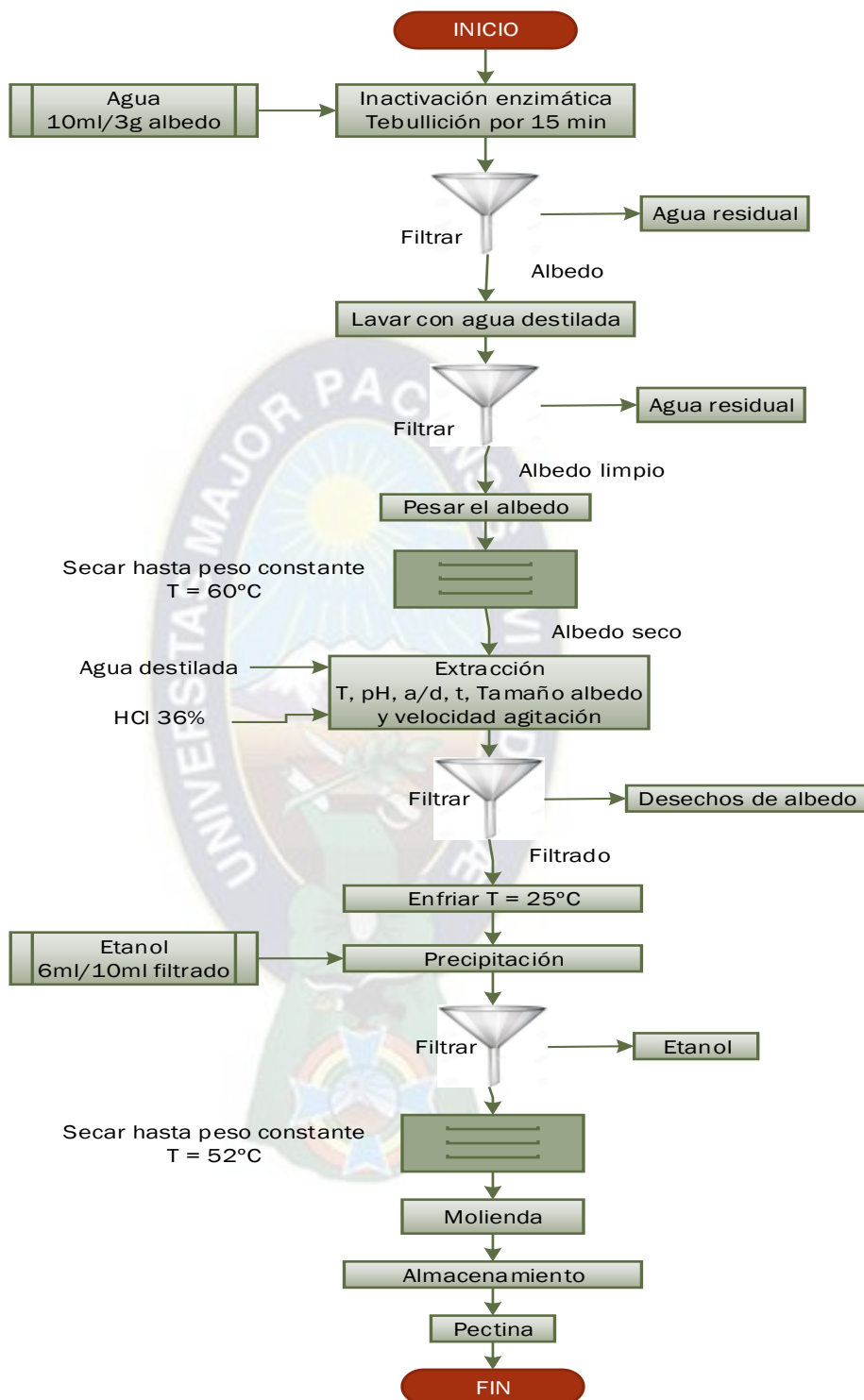


Figura 19. Diagrama de proceso de obtención de pectina a partir de albedo de pomelo

Fuente: Elaboración propia

3.4.1 Inactivación enzimática

Según la tesis "Industrialización de la cáscara de naranja" se colocaron 300g de albedo en 1L de agua en un vaso de precipitados (Roman, Garcia Teroba, & Hernandez Juarez, 2012, pág. 15).

Con el propósito de hacer más eficiente el proceso de extracción es necesario inactivar las enzimas pécticas, poniendo la materia prima en agua, con una relación 3:10.

También llamada segunda fase, esta operación se realiza para inactivar las enzimas pectinesterasas, donde el material ya troceado se deberá someter a un tratamiento térmico en agua destilada a ebullición por 15 minutos, lo cual contribuye a eliminar suciedades y microorganismos que pudieran estar presentes. Al inactivar las enzimas pectinolíticas se le realizará un lavado con agua destilada a la fase sólida hasta no detectar sólidos solubles mediante la determinación de los °Brix, utilizando un refractómetro. Seguido de ello se debe filtrar nuevamente presionando para eliminar el exceso de agua. Luego de estar pesada la corteza, se procede a secarla en una estufa a una temperatura de 60°C y repetir el proceso hasta obtener un peso constante (Inciarte, 2016, pág. 102).

No se realiza la pulverización del albedo, sino se realiza el troceado en diferentes tamaños para evitar la aglomeración y dificultad en la etapa de filtración. Por otro lado, se trocea el albedo antes de la etapa de secado para evitar pérdida de material al momento de reducir el tamaño de la cáscara; el albedo de pomelo se trocea de 5*5cm; 3*3cm; 2*2cm y 1*1cm en el proceso de preparación de la materia prima (estado húmedo).



Figura 20. Tratamiento térmico del albedo

Fuente: Elaboración propia

3.4.2 Extracción por el método hidrólisis ácida

En esta última fase se utiliza ácido clorhídrico hasta ajustar el pH, se debe añadir el material seco. Posterior a ello someter a calentamiento con agitación constante hasta alcanzar una temperatura por un periodo de tiempo, con el fin de disociar la protopectina a pectina soluble (Inciarte, 2016, págs. 102,103).



Figura 21. Extracción por hidrólisis ácida

Fuente: Elaboración propia

3.4.2.1 Metodología para Identificar las Variables de Proceso

Realizar pruebas preliminares que permiten identificar las variables que se consideran más influyentes en el proceso de extracción.

- Tamaño de cáscara
- pH
- Relación albedo/disolvente
- Temperatura.
- Tiempo de Extracción.
- Velocidad de agitación (rpm)

3.4.2.2 Variables de mayor influencia

Para la determinación e identificación de las variables más influyentes en el proceso de extracción de pectina se hará uso del Software Design Expert.

El diseño factorial completo será de 2^k , es la estrategia experimental más óptima que describen los experimentos más adecuados, identificando al diseño con un arreglo factorial de $K = \text{factores}$, que tiene dos niveles (bajo y alto). Con esto se facilita el ajuste de un modelo de regresión.

3.4.3 Filtración I y enfriamiento

Al transcurrir la hidrólisis se debe repetir el proceso de filtrado nuevamente y someter rápidamente el producto resultante hasta llevarla a temperatura ambiente, para evitar la degradación de la pectina por efecto del calor (Inciarte, 2016, pág. 103).

Los residuos de albedo se retiraron mediante su separación con tela popelina, aplicando presión para expulsar todo el líquido retenido. Posteriormente el filtrado se colocó en una tela húmeda para disminuir la temperatura a 25°C y parar la reacción al tiempo determinado.



Figura 22. Filtración del líquido

Fuente: Elaboración propia

3.4.4 Precipitación

Después de transcurrido el tiempo de hidrólisis, se procede a precipitar la pectina con agitación lenta mientras se le agrega el alcohol etílico (C_2H_5OH) (Inciarte, 2016, pág. 103).

Una vez obtenido el filtrado se varía la cantidad de alcohol 96% para cada muestra y se mantuvo en reposo durante 90 minutos hasta que alcance su estabilidad.

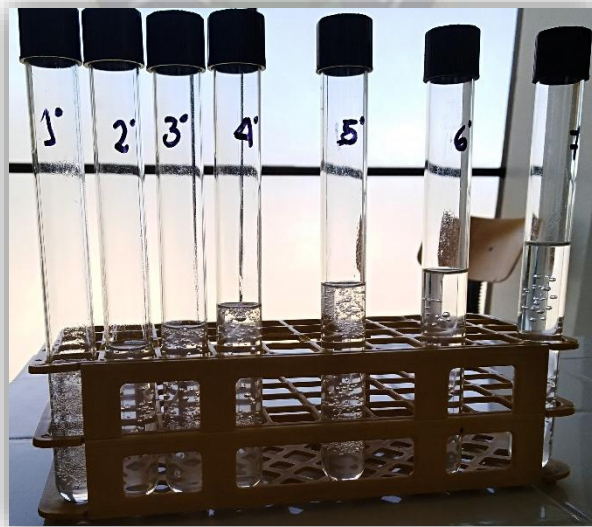


Figura 23. Precipitación de la Pectina

Fuente: Elaboración propia

3.4.5 Filtración II

La separación del precipitado se efectuó a través de una tela y se realizó lavados con la mitad de volumen de alcohol empleado en las muestras. El precipitado se retiró con una paleta y se colocó en la bandeja de secado.



Figura 24. Filtración de la Pectina

Fuente: Elaboración propia

3.4.6 Secado

Se seca el precipitado en una estufa, el tiempo de secado se determina de la misma manera que en el secado de la corteza (Inciarte, 2016, pág. 103).

El secado se llevó acabo en una estufa a la temperatura de 52°C hasta valor constante del peso de la muestra.



Figura 25. Secado de la Pectina

Fuente: Elaboración propia

3.4.7 Tamizado y Almacenamiento

Para homogenizar el tamaño de la partícula y mejorar la apariencia de la pectina se muele hasta que pase por un tamiz de malla 80.

La pectina debe almacenarse en un lugar seco y en recipientes que la protejan de la humedad, para evitar la contaminación y modificaciones en su apariencia y en su calidad (Devia Pineda, 2003, pág. 26).

La reducción de tamaño de la pectina se realizó en un mortero alcanzando un tamaño de 180um, malla 80 para obtener en polvo para posterior almacenamiento.

3.5 CINETICA DE EXTRACCION

El análisis cinético se enfoca bajo las mejores condiciones de extracción, a tres temperaturas de 60, 70, 80°C en tiempos de 15, 25, 40, 55 y 70 minutos.

El orden de reacción se analizó considerando la ley de velocidad para primer y segundo orden de reacción, se graficaron sus ecuaciones de linealización en función del contenido de pectina y se determinó su ajuste utilizando como criterio el mejor factor de correlación. A partir de la pendiente de la ecuación de la recta generada en los gráficos, se determinó el valor de la constante de velocidad.

Para determinar la naturaleza del proceso extractivo de pectina es necesario evaluar la dependencia de la constante cinética de la velocidad de extracción con la temperatura. En ese sentido se realizaron experiencias a diferentes temperaturas, para determinar la energía de activación a partir de la representación lineal de la ecuación de Arrhenius.

3.6 CARACTERIZACION DE LA PECTINA

Se determina las propiedades físicas de la pectina como el estado, olor y color; seguidamente se analiza los parámetros de humedad, cenizas, azúcares reductores, porcentaje de metoxilo, grado de esterificación y porcentaje de ácido anhídrido galacturónico que son los requerimientos

según la FAO (Food and Agriculture Organization) ya que en la Norma Boliviana no se encontró las especificaciones correspondientes a la pectina.

3.6.1 Humedad

La medición del contenido de humedad de la pectina se basa en el procedimiento de la norma NB 312026 (ANEXO A) y la adaptación al laboratorio.

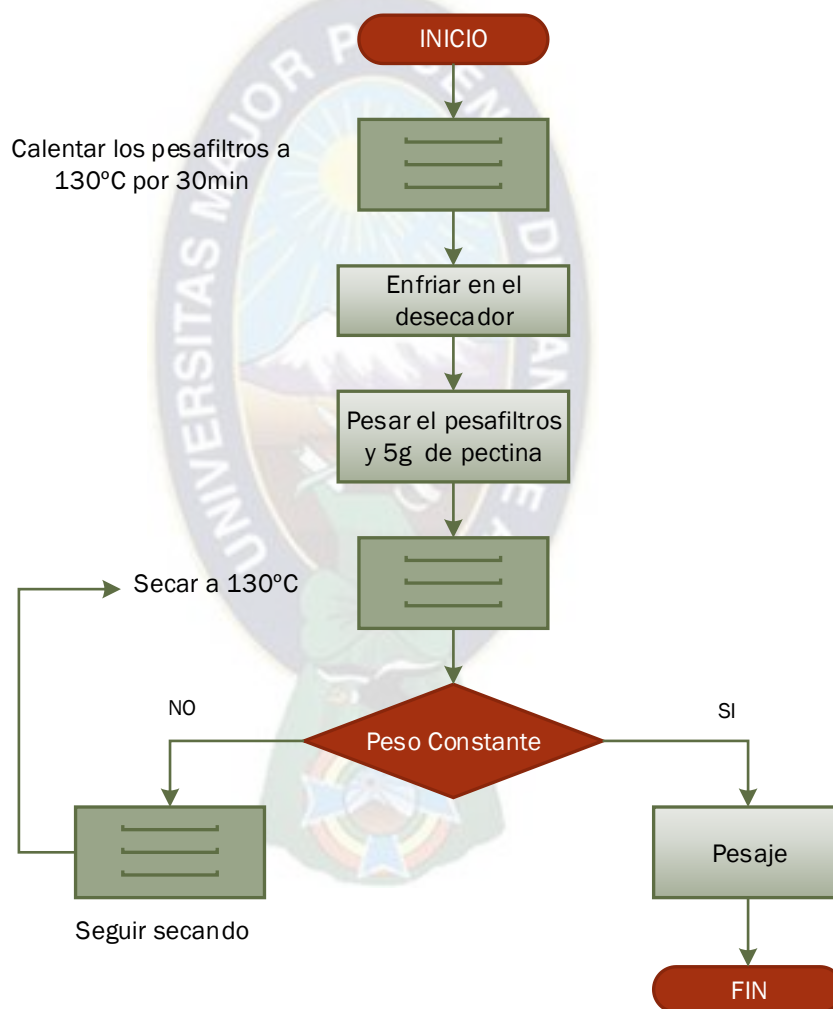


Figura 26. Diagrama de Proceso del contenido de humedad de la Pectina

Fuente: Elaboración propia

3.6.2 Cenizas

La determinación de cenizas de la pectina, se fundamenta en el procedimiento descrito en el ANEXO B de la norma NB 312030 y su adaptación al laboratorio.

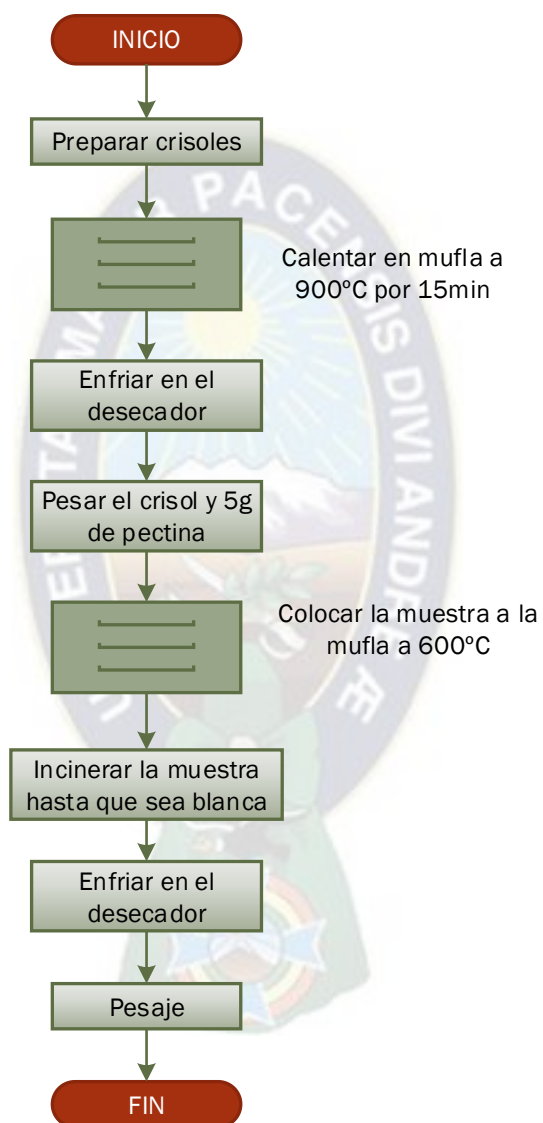


Figura 27. Diagrama de Proceso para determinar cenizas de la Pectina

Fuente: Elaboración propia

3.6.3 Azúcares reductores

La determinación de azúcares reductores de la Pectina se basa en el procedimiento descrito en el ANEXO G y su adaptación al laboratorio.

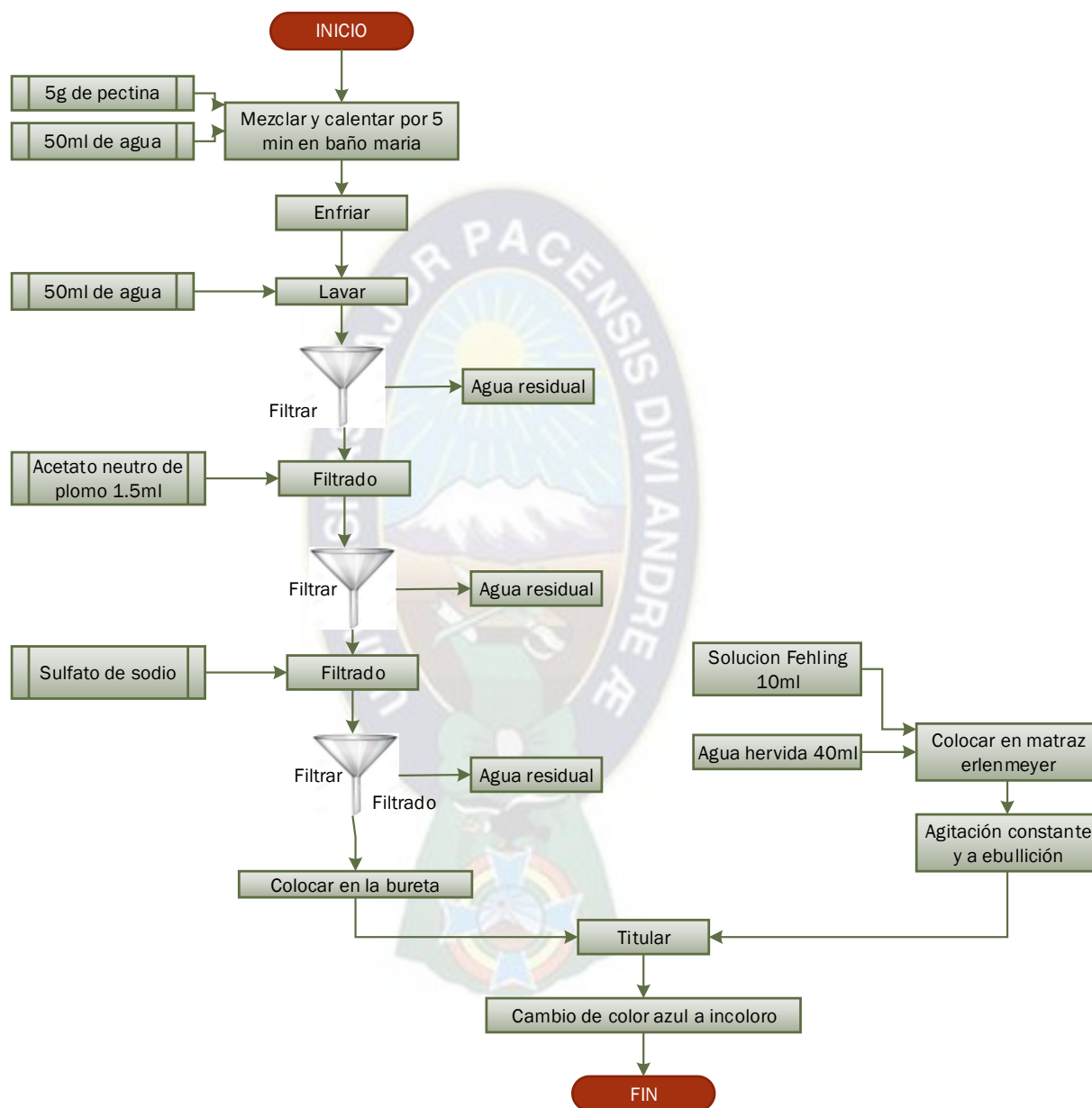


Figura 28. Diagrama de Proceso para determinar azúcares reductores

Fuente: Elaboración propia

3.6.3 Porcentaje de metoxilo, %Acido anhídrido galacturonico y grado de esterificación

La determinación de porcentaje de Metoxilo, porcentaje de Ácido Anhídrido Galacturonico y Grado de Esterificación, se fundamenta en el procedimiento descrito en el ANEXO G y su adaptación al laboratorio.

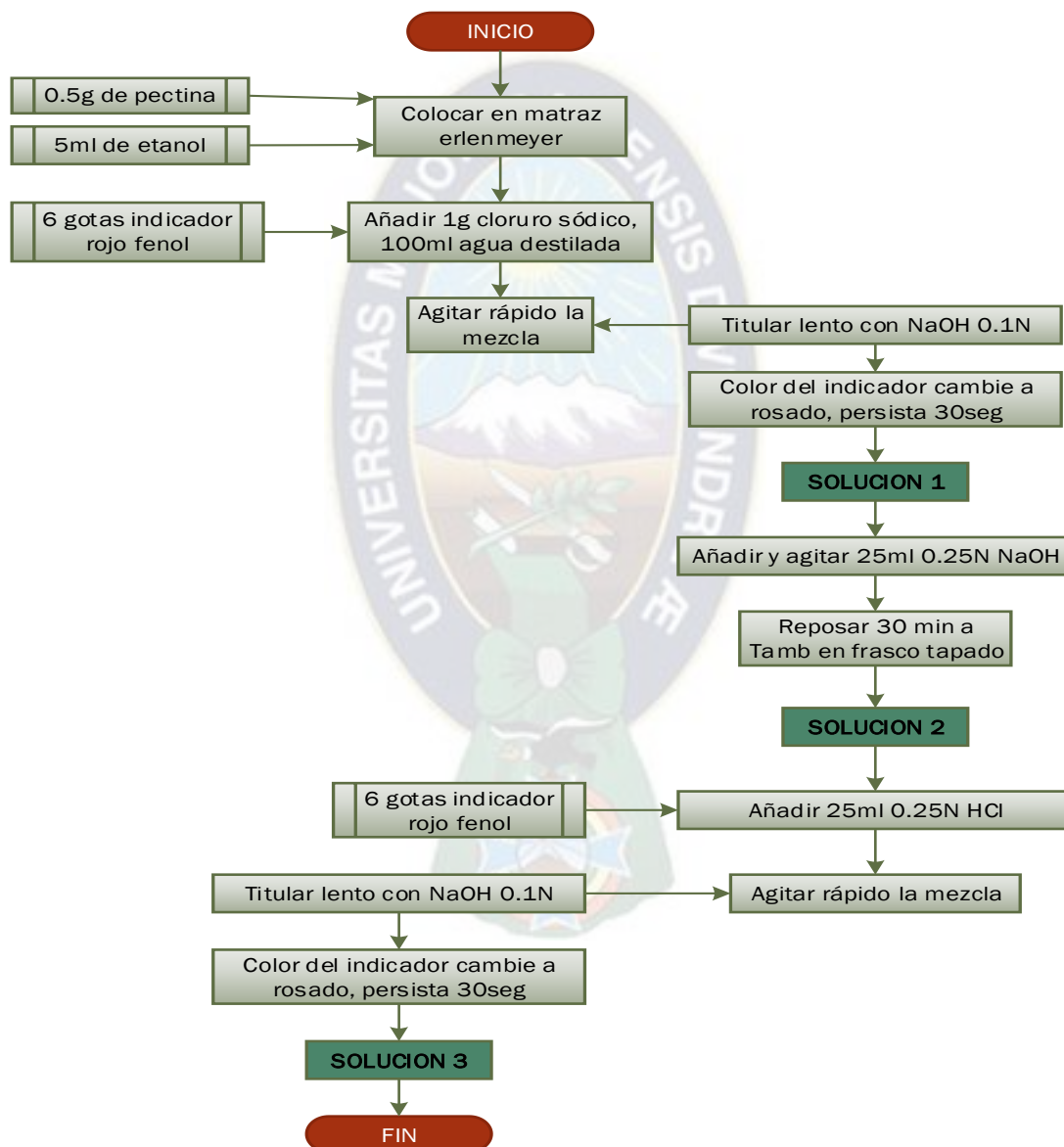


Figura 29. Diagrama de Proceso para determinar %MeO, %AUA y %DE

Fuente: Elaboración propia



CAPITULO IV

CALCULOS Y

RESULTADOS

CAPITULO IV

CÁLCULOS Y RESULTADOS

4.1 CARACTERIZACION DE LA MATERIA PRIMA

A continuación se exponen los resultados obtenidos de la caracterización de las cáscaras.

Tabla 14. Características del albedo de Pomelo

Parámetro	Marca
Humedad	64,79%
Cenizas	0.87%
pH	4,32
Sólidos Solubles	3°Brix

Fuente: Elaboración propia

4.2 PROCESO DE LA EXTRACCION DE PECTINA DEL POMELO

En referencia al proceso de inactivación enzimática y mediante el análisis del registro de los °Brix expuestos en la tabla 15, se confirma que al efectuar una sola vez el lavado de las cáscaras, la lectura de los sólidos solubles se reduce notablemente.

Tabla 15. Grados Brix reportados en el proceso de inactivación enzimática

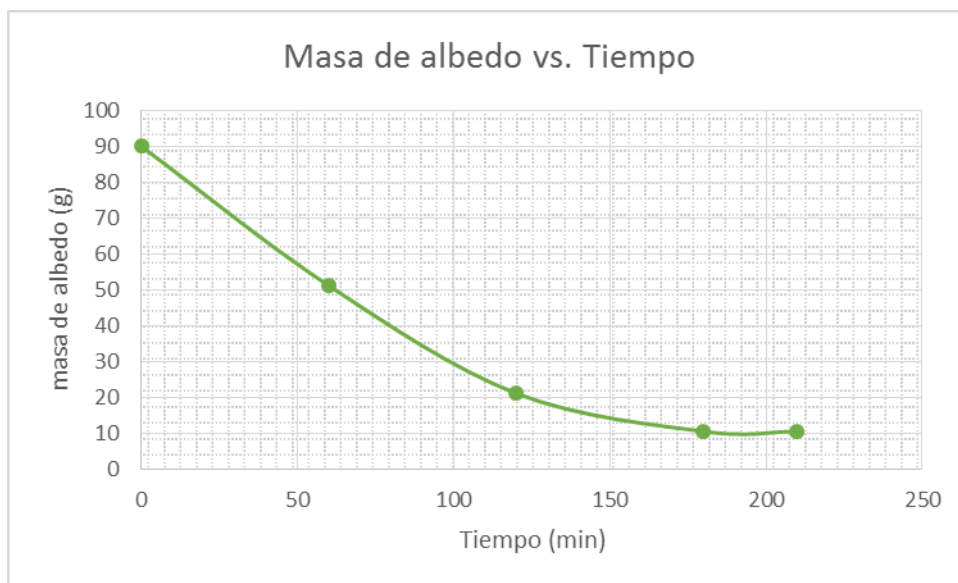
Parámetro	Grados Brix (°Bx)
Agua residual inactivación enzimática	1,5
Agua residual del lavado	0

Fuente: Elaboración propia

Para el secado de la muestra de la cáscara de pomelo se realizó de la siguiente manera:

Se pesó la muestra húmeda y luego se colocó en la estufa a 60°C, se programó tiempos de secado y pesaje a los 60, 120,180 y 210 minutos donde se puede observar que los pesos en los

tiempos de 180 y 210 minutos de la muestra son iguales o sea constante esto implica que la muestra esta seca y no contiene agua como se muestra en la gráfica 2.



Gráfica 2. Variación del peso durante el tiempo de secado

Fuente: Elaboración propia

4.2.1 Variables que Influyen en el Proceso de Extracción

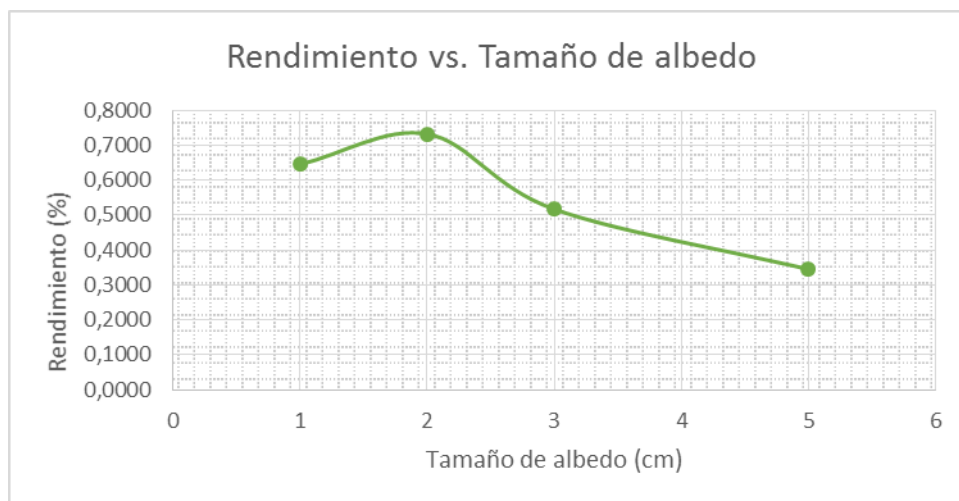
4.2.1.1 Efecto del tamaño de la cáscara

Las condiciones de operación en las pruebas preliminares para la determinación del tamaño de cáscara se indican en la tabla 16.

Tabla 16. Parámetros para la determinación del tamaño de cáscara

Parámetro	Valor
pH	1
Temperatura	60 °C
Tiempo de extracción	50 min
Relación albedo/disolvente	3:10
Velocidad de agitación	100 rpm

Fuente: Elaboración propia



Gráfica 3. Tamaño de cáscara respecto al rendimiento de Pectina

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3, se observa que cuanto más grande es el tamaño de cáscara, el rendimiento decrece; sin embargo, se debe notar que los tamaños excesivamente pequeños hacen que las partículas se apelmacen dificultando la extracción apreciándose una disminución en el Rendimiento. El mejor rendimiento se obtiene con el tamaño de cáscara 2*2cm, se usa este como constante a lo largo del proceso.

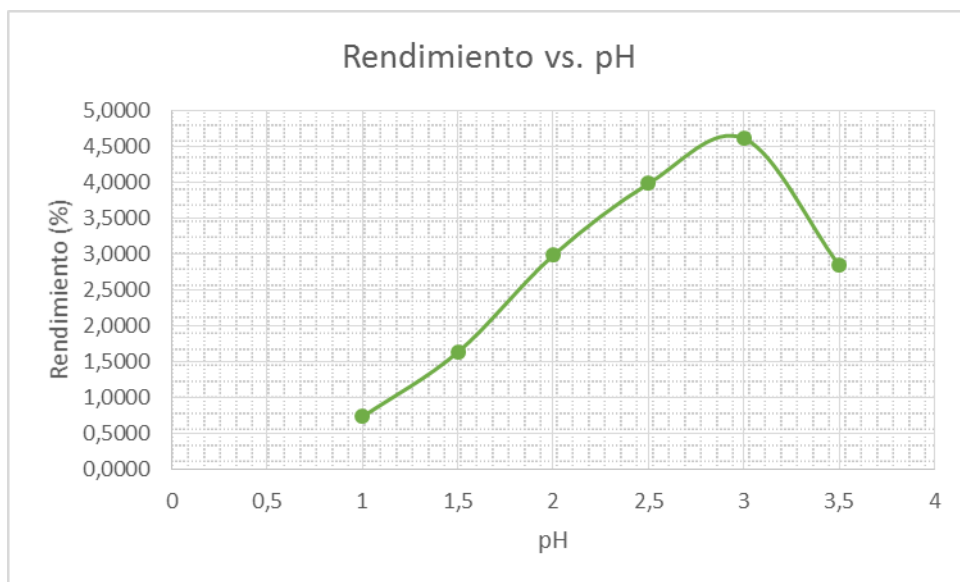
4.2.1.2 Efecto del pH

Las condiciones de operación para la determinación del pH se indican en la Tabla 17.

Tabla 17. Parámetros para la determinación del pH

Parámetro	Valor
Tamaño de cáscara	2*2 cm
Temperatura	60 °C
Tiempo de extracción	50 min
Relación albedo/disolvente	3:10
Velocidad de agitación	100 rpm

Fuente: Elaboración propia



Gráfica 4. pH respecto al rendimiento de Pectina

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4, se observa que el rendimiento incrementa conforme sube el pH hasta 3, para pH superiores a este el rendimiento decrece. Por esta razón se tomará en cuenta en el diseño experimental hasta el pH de 3.

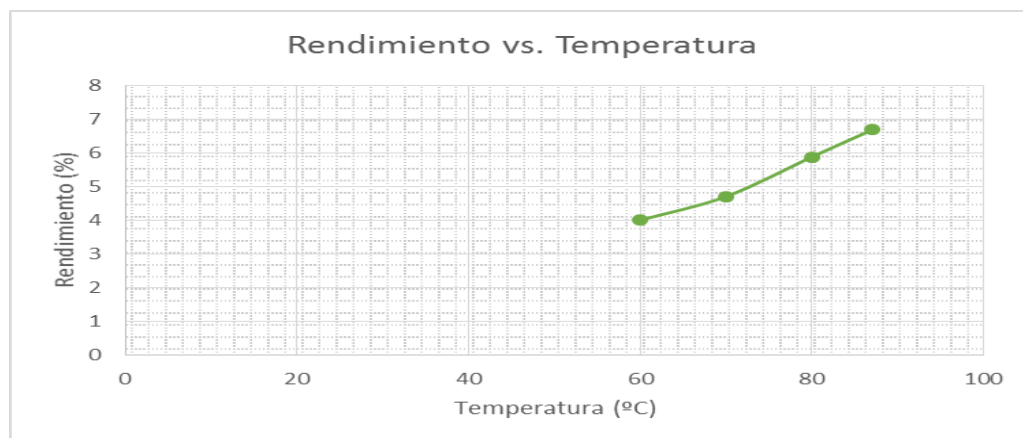
4.2.1.3 Efecto de la temperatura

Las condiciones de operación para la determinación de la temperatura se indican en la tabla

Tabla 18. Parámetros para la determinación de la temperatura

Parámetro	Valor
Tamaño de cáscara	2*2 cm
pH	3
Relación albedo/disolvente	3:10
Tiempo de extracción	50 min
Velocidad de agitación	100 rpm

Fuente: Elaboración propia



Gráfica 5. Temperatura respecto al rendimiento de Pectina

Fuente: Elaboración propia

La pectina extraída a la temperatura de ebullición presenta un color rojizo y verde oscuro. Este color es el resultado de la alta temperatura a la que fue sometida la cáscara, que provocó la desintegración del albedo y con ello la liberación del pigmento natural del pomelo, el cual alteró la apariencia del producto y su calidad. Por esta razón se tomará en cuenta en el diseño experimental hasta la temperatura de 80°C.

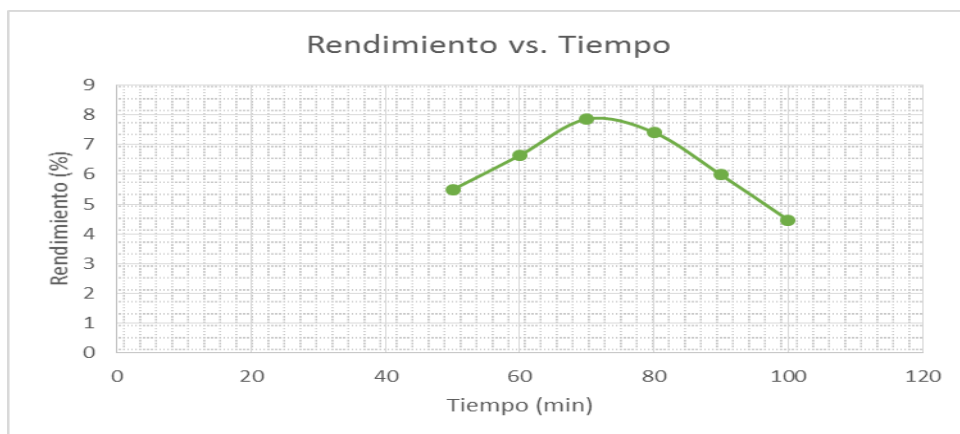
4.2.1.4 Efecto del tiempo de extracción

Las condiciones de extracción en las pruebas preliminares para la determinación de tiempo se muestran en la tabla 19.

Tabla 19. Parámetros para la determinación del tiempo de extracción

Parámetro	Valor
Tamaño de cáscara	2*2 cm
pH	3
Relación albedo/disolvente	3:10
Temperatura	80°C
Velocidad de agitación	100 rpm

Fuente: Elaboración propia



Gráfica 6. Tiempo de extracción respecto al rendimiento de Pectina

Fuente: Elaboración propia

Se observa en la gráfica 6 que el mayor rendimiento se presenta a los 70 min con un valor de 7,85%, de allí este se reduce hasta 4,46% a los 100 min, ya que la pectina contenida en los tejidos de la cáscara se acaba y toma lugar la formación de productos de degradación del producto de interés. Por lo tanto se tomará en cuenta en el diseño experimental hasta el tiempo de 70 minutos.

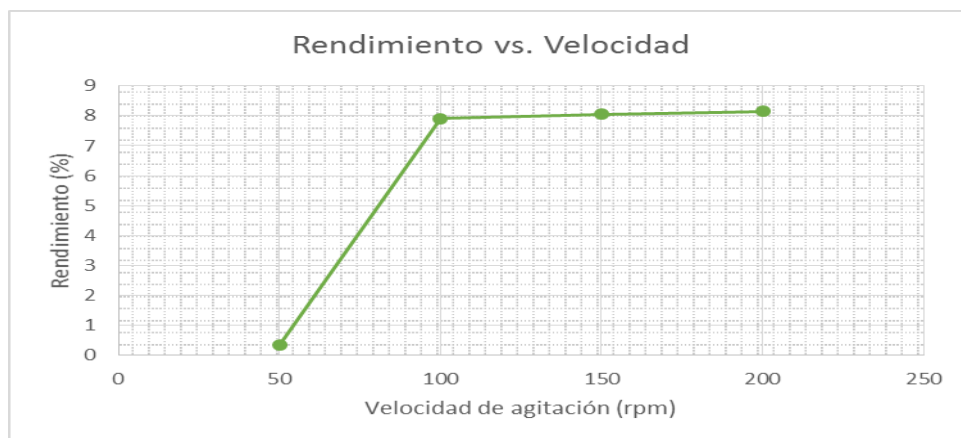
4.2.1.5 Efecto de la velocidad de agitación

Las condiciones de operación en las pruebas preliminares para la determinación de la velocidad de agitación se indican en la tabla 20.

Tabla 20. Parámetros para la determinación de la velocidad de agitación

Parámetro	Valor
Tamaño de cáscara	2*2 cm
pH	3
Relación albedo/disolvente	3:10
Temperatura	80 °C
Tiempo de extracción	70min

Fuente: Elaboración propia



Gráfica 7. Velocidad respecto al rendimiento de Pectina

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 7 se observa que la velocidad de agitación favorece la transferencia de materia en la interfase sólido-líquido, incrementando el rendimiento de Pectina hasta los 100 (rpm), a los 200 (RPM) el rendimiento de la pectina tiene un aumento bajo. Mayores a 200 (rpm) presenta derrame de nuestra solución (en laboratorio) por lo que se concluye que el rendimiento sube pero no es considerable y se decide tomar una velocidad de agitación de 100 rpm.

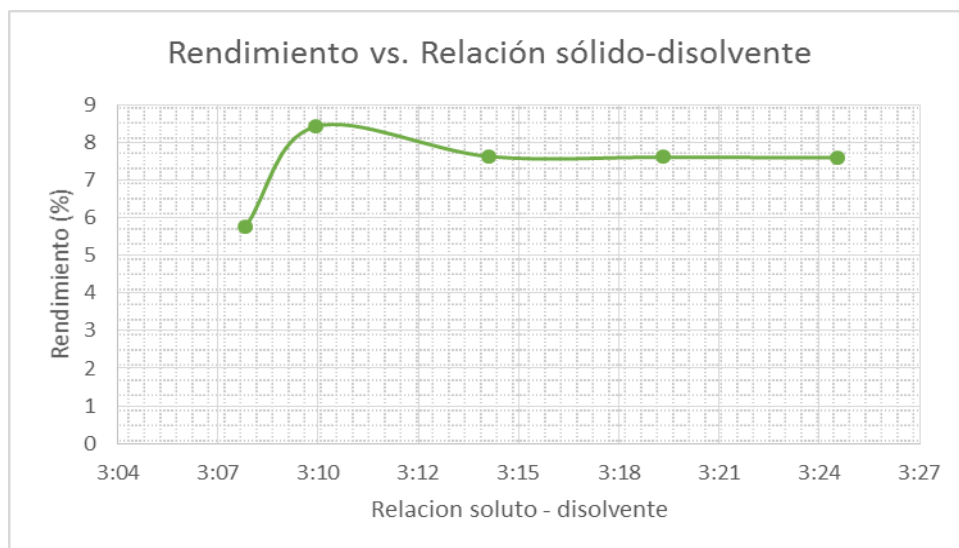
4.2.1.6 Efecto de la relación albedo/disolvente

Las condiciones de operación para la determinación de la relación albedo/disolvente se indican en la Tabla 21.

Tabla 21. Parámetros para la determinación de la relación albedo/disolvente

Parámetro	Valor
Tamaño de cáscara	2*2 cm
pH	3
Temperatura	80 °C
Tiempo de extracción	70 min
Velocidad de agitación	100 rpm

Fuente: Elaboración propia



Gráfica 8. Relación albedo/disolvente respecto al rendimiento de Pectina

Fuente: Elaboración propia

Se observa en la gráfica 8 que para una relación soluto-solvente de 3:10, incrementa el rendimiento de Pectina, considerándose como un punto máximo, pero para relaciones mayores el rendimiento tiende a disminuir y luego se mantiene constante, por lo cual se usa este como constante a lo largo del proceso.

4.2.2 Variables para el diseño experimental

Tabla 22. Variables influyentes y constantes en el proceso de extracción

VARIABLES INDEPENDIENTES				
Variable	Unidades	Símbolo	Mínimo	Máximo
pH		pH	1	3
Temperatura	°C	T	60	80
Tiempo	min	t	50	70
VARIABLES CONSTANTES				
Variable	Unidades	Símbolo	Valor	
Tamaño de Cáscara	cm	ϕ	2*2	
Velocidad de Agitación	rpm	Ω	100	
Relación albedo/d	g/ml	R	3:10	

Fuente: Elaboración propia

4.2.3 Diseño experimental

Los factores influyentes en el diseño experimental son: pH, Temperatura, y tiempo de acuerdo a las pruebas preliminares, por tanto, el diseño experimental factorial es: $2^k = 2^3 = 8$, con dos niveles de operación (bajo y alto) y tres factores.

Tabla 23. Resultados del Diseño Experimental

Número de corridas	Factor 1 pH	Factor 2 Temperatura (°C)	Factor 3 Tiempo (min)	Response 1 Rendimiento (%)
1	3.00	80.00	70.00	7,8988
2	3.00	60.00	50.00	4,6121
3	1.00	60.00	50.00	0,7336
4	3.00	60.00	50.00	3,5269
5	3.00	80.00	50.00	5,8803
6	3.00	60.00	70.00	6,5812
7	1.00	80.00	50.00	1,7393
8	1.00	80.00	70.00	7,3951
9	3.00	80.00	50.00	5,0229
10	1.00	80.00	50.00	2,6328
11	1.00	60.00	70.00	3,4407
12	3.00	60.00	70.00	6,1579
13	1.00	60.00	50.00	1,2196
14	1.00	60.00	70.00	4,5419
15	3.00	80.00	70.00	8,4131
16	1.00	80.00	70.00	6,8617

Fuente: Elaboración propia

4.2.4 Diseño en el Programa Design Expert

El Design Expert 7.0 proporciona una tabla de datos en función a los datos introducidos, esta tabla permite evaluar la gráfica media normal, el diagrama de Pareto, las interacciones, los resultados del ANOVA y gráficos en 2D y 3D.

4.2.4.1 Diseño en Design Expert

ANOVA for selected factorial model
Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]

Source	Sum of Squares	df	Mean Square
Model	83.49	5	16.70
A-pH	23.84	1	23.84
B-Temperatura	14.12	1	14.12
C-Tiempo	42.00	1	42.00
AC	2.18	1	2.18
BC	1.36	1	1.36
Residual	3.37	10	0.34
Lack of Fit	0.93	2	0.46
Pure Error	2.44	8	0.31
Cor Total	86.86	15	

Std. Dev.	0.58	R-Squared	0.9612
Mean	4.79	Adj R-Squared	0.9418

Factor	Coefficient		Standard Error	95% CI	
	Estimate	df		Low	High
Intercept	4.79	1	0.15	4.47	5.11
A-pH	1.22	1	0.15	0.90	1.54
B-Temperatura	0.94	1	0.15	0.62	1.26
C-Tiempo	1.62	1	0.15	1.30	1.94
AC	-0.37	1	0.15	-0.69	-0.046
BC	0.29	1	0.15	-0.032	0.61

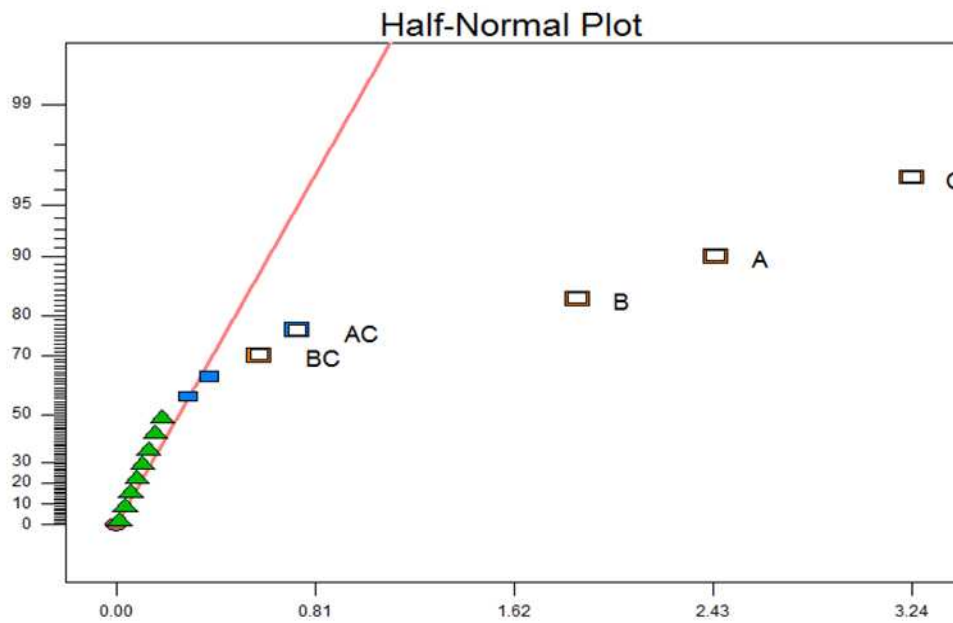
Final Equation in Terms of Coded Factors:

$$\begin{aligned} \text{Rendimiento} = & \\ & +4.79 \\ & +1.22 * A \\ & +0.94 * B \\ & +1.62 * C \\ & -0.37 * A * C \\ & +0.29 * B * C \end{aligned}$$

Final Equation in Terms of Actual Factors:

$$\begin{aligned} \text{Rendimiento} = & \\ & -6.13294 \\ & +3.43502 * \text{pH} \\ & -0.080958 * \text{Temperatura} \\ & +0.031789 * \text{Tiempo} \\ & -0.036908 * \text{pH} * \text{Tiempo} \\ & +2.91494\text{E-}003 * \text{Temperatura} * \text{Tiempo} \end{aligned}$$

4.2.4.2 Análisis de la gráfica media normal

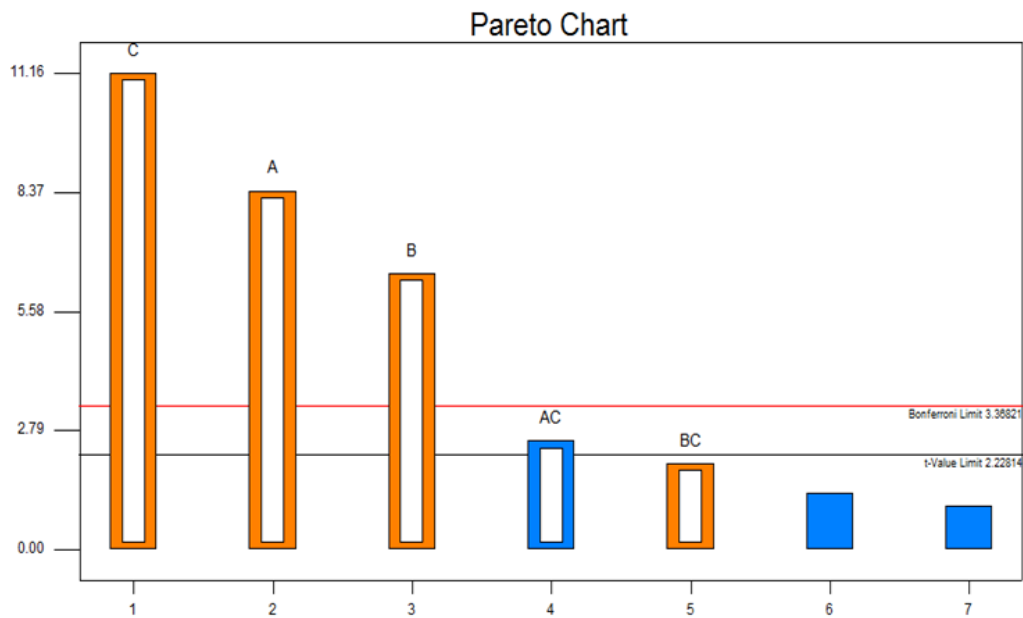


Gráfica 9. Gráfica de media Normal

Fuente: Elaboración propia en el programa Design Expert 7.0

La gráfica media normal permite identificar el comportamiento de los efectos en el proceso. Los efectos más significativos tienden a ir hacia la derecha y los menos significativos tienden a ir hacia la izquierda. Se observa que los efectos, C, A, B y las interacciones AC y BC tienden hacia la derecha siendo los más influyentes en el proceso, en cambio la interacción ABC y AB tienden hacia la izquierda siendo su influencia mínima en el proceso de extracción.

4.2.4.3 Análisis del diagrama de Pareto

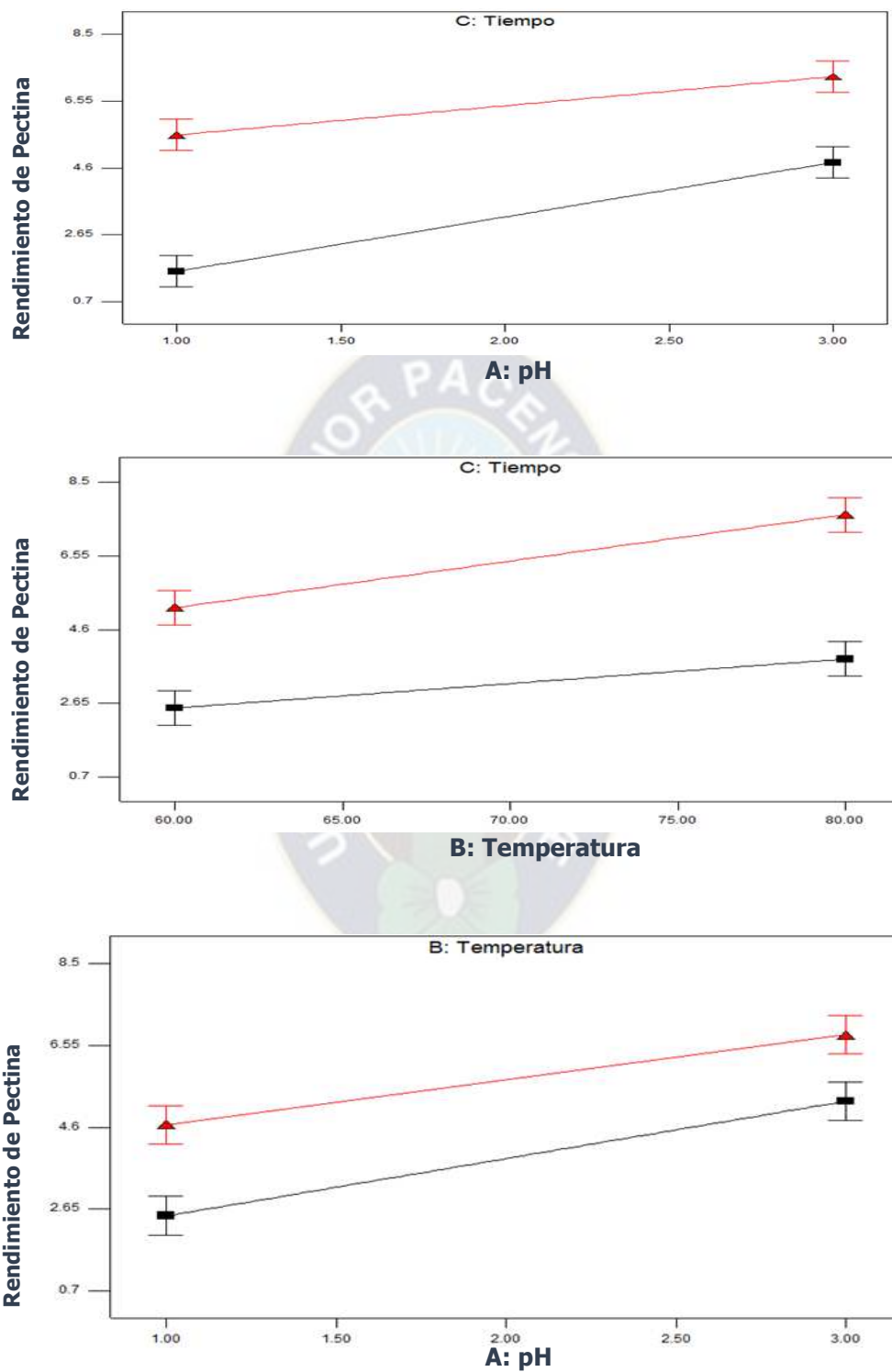


Gráfica 10. Diagrama de Pareto

Fuente: Elaboración propia en el programa Design Expert 7.0

En la gráfica 10 se observa que los factores más influyentes según el gráfico son C, AC, A, BC, B en tanto que las interacciones ABC y AB no tienen mucho efecto en el proceso de extracción.

4.2.4.4 Análisis de las interacciones



Gráfica 11. a) Interacción AC, b) Interacción BC, c) Interacción AB

Fuente: Elaboración propia en el programa Design Expert 7.0

Se observa que la interacción A (pH) y C (Tiempo) interactúan de forma que para un pH máximo, al aumentar el tiempo, se incrementa el rendimiento. Mientras que la interacción B (Temperatura) y C (Tiempo), interactúan de manera que al incrementar el tiempo para una temperatura máxima el rendimiento aumenta. Así mismo se observa en la interacción A (pH) y B (Temperatura) rectas paralelas, lo cual indica que esta interacción no influye de manera significativa en el proceso de extracción de pectina.

4.2.4.5 Análisis de la tabla ANOVA

Tabla 24. Análisis de Varianza

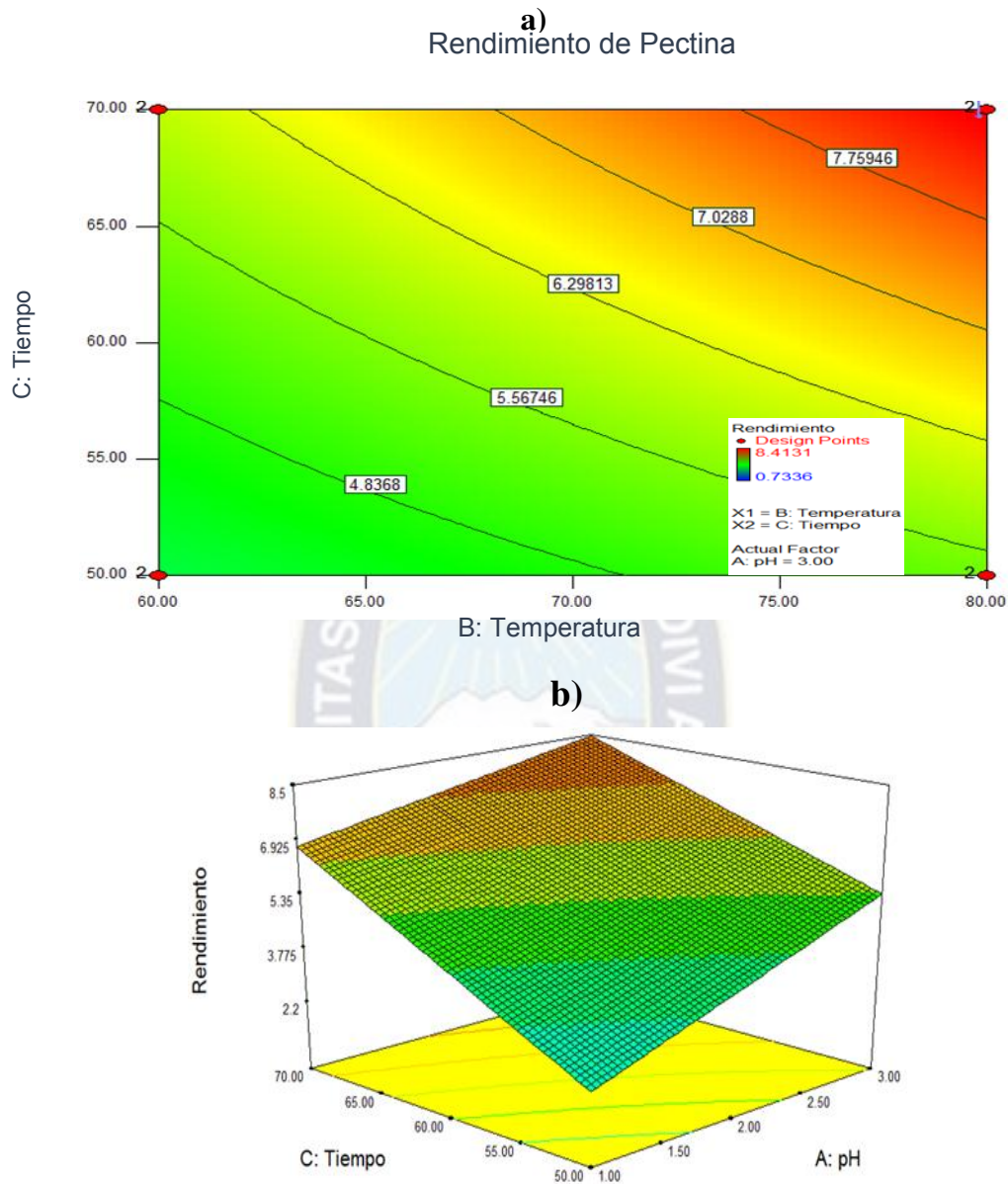
Fuente	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Fo	Valor Prob.
A (pH)	23,84	1	23,84	70,70	0,0001
B (Temperatura)	14,12	1	14,12	41,88	0,0001
C (Tiempo)	42,00	1	42,00	124,58	0,0001
AC	2,18	1	2,18	6,47	0,0292
BC	1,36	1	1,36	4,03	0,0724
Error	2,44	8	2,44		
Total	86,86	15			

Fuente: Elaboración Propia en el Programa Design Expert

En este proceso los efectos, A (pH), B (Temperatura), C (Tiempo) así como la interacción AC son significativos debido a que los valores de la “Prob” son menores a 0.05. Como también la interacción BC tiene valor cercano al valor de probabilidad, de igual manera se lo toma en cuenta.

Las interacciones AB y ABC, no fueron tomados en cuenta debido a que los valores de la “Prob” son mucho mayores a 0.05, por tanto no son significativos.

4.2.4.6 Análisis de los gráficos 2D y 3D



Gráfica 12. a) Interacción BC superficie de contorno, b) Interacción AC en gráfica 3D

Fuente: Elaboración propia en el programa Design Expert 7.0

Se observa en **a)** la interacción, B (Temperatura) en el eje “x”, C (Tiempo) en el eje “y”, con un rendimiento de pectina que va desde 0,73% hasta 8,41 %.

En **b)**, la interacción A (pH) en el eje “x”, C (Tiempo) en el eje “y”, el Rendimiento de Pectina en el eje “z” muestran como la variable respuesta incrementa conforme va aumentando el pH y el tiempo.

4.2.4.7 Ecuación del modelo

Considerando que los factores más influyentes en el proceso de extracción de Pectina son A (pH), B (Temperatura), C (Tiempo) así como las interacciones AC y BC, se obtiene la ecuación del modelo ajustado.

$$\text{Rendimiento de Pectina} = -6,13 + 3,43 \cdot A - 0,0809 \cdot B + 0,031 \cdot C - 0,036 \cdot A \cdot C + 2,91 \cdot 10^{-3} \cdot B \cdot C$$

Ecuación en función de las variables:

$$\eta_{\text{Pectin.}} = -6,13 + 3,43 \cdot \text{pH} - 0,0809 \cdot T + 0,031 \cdot t - 0,036 \cdot \text{pH} \cdot t + 2,91 \cdot 10^{-3} \cdot T \cdot t$$

Donde:

- pH
- T = Temperatura
- t = Tiempo

Tabla 25. Valores obtenidos del diseño experimental

Variable	Valor	Unidad
pH	3	
Temperatura	80	°C
Tiempo	70	min

Fuente: Elaboración Propia

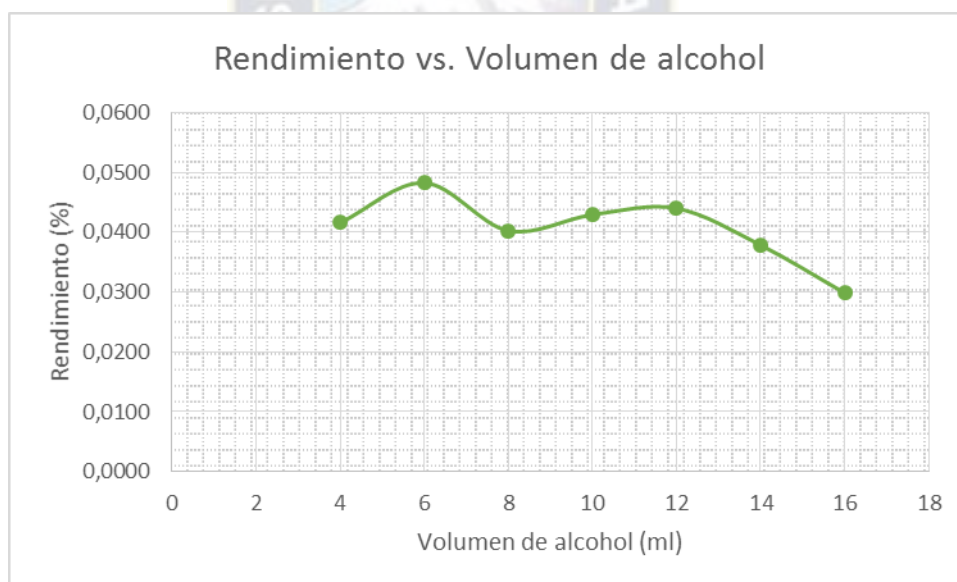
4.2.5 Cuantificación del alcohol empleado en el proceso de precipitación

En la tabla 26 se presenta la cantidad de alcohol que se debe emplear para obtener mayor cantidad de pectina y en la gráfica 13 se observa que el volumen de alcohol de 6ml es el óptimo para precipitar mayor cantidad de pectina.

Tabla 26. Volumen de alcohol utilizado en la precipitación de pectina

Muestra	Volumen de alcohol empleado (ml)	Volumen de alcohol lavado (ml)	Rendimiento (%)
M1	4	2	0,0416
M2	6	3	0,0483
M3	8	4	0,0403
M4	10	5	0,0429
M5	12	6	0,0440
M6	14	7	0,0379
M7	16	8	0,0299

Fuente: Elaboración propia



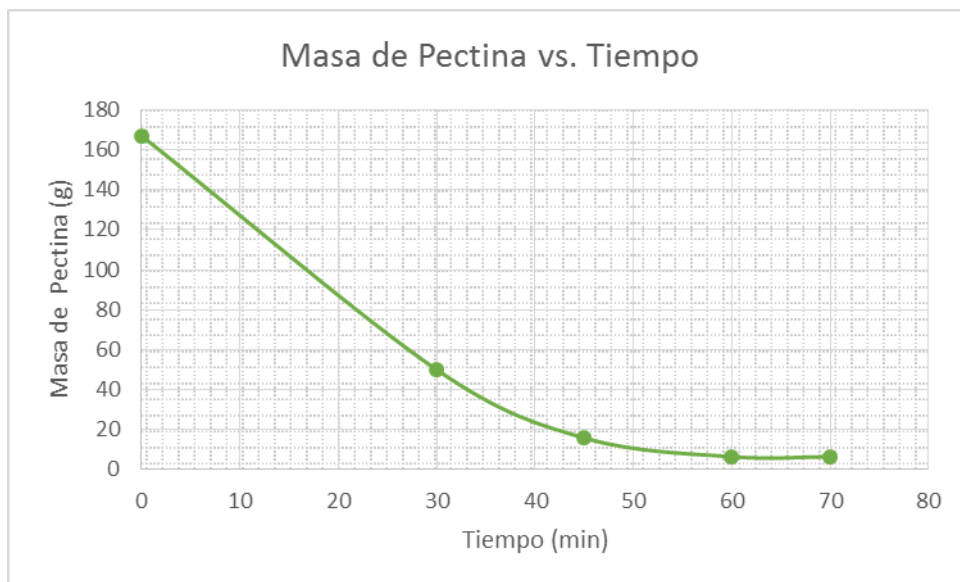
Gráfica 13. Precipitación de pectina

Fuente: Elaboración propia

4.2.6 Proceso de secado de la pectina

Para el secado de la muestra de la pectina se realizó de la siguiente manera:

Se pesó la muestra después de filtrar y luego se colocó en la estufa a 52°C, se programó tiempos de secado y pesaje a los 30, 45, 60 y 70 minutos donde se puede observar que los pesos en los tiempos de 60 y 70 minutos de la muestra son iguales o sea constante esto implica que la muestra esta seca y no contiene alcohol como se muestra en la gráfica 14.

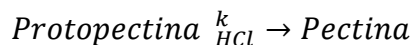


Gráfica 14. Variación del peso durante el tiempo de secado

Fuente: Elaboración propia

4.3 CINÉTICA DE EXTRACCIÓN

El análisis cinético se centra en la Conversión de la Protopectina a Pectina, la cual es catalizada por el ácido clorhídrico presente en el medio de extracción como en la siguiente ecuación:



Dónde:

k = constante de la velocidad de reacción

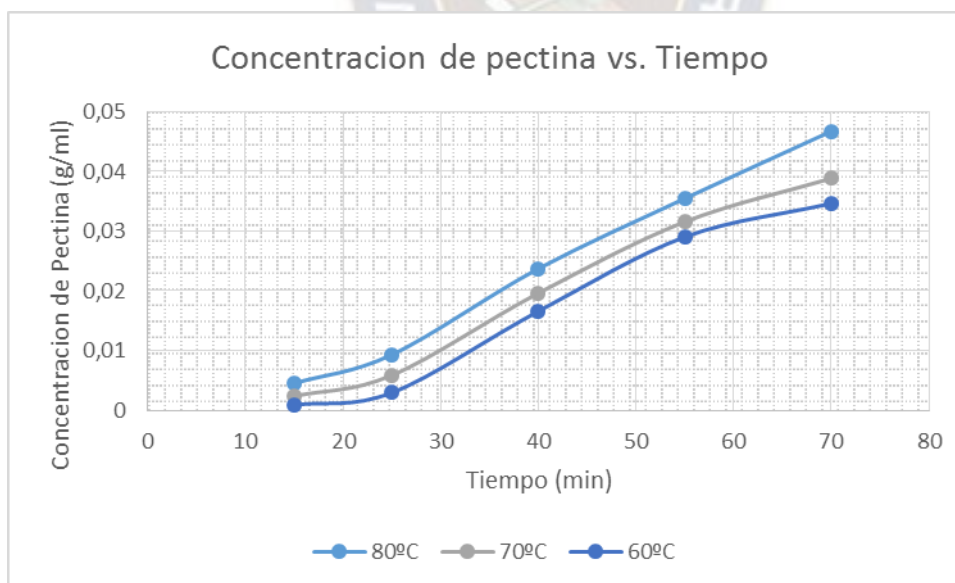
Se obtiene la concentración de pectina a tres temperaturas de 60, 70, 80°C en tiempos de 15, 25, 40, 55 y 70 minutos.

Tabla 27. Resultados de la concentración de pectina a diferentes temperaturas y tiempos de extracción

Tiempo (min)	C _{Pectina} (g/ml) 60°C	C _{Pectina} (g/ml) 70°C	C _{Pectina} (g/ml) 80°C
15	0,00088	0,00236	0,00452
25	0,00294	0,00585	0,00931
40	0,01658	0,01962	0,02372
55	0,02903	0,03157	0,03548
70	0,03465	0,03884	0,04674

Fuente: elaboración propia

Con los datos experimentales de la tabla 27 se obtiene la cantidad de pectina extraída del albedo de pomelo a cada temperatura estudiada hasta los 70 min, el cual se representa en la gráfica 15.



Gráfica 15. Representación de la Pectina en función del tiempo a diferentes temperaturas

Fuente: elaboración propia

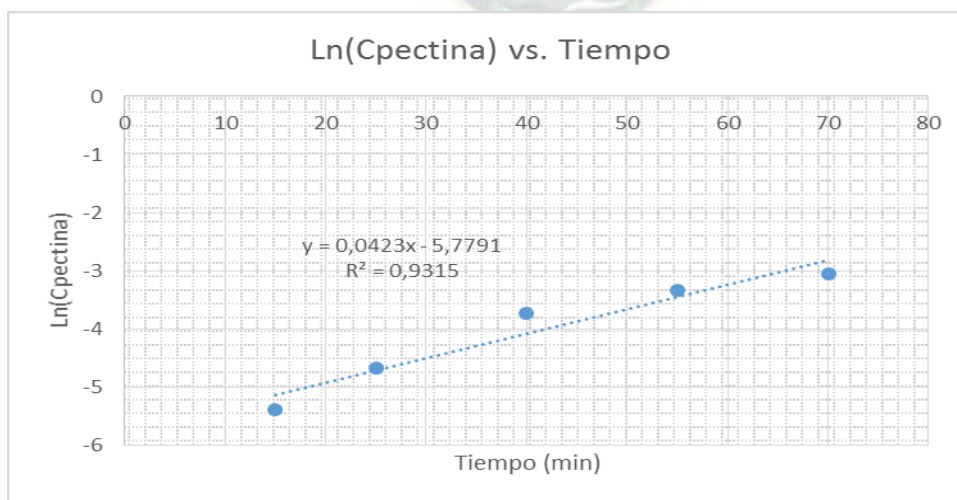
Los parámetros cinéticos, el orden y la velocidad de reacción se determinaron en términos de la pectina contenida en el albedo. Los datos de concentración de pectina se modelaron según las linealizaciones correspondientes para una reacción de Primer y Segundo Orden, cuyas expresiones se detallan en la tabla 28.

Tabla 28. Expresiones de la velocidad de reacción

Reacción	Velocidad de reacción	Ecuación de Linealización
Primer Orden	$v = \frac{d[C]}{d\theta}$ $v = k[C]$	$\ln[C] = \ln[C]_0 + k\theta$
Segundo Orden	$v = K[C]^2$	$\frac{1}{[C]} = \frac{1}{[C]_0} - k\theta$

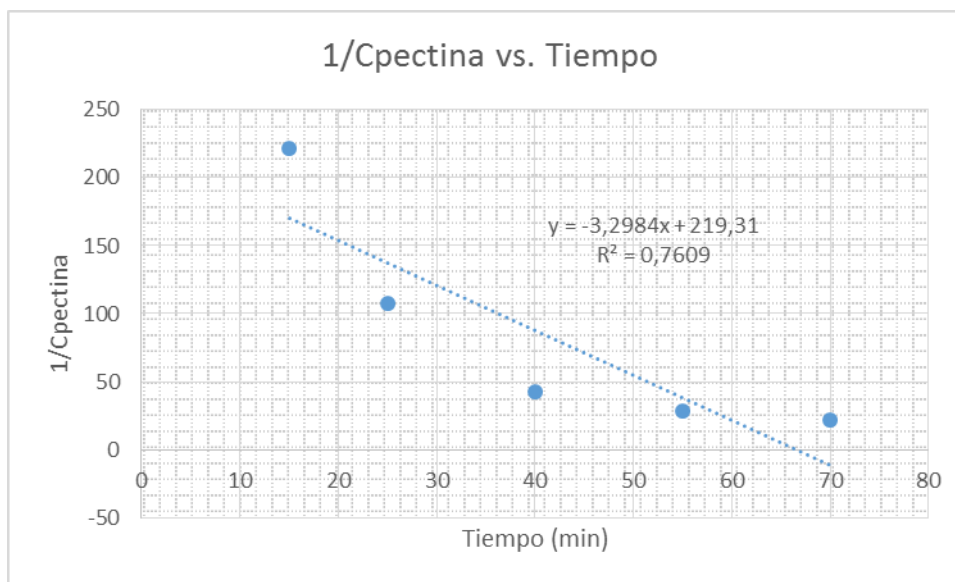
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los factores de correlación que arrojo el tratamiento de los datos, se determinó su correspondencia con una reacción de primer orden ya que su valor se aproxima de mejor forma a 1, a diferencia de aquellos valores generados por la linealización de segundo orden; como se distingue en la tabla 29. En las gráficas 16 y 17 se observa la aplicación del método integral y en el ANEXO F se detalla las demás graficas a diferentes temperaturas.



Gráfica 16. Método integral de linealización, primer orden de reacción a 80°C

Fuente: Elaboración Propia



Gráfica 17. Método integral de linealización, segundo orden de reacción a 80°C

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 29. Factor de correlación según el orden de reacción

Temperatura (°C)	Correlación	
	Reacción 1° Orden	Reacción 2° Orden
60	0,8834	0,6412
70	0,9063	0,7073
80	0,9315	0,7609

Fuente: Elaboración Propia

Una vez definido el orden de reacción se determinó la constante de la reacción, cuyo valor corresponde a la pendiente de las ecuaciones de linealización, las cuales se detallan en la tabla 30. El valor de la constante de velocidad es de $0,0423 \text{ min}^{-1}$.

Tabla 30. Ecuaciones de linealización como Primer Orden de Reacción

Temperatura (°C)	Linealización Reacción 1° Orden	Velocidad de Reacción (min ⁻¹)
60	$y = 0,0676x - 7,5461$	0,0676
70	$y = 0,0512x - 6,4648$	0,0512
80	$y = 0,0423x - 5,7791$	0,0423

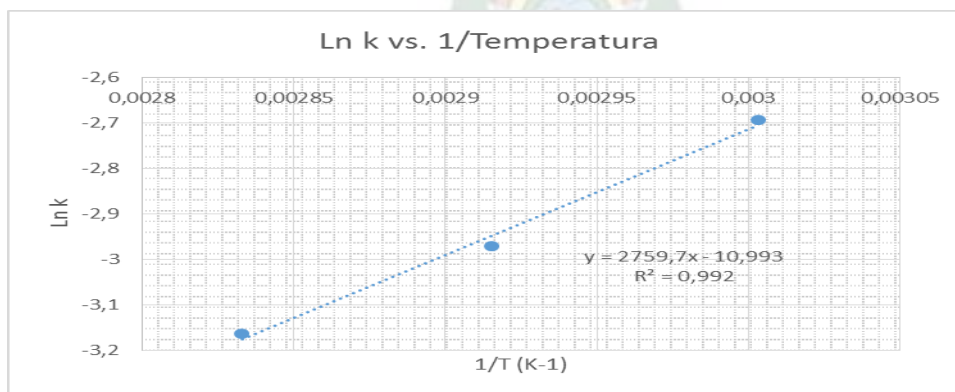
Fuente: Elaboración Propia

Se realizaron experiencias a diferentes temperaturas, para determinar la energía de activación a partir de la representación lineal de la ecuación de Arrhenius, se observa en la gráfica 18 y los parámetros cinéticos se detallan en la tabla 31.

Tabla 31. Parámetros cinéticos

Temperatura (°C)	Velocidad de Reacción k (min ⁻¹)	Correlación Reacción 1° Orden
60	0,0676	0,8834
70	0,0512	0,9063
80	0,0423	0,9315

Fuente: Elaboración Propia



Gráfica 18. Dependencia de la constante de velocidad de reacción con la temperatura

Fuente: Elaboración Propia

La energía de activación del proceso, se determinó a partir de la ecuación de Arrhenius, la cual relaciona la constante cinética con la temperatura absoluta:

$$k = A * \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right)$$

Donde:

A: factor de frecuencia (min^{-1}).

Ea: energía de activación (J/mol).

R: constante universal de los gases (8,31 J/mol K).

T: temperatura absoluta (K).

Aplicando logaritmo a los dos miembros de la ecuación:

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{R} * \frac{1}{T}$$

A partir de la pendiente se obtiene el valor de la Energía de Activación (Ea):

$$\frac{E_a}{R} = 2759,7$$

$$E_a = 2759,7 * 8.31 = 22933,11 \frac{\text{J}}{\text{mol}} = 22,93 \frac{\text{KJ}}{\text{mol}}$$

El valor de la energía de activación corresponde a un valor de 22,93KJ/mol, al ser menor a 40 KJ/mol indica que la extracción de pectina con HCl puede considerarse efectos difusionales.

4.4 CARACTERIZACION DE LA PECTINA

4.4.1 Propiedades físicas de la pectina

Tabla 32. Propiedades físicas de la pectina extraída

Propiedades físicas	Pectina
Estado	Sólido
Color	Ligeramente rosado
Olor	Ninguno

Fuente: Elaboración Propia

4.4.2 Parámetros de la pectina según la FAO

De los resultados mostrados en la tabla 33, se ve que la pectina obtenida, está dentro de los parámetros de la FAO y en comparación con la pectina comercial (Certificado de análisis en ANEXO G), el grado de esterificación de la pectina extraída es mayor a la pectina comercial con un valor de 86,39%, osea es una pectina de alto grado de metoxilo, esta característica determina su capacidad para formar geles en presencia de azúcar, ácido y agua.

Tabla 33. Propiedades de la pectina extraída comparada con los requerimientos de la FAO

Parámetro	FAO (*)	Datos	Pectina
		experimentales	Comercial
Humedad	Máximo 12%	9,55%	4,4%
Cenizas	Máximo 2.50%	1,05%	–
Azúcares reductores	Máximo 160 mg/g	99,08 mg/g	–
Porcentaje de metoxilo	Mínimo 6.70%	11,68%	–
Grado de esterificación	Mínimo 60%	86,39%	71,1%
% ác. anh. Galacturónico	Mínimo 65%	76,75%	80%

Fuente: Elaboración propia (*) (Cuesta & Muñoz, 2010, pág. 95)

Las pectinas tienen la capacidad de formar geles, el grado de esterificación también está relacionado con la formación del tipo de gel y es la que define la clase de pectina. Nuestra pectina es ultrarrápida por tener un grado de esterificación alto.

4.5 DISEÑO DEL EXTRACTOR (NIVEL BENCH SCALE)

4.5.1 Extractor a nivel laboratorio

Con el diseño experimental se identifica las características para el diseño del equipo de extracción. Se determina la viscosidad con un viscosímetro de Cannon - Fenske y la densidad del fluido con la ayuda de un picnómetro.

Suponiendo que el recipiente original es un cilindro estándar con $D_t = H$ (diámetro del tanque es aproximadamente igual a la altura del líquido), ya que esto facilita el escalamiento y obtención de una relación de escala.

Las características y dimensiones para el equipo de extracción son:

Tabla 34. Parámetros y valores del extractor a nivel laboratorio

Variables	Valor	Valor S.I.
Densidad	1,27726 [g/cm ³]	1277,26 [Kg/m ³]
Viscosidad	1,022[cps]	1,02 *10 ⁻³ [Pa-s]
Velocidad del Agitador	100 [RPM]	1,67 [rev/s]
Diámetro del agitador	4,3(cm)	0,043(m)
Temperatura	80 [°C]	80 [°C]
Tamaño de Cáscara	2*2 [cm]	0,02*0,02 [m]
pH	3	3
Tiempo	70 [min]	4200 [s]
H tanque	15 [cm]	0,15 [m]
H líquido	8 [cm]	0,08 [m]
D tanque	8 [cm]	0,08 [m]

Fuente: Elaboración Propia

4.5.1.1 Cálculo del número de Reynolds

Para el Número de Reynolds a nivel laboratorio se tiene:

$$N_{Re} = \frac{N \cdot D_a^2 \cdot \rho}{\mu} = \frac{\left(1,67 \frac{rev}{s}\right) \cdot (0,043 m)^2 \cdot \left(1277,26 \frac{kg}{m^3}\right)}{1,02 \cdot 10^{-3} (Pa - s)}$$

$$N_{Re} = 3859,06$$

Se aprecia que el Número de Reynolds es 3859,06 y es mayor a 10 por lo que se encuentra en un régimen transitorio.

4.5.2 Extractor a nivel Bench Scale

4.5.2.1 Cálculo de la capacidad del tanque

El acero inoxidable AISI 304 es el más versátil y uno de los más usados de los aceros inoxidables de la serie 300. Tiene buenas características para la soldadura, no requiere recocido tras la soldadura para que se desempeñe bien en una amplia gama de condiciones corrosivas.

Sus usos son muy variados, se destacan los equipos para procesamiento de alimentos, enfriadores de leche, intercambiadores de calor, contenedores de productos químicos, tanques para almacenamiento de vinos y cervezas, partes para extintores de fuego (SUMITEC S.A., pág. 2).

Para obtener 1200 g de pectina; entonces la masa a utilizar de cáscara de pomelo será:

$$m = 1200 g_{Pectina} \cdot \frac{100 g_{Cáscara}}{8 g_{Pectina}} = 15000 g = 15 kg \text{ Cáscara}$$

Cálculo del volumen de la solución acidulada:

$$V = 1200 g_{Pectina} \cdot \frac{100 g_{Cáscara}}{8 g_{Pectina}} \cdot \frac{250 ml}{75 g \text{ cáscara}} \cdot \frac{1 l}{1000 ml} = 50 l$$

Se determina que para obtener 1200 g de pectina, el volumen necesario es de 50 [L], recomendada para una escala Bench.

4.5.2.2 Dimensiones del tanque extractor

El agitador elegido es una turbina de 6 aspas planas inclinadas a 45° de flujo combinado radial y axial de las siguientes características:

- La viscosidad del fluido está dentro del rango (<100000 cp).
- Recomendable para sólidos en suspensión.

a) Cálculo del aumento de escala

Se calcula el volumen a nivel Laboratorio para calcular el aumento de escala “R” con la ecuación:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D_{t1}^2}{4} \cdot H$$

$$V_1 = \frac{\pi \cdot 0,08^2}{4} \cdot 0,08 \quad \rightarrow \quad V_1 = 4,0212 \cdot 10^{-4} [m^3]$$

Por lo tanto, la relación a escala será:

$$R = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{1/3} = \left(\frac{50 [L]}{0,4021 [L]}\right)^{1/3} \quad \rightarrow \quad R = 4,9913 \cong 5$$

- Cálculo del diámetro del tanque

$$R = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{1/3} = \left(\frac{D_{t2}^3}{D_{t1}^3}\right)^{1/3}$$

$$D_{t2} = R \cdot D_{t1}$$

$$D_{t2} = 5 \cdot 0,08 \quad \rightarrow \quad D_{t2} = 0,4 [m]$$

- Cálculo de la altura del tanque

$$H_{t2} = R \cdot H_{t1}$$

$$H_{t2} = 5 \cdot 0,15 \quad \rightarrow \quad H_{t2} = 0,75 [m]$$

- Cálculo del diámetro del agitador

$$D_{a2} = R \cdot D_{a1}$$

$$D_{a2} = 5 \cdot 0,043 \quad \rightarrow \quad D_{a2} = 0,215 [m]$$

- Cálculo del espesor de los deflectores

$$\frac{J}{D_{t2}} = \frac{1}{12}$$

$$J = \frac{D_{t2}}{12} = \frac{0,4}{12} \quad \rightarrow \quad J = 0,033 [m]$$

- **Cálculo de la altura del agitador sobre el fondo del tanque**

$$\frac{C}{D_{t2}} = \frac{1}{3}$$

$$C = \frac{D_{t2}}{3} = \frac{0,4}{3} \rightarrow C = 0,133 \text{ [m]}$$

- **Cálculo espacio entre placa deflectora y tanque**

$$\frac{f}{D_{t2}} = 0,02$$

$$f = D_{t2} \cdot 0,02 = 0,4 \cdot 0,02 \rightarrow f = 0,008 \text{ [m]}$$

- **Cálculo de la altura de las aspas del agitador**

$$\frac{W}{D_{a2}} = \frac{1}{8}$$

$$W = D_{a2} \cdot \frac{1}{8} = 0,215 \cdot \frac{1}{8} \rightarrow W = 0,027 \text{ [m]}$$

- **Cálculo de la longitud de las aspas del agitador**

$$\frac{L}{D_{a2}} = \frac{1}{4}$$

$$L = D_{a2} \cdot \frac{1}{4} = 0,215 \cdot \frac{1}{4} \rightarrow L = 0,054 \text{ [m]}$$

- **Cálculo del diámetro de la base del agitador**

$$\frac{D_d}{D_{a2}} = \frac{2}{3}$$

$$D_d = D_{a2} \cdot \frac{2}{3} = 0,215 \cdot \frac{2}{3} \rightarrow D_d = 0,16 \text{ [m]}$$

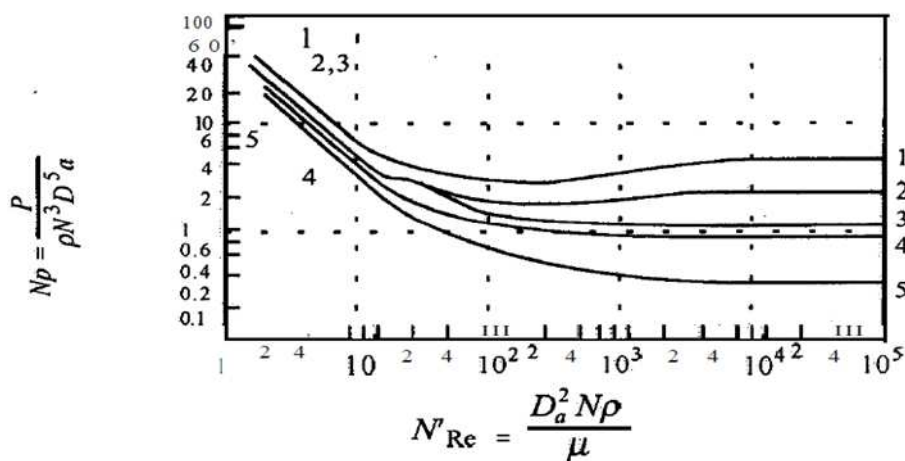
4.5.2.3 Número de Reynolds para el equipo de extracción

$$N_{Re} = \frac{N \cdot D^2 \cdot \rho}{\mu} = \frac{\left(1,67 \frac{rev}{s}\right) \cdot (0,215 \text{ m})^2 \cdot \left(1277,26 \frac{kg}{m^3}\right)}{1,02 \cdot 10^{-3} \text{ (Pa} \cdot \text{s)}}$$

$$N_{Re} = 96476,56$$

4.5.2.4 Cálculo de la potencia para el equipo de extracción

Con el número de Reynolds se determina el número de potencia de acuerdo a la siguiente gráfica:



Gráfica 19. Diagrama Relación entre el número de Reynolds y el número de Potencia

Fuente: Procesos de transporte y Operaciones Unitarias. (Geankoplis, 1998, pág. 165)

Donde:

$$N_p = 1,63$$

Calculando la potencia se tiene:

$$P = N_p \cdot \rho \cdot N^3 \cdot D_a^5$$

$$P = N_p \cdot \rho \cdot N^3 \cdot D_a^5 = 1,63 \cdot 1277,26 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(1,67 \frac{\text{rev}}{\text{s}}\right)^3 \cdot (0,215 \text{ m})^5$$

$$P = 4,45 \text{ [W]}$$

Para evitar un sobrecalentamiento del motor se debe trabajar con un factor de seguridad que generalmente es decidido por el personal de diseño el factor de seguridad del 30% indica un sistema completamente seguro, el 20% indica un sistema medianamente seguro y el 10% indica un sistema de protección bajo (Suarez Oquendo & Trujillo Villa, 2011, pág. 37).

Entonces se tiene la siguiente ecuación:

$$P_c = (f_s * P) + P$$

Donde:

P_c: Potencia corregida

f_s: Factor de seguridad

$$P_c = (0.3 * 4,45) + 4,45 \rightarrow P_c = 5,79 [W]$$

4.5.2.5 Potencia del motor eléctrico requerida

La potencia requerida del motor eléctrico debe considerar la eficiencia de sus elementos (η), y se la calculó mediante la ecuación: (Ricaurte Freire, 2016, pág. 40).

$$P_m = \frac{P}{\eta}$$

$$P_m = \frac{5,79}{0,7}$$

$$P_m = 8,27 \cong 8,3[W]$$

Considerando que este tipo de motor no está disponible en el mercado, se encuentra potencias de agitadores desde 1/5 hp – 1 hp, monofásico, regulado por un variador de frecuencia. Cabe señalar que en laboratorio el agitador es de 300 W que equivale a 0,4HP, para fines de cálculo se tomara este valor.

4.5.2.6 Diámetro del eje para el agitador

Se calcula el diámetro con la siguiente ecuación:

$$D_e = \left[\frac{32N}{\pi} \sqrt{\left(\frac{k_t M}{S_n}\right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T_{tor}}{S_y}\right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

En este caso no existen fuerzas aplicadas que causen Flexión por lo tanto $M = 0$ y la ecuación se reduce a:

$$D_e = \left[\frac{32N}{\pi} \sqrt{\frac{3}{4} \left(\frac{T_{tor}}{S_y} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

La resistencia del material y de las cargas para diseños típicos de ejes es $N = 2$ y S_y es 35000 psi para el acero inoxidable AISI-304, la potencia en unidades HP. Se calcula T_{tor} , con la siguiente ecuación:

$$T_{tor} = 63000 * \frac{P}{n} = 63000 * \frac{0,4}{100} = 252 [lb - pulg]$$

Por lo tanto, se tiene:

$$D_e = \left[\frac{32 * 2}{\pi} * \sqrt{\frac{3}{4} * \left(\frac{252 [lb - pulg]}{35000 [psi]} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} = 0,503 [pulg]$$

$$D_e = 0,0127 [m]$$

4.5.2.7 Espesor de la plancha

Para condición de diseño en unidades US: (Restrepo, 2007, pág. 26).

$$t_d = \frac{2,6 * D * (H - 1) * G}{S_d} + ca$$

t_d = Espesor de diseño, in

D = diámetro nominal del tanque, ft

H = altura, ft

G = gravedad especifica de diseño del líquido

Ca = tolerancia para la corrosión, definido por el cliente

S_d = esfuerzo admisible para la condición de diseño, psi

$$t_d = \frac{2,6 * 1,31 * (2,46 - 1) * 1,28}{21000} + 1/16$$

$$t_d = 0.063 \text{ in}$$

Por tanto, los datos para el diseño del extractor a nivel Bench se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 35. Dimensiones para el diseño del extractor escala Bench

Dato	Valor SI	Valor CGS
D_t (Diámetro del Tanque)	0,40 [m]	40 [cm]
H_t (Altura del Tanque)	0,75 [m]	75 [cm]
J (Espesor de los deflectores)	0,033 [m]	3,3 [cm]
D_a (Diámetro del Agitador)	0,215 [m]	21,5 [cm]
W (Altura de las Aspas del agitador)	0,027 [m]	2,7[cm]
C (Altura Agitador sobre el Fondo)	0,133 [m]	13,3[cm]
L (longitud de las aspas del agitador)	0,054 [m]	5,4 [cm]
f (espacio entre placa deflectora y tanque)	0,008 [m]	0,8 [cm]
D_d (diámetro de la base del agitador)	0,16 [m]	16 [cm]
D_e (diámetro del eje)	0,0127 [m]	1,27 [cm]
t_d (espesor de la plancha)	0,002 [m]	0,2 [cm]

Fuente: Elaboración Propia

4.5.3 Cálculo del espesor del aislante

4.5.3.1 Cálculo del coeficiente de convección

a) Coeficiente de convección del fluido:

$$T_i = 80^\circ\text{C} \quad \text{Re} = 96476,56$$

$$T_e = 20^\circ\text{C} \quad r_1 = 0,20 \text{ m}$$

Las propiedades del fluido a la temperatura media de su masa son APÉNDICE 1, TABLA A-9 (Cengel, 2007).

$$T_b = \frac{1}{2} \cdot (T_e + T_i) = \frac{1}{2} \cdot (20 + 80) = 50^\circ\text{C}$$

$$k = 0,644 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$$

$$Pr = 3.55$$

Se determina el número de Nusselt con la expresión:

$$Nu = 0.023 * (96476,56)^{0.8} * 3.55^{0.4}$$

$$Nu = 370,985$$

Calculando el h_i :

$$h_i = \frac{Nu \cdot k}{d} = \frac{370,985 \cdot 0,644}{0,4} \rightarrow h_i = 597,28 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

b) Coeficiente de convección del aire

$$T_s = 80^\circ C \quad r_1 = 0.20 \text{ m} \quad r_2 = 0,202 \text{ m}$$

$$T_\infty = 20^\circ C \quad L = 0.75 \text{ m}$$

Las propiedades del aire deben evaluarse a la temperatura de película son APÉNDICE 1, TABLA A-15 (Cengel, 2007).

$$T_f = \frac{1}{2} \cdot (T_s + T_\infty) = \frac{1}{2} \cdot (80 + 20) = 50^\circ C$$

$$k = 0,02735 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$$

$$Pr = 0,7228$$

$$v = 1,798 \cdot 10^{-5} \left[\frac{m^2}{s} \right]$$

$$\beta = \frac{1}{50 + 273} = 0,003095 \left[\frac{1}{K} \right]$$

Reemplazando los datos se tiene el número de Rayleigh y Grashof:

$$Ra_L = \frac{9,81 * \left(\frac{1}{323} \right) * (353 - 293) * 0,75^3}{(1,798 \cdot 10^{-5})^2} \cdot 0,7228$$

$$Ra_L = 1,718 \cdot 10^9$$

$$Gr_L = 2,378 \cdot 10^9$$

Verificando la siguiente condición:

$$D \geq \frac{35L}{Gr_L^{1/4}}$$

$$0,404 \geq \frac{35 * 0,75}{(2,378 \cdot 10^9)^{1/4}}$$

$$0,404 \geq 0,1188$$

Se satisfacen los criterios el diámetro del cilindro es suficientemente grande por lo tanto reemplazando en la ecuación de Nu:

$$Nu = \left(0,825 + \frac{0,387 \cdot (1,718 \cdot 10^9)^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{0,7228} \right)^{16} \right]^{1/8}} \right)^2$$

$$Nu = 145,62$$

Calculando el h_0 :

$$h_0 = \frac{Nu * k}{L} = \frac{145,62 * 0,02735}{0,75} \rightarrow h_0 = 5,31 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

4.5.3.2 Determinación del espesor óptimo del aislamiento

Las propiedades del acero inoxidable del APÉNDICE 1, TABLA A-3 y el aislante APÉNDICE 1, TABLA A-6 (Cengel, 2007).

$$k_1 = 16,6 \left[\frac{W}{m - K} \right] \quad (\text{acero inoxidable})$$

$$k_2 = 0,038 \left[\frac{W}{m - K} \right] \quad (\text{fibra de vidrio})$$

Cálculo de la pérdida de calor sin aislante. Las áreas son:

$$A_1 = 2 * \pi * r_1 * L = 2 * \pi * (0,20 \text{ m}) * 0,75 \text{ m} \quad \rightarrow \quad A_1 = 0,94[m^2]$$

$$A_2 = 2 * \pi * r_2 * L = 2 * \pi * (0,202 \text{ m}) * 0,75 \text{ m} \quad \rightarrow \quad A_2 = 0,95[m^2]$$

Se determina cada una de las resistencias térmicas:

$$R_i = R_{conv1} = \frac{1}{h_i * A_1} = \frac{1}{597,28 * 0,94} \quad \rightarrow \quad R_i = 0,00178 \left[\frac{K}{W} \right]$$

$$R_1 = R_{cil} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi * k_1 * L} = \frac{\ln(0,202/0,20)}{2\pi * 16,6 * 0,75} \quad \rightarrow \quad R_1 = 0,00013 \left[\frac{K}{W} \right]$$

$$R_0 = R_{conv2} = \frac{1}{h_0 * A_2} = \frac{1}{5,31 * 0,95} \quad \rightarrow \quad R_0 = 0,198 \left[\frac{K}{W} \right]$$

La pérdida de calor sin aislante queda:

$$Q = \frac{T_i - T_0}{R_{Total}} = \frac{(353 - 293)[K]}{0,19991 \left[\frac{K}{W} \right]}$$

$$Q = 300,14 [W] = 0,30[KW]$$

Operación del agitador: $8hrs * 22días * 12meses = 2112 \frac{hrs}{año}$

Perdida de calor anual: $Q_{año} = 0,30 [KW] * 2112 \frac{hrs}{año} = 633,6 \frac{KWh}{año}$

Costo de energía: $0,108 \frac{\$}{KWh}$

Costo anual de energía: $Q_{año} * Costo \text{ energia} = 633,6 \frac{KWh}{año} * 0,108 \frac{\$}{KWh} = 68,43 \frac{\$}{año}$

Cálculo de la pérdida de calor con aislante:

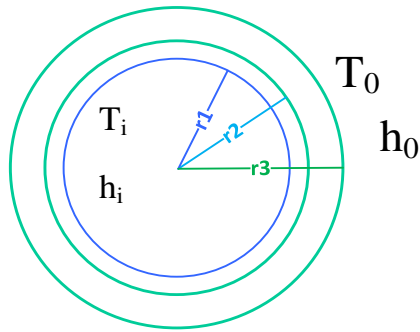


Figura 30. Espesor del aislamiento

Fuente: Elaboración propia

$$e_{ais} = 1[cm] \text{ (Espesor del aislante asumido)}$$

Las áreas de las superficies expuestas a convección quedan:

$$A_1 = 2 * \pi * r_1 * L = 2 * \pi * (0,20 \text{ m}) * 0,75 \text{ m} \rightarrow A_1 = 0,94[m^2]$$

$$A_3 = 2 * \pi * r_3 * L = 2 * \pi * r_3 * 0,75 \text{ m} \rightarrow A_3 = 4,71 * r_3[m^2]$$

Se determina cada una de las resistencias térmicas:

$$R_i = R_{conv1} = \frac{1}{h_i * A_1} = \frac{1}{597,28 * 0,94} \rightarrow R_i = 0,00178 \left[\frac{K}{W} \right]$$

$$R_1 = R_{cil} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi * k_1 * L} = \frac{\ln(0,202/0,20)}{2\pi * 16,6 * 0,75} \rightarrow R_1 = 0,00013 \left[\frac{K}{W} \right]$$

$$R_2 = R_{aislamiento} = \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi * k_2 * L} = \frac{\ln(r_3/0,202)}{2\pi * 0,038 * 0,75} \rightarrow R_2 = 5,584 * \ln\left(\frac{r_3}{0,202}\right) \left[\frac{K}{W} \right]$$

$$R_0 = R_{conv2} = \frac{1}{h_0 * A_3} = \frac{1}{5,31 * 4,71 * r_3} \rightarrow R_0 = \frac{1}{25,01 * r_3} \left[\frac{K}{W} \right]$$

Para la transferencia de calor se varía el espesor del aislante en la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{T_i - T_0}{R_{Total}} = \frac{(353 - 293)[K]}{\left(0,00178 + 0,00013 + 5,584 * \ln\left(\frac{r_3}{0,202}\right) + \frac{1}{25,01 * r_3} \right) \left[\frac{K}{W} \right]}$$

$$r_3 = e_{ais} + r_2$$

$$Q = \frac{60}{\left[0.00191 + 5.584 * \ln\left(\frac{0,01 + 0.202}{0.202}\right) + \frac{1}{25.01 * (0,01 + 0.202)} \right]} [W]$$

$$Q = 130,34 [W] = 0,13[KW]$$

Igual al anterior se calculó el costo anual de pérdida de calor con aislante:

Costo anual de energía con aislante: $29,73 \frac{\$}{año}$

Costo material aislante + MDO = $3,89 \frac{\$}{m^2} + 21,5 \frac{\$}{m^2} = 25,39 \frac{\$}{m^2}$

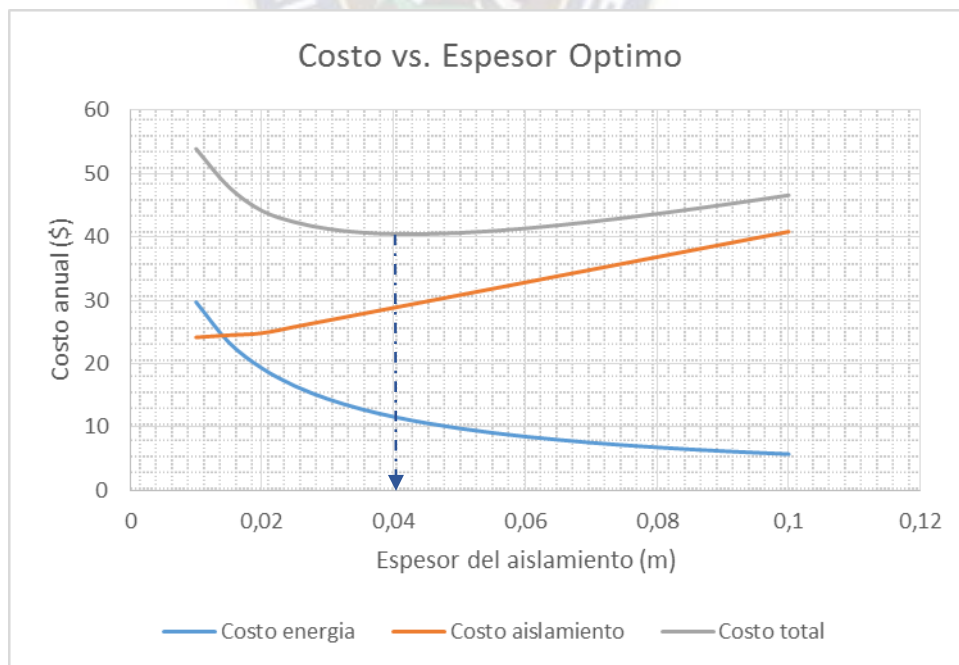
Área del cilindro = $2\pi * r_2 * L = 0,95m^2$

Costo del aislante = 24,17 (\$)

Costo total = costo aislante + costo pérdida de calor = $24,17[\$] + 29,73[\$] = 53,90[\$]$

Para determinar el espesor óptimo del aislamiento, se repiten los cálculos anteriores con espesores de 2,3,4,5,6,7,8,9,10 (cm) ver los resultados en la tabla 36.

Como se puede observar en la tabla 36 el costo total mínimo será el espesor óptimo de 4cm.



Gráfica 20. Espesor del aislamiento óptimo

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36. Espesor del aislamiento

Espesor del aislamiento (m)	Perdida de Calor (W)	Costo de Energía (\$/año)	Costo del Aislamiento (\$)	Costo total (\$)
0,01	130,34	29,73	24,17	53,90
0,02	84,60	19,30	24,84	44,13
0,03	63,33	14,44	26,83	41,28
0,04	51,02	11,64	28,83	40,47
0,05	42,99	9,81	30,83	40,64
0,06	37,34	8,52	32,83	41,35
0,07	33,14	7,56	34,83	42,39
0,08	29,90	6,82	36,83	43,65
0,09	27,32	6,23	38,83	45,06
0,1	25,21	5,75	40,83	46,58

Fuente: Elaboración propia

Se debe tomar en cuenta que el aislamiento no elimina la transferencia de calor; simplemente la reduce. Entre más grueso sea el aislamiento, menor será la razón de la transferencia de calor, pero también más elevado será el costo de ese aislamiento. Por lo tanto, debe haber un espesor óptimo del aislamiento que corresponda a un costo mínimo combinado del propio aislamiento y la pérdida de calor.



CAPITULO V

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

En función a los resultados obtenidos, y objetivos propuestos se concluye que:

- ✚ Los resultados de la caracterización definieron al albedo de pomelo con un pH de 4, un porcentaje de humedad de 64,79%, un porcentaje de cenizas de 0,87% y el contenido de sólidos solubles de 3°Brix. Se elige cáscaras de grado de maduración entre 3 y 4, que fueron recolectadas según la apariencia física.
- ✚ Del tratamiento preliminar de extracción de pectina se determina las variables más influyentes: Temperatura (60°C – 80°C), Tiempo (50min - 70 min), pH (1 – 3), Relación: Soluta/Disolvente (3: 10), Tamaño de albedo (2*2 cm) y la Velocidad de agitación de (100 rpm).
- ✚ La cantidad de alcohol a emplear para precipitar la cantidad óptima de pectina es 6ml de volumen de alcohol al 96% por cada 10ml de volumen de filtrado.
- ✚ El mayor rendimiento obtenido de las corridas experimentales en el programa Design Expert con un diseño experimental factorial de 2^3 , es un rendimiento de 8,5% de pectina, bajo las condiciones: pH 3, temperatura de 80°C y tiempo de 70 min.
- ✚ La cinética de extracción se realiza a 3 temperaturas de 60, 70 y 80°C en tiempos de 15, 25, 40, 55 y 70 minutos. Del análisis cinético de extracción se determina que la conversión de la Protopectina a Pectina la cual es catalizada por el ácido clorhídrico

presente en el medio de extracción involucra una reacción de primer orden hasta alcanzar los 70 minutos, según el método integral de velocidad de reacción. Además según la pendiente de la gráfica se determina el valor de la constante de reacción $k = 0,0423 \text{ min}^{-1}$ con una correlación de 0,93 a la temperatura de 80°C que es la correlación que se acerca más a la unidad.

- ✚ Se determina la energía de activación a partir de la representación lineal de la ecuación de Arrhenius evaluando la dependencia de la constante cinética de la velocidad de extracción a las temperaturas de 60, 70 y 80°C . Además según la pendiente de la gráfica se obtiene el valor de la energía de activación $E_a = 22,93 \text{ KJ/mol}$.
- ✚ Los resultados de la caracterización de la pectina de pomelo cumplen con los requerimientos según la FAO con un porcentaje de humedad de 9,55%, porcentaje de cenizas de 1,05%, azúcares reductores de 99,08mg/g, porcentaje de metoxilo 11,68%, grado de esterificación de 86,39% y porcentaje de ácido anhídrido galacturónico de 76,75%.
- ✚ La pectina de albedo de la cáscara de pomelo obtenida es una pectina de alto porcentaje de metoxilo ya que presenta un grado de esterificación del 86,39%, esta característica determina su capacidad para formar geles en presencia de azúcar, ácido y agua. Su aplicación se orienta principalmente a la elaboración de mermeladas y jaleas.

- ✚ El diseño del extractor a nivel Bench Scale por hidrólisis ácida nos da las siguientes características: turbina de 6 aspas planas inclinadas a 45°, 4 deflectores, capacidad de 50L, con un diámetro de tanque de 0,4m, altura del tanque 0,75m, diámetro del agitador de 0,215m, espesor de la plancha 2mm, diámetro del eje del agitador de 0,0127m. (1/2")
- ✚ El espesor óptimo del aislamiento corresponde a un valor de $e = 4\text{cm}$.

5.2 RECOMENDACIONES

- ✚ Investigar otros métodos de extracción de pectina, para verificar los rendimientos óptimos de cada método.
- ✚ Estudiar métodos y uso de equipos actualizados para la recuperación y reutilización del alcohol etílico residual del proceso de precipitación, debido al alto consumo de dicha sustancia por lo que origina costos elevados en la obtención de pectina.
- ✚ Efectuar la extracción de pectina con diferentes frutas cítricas y comparar los rendimientos
- ✚ Evaluar el estudio de factibilidad para la producción de pectina, para países en desarrollo de coimplantar a través de la industria de jugos y mermeladas en gran escala y abastecer así el mercado de Bolivia.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- Acevedo Berger, V., & Ramirez Diaz, D. M. (2011). *Analisis Tecnico y Economico de la pectina, a partir de la cáscara de la naranja (Citrus Sinensis)*. Santiago de Cali.
- Agusti, M. (2003). *Citricultura*. España: Grupo Mundi - Prensa.
- Badui Dergal, S. (2013). *Quimica de los Alimentos*. Mexico: Pearson.
- Bentacourt Latorre, L., & Llano Moreno, J. (2009). *Extracción de Pectinas a partir de los subproductos del beneficio del Cacao*. Medellin.
- Castillo Uribe, V. (2013). *Diseño y Calculo de un Agitador de Fluidos*. Chile.
- Cengel, Y. (2007). *Transferencia de Calor y Masa*. Mexico: Mc Graw Hill Interamericana.
- Cuesta, M., & Muñoz, R. (2010). Extracción de pectina a partir de la corteza de maracuyá (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa* degener). *Revista Politecnica*, 91-96.
- Devia Pineda, J. (2003). Proceso para producir pectinas cítricas. *Revista UNIVERSIDAD EAFIT*.
- Division, T. a., & FAO. (2017). *Citrus Fruit - Fresh and Processed Statistical Bulletin*. Rome.
- FAO. (2004). *Perspectivas a Plazo Medio de los Productos Básicos Agrícolas*. Roma.
- Ferreira Ardila, S. (2007). *Pectinas: Aislamiento, Caracterización y Producción a partir de frutas tropicales y de los residuos de su procesamiento industrial*. Bogota, Colombia.
- Ferreya Guerrero, S. G. (2015). *Estudio de Prefactibilidad. Produccion de Confituras con Integracion Socio Laboral*. San Rafael - Mendoza.
- Franco Villanueva, K. (s.f.). *Determinación de los índices de madurez en frutas*.
- Geankoplis, C. (1998). *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias*. Mexico: EDITORIAL CONTINENTAL S.A.
- IICA, & FAO. (s.f.). *Fichas Tecnicas, PRODAR*.

- Izarbe Izquierdo, L., Tanco, M., Viles, E., & Alvarez Sanchez Arjona, M. (2007). El diseño de experimentos como herramienta para la mejora de los procesos. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*.
- Inciarte, V. (2016). *Alternativas sostenibles y sustentables a través de procesamiento de alimentos*. Maracaibo - Venezuela: Inver-E-Group Venezuela CA.
- INE. (2015). Censo agropecuario 2013 Bolivia.
- Leon, J. (2000). *Botánica de los Cultivos Tropicales*. San Jose, Costa Rica: Agroamerica.
- Lopez Camelo, A. (2003). *Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO, ONU*. Roma.
- Mc Cabe, W., Smith, J., & Harriot, P. (2002). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. Mexico: Mc Graw Hill/Interamericana Editores, S.A.
- Moller Jorgensen, P., Harley Nee, M., & Georg Beck, S. (2014). *Catálogo de las Plantas Vasculares de Bolivia*. Canada: Missouri Botanical Garden Press.
- Montgomery, D. (2004). *Diseño y Analisis de Experimentos*. Mexico: Editorial Limusa.
- Mott, P.E., R. (2006). *Diseño de elementos de Maquinas*. Mexico: Pearson Educacion .
- Pedroso de Oliveira, R., Koller, O. C., Scivitaro, W. B., & Pedroso de Oliveira, S. (2007). *POMELOS: Informações Básicas sobre o Cultivo e Cultivares Apirenicas recomendadas para o rio Grande do sul*. Brasil.
- Pino Garcia, O., Jauregui Haza, U., & Quiñones Garcia, I. (1997). La Planta Piloto y el Escalado de Procesos de Obtención de Principios Activos para Medicamentos por Síntesis Química. *Acta Farm. Bonaerense*.
- Quimbiotec. (2006). *Estudio cinetico de las recciones quimicas*.
<https://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/docencia/quimbiotec/curso0506/Tema12.pdf>

- Ramírez Hernández, D., Moreno Quintero, M., Curbelo Hernández, C., & Crespo Zafra, L. (2016). Cinética de la extracción de pectina obtenida del bagazo de sábila (*Aloe barbadensis* Mill). *Revista Cubana de Farmacia*, 9.
- Raymond E., K., & Donald F., O. (1961). *Enciclopedia de Tecnología Química*. Mexico: Hispano - Americana.
- Restrepo, J. (2007). *ASME: CÓDIGO API 650 Y 653: Diseño, Montaje y Construcción de Tanques Soldados de acero*. Colombia.
- Ricaurte Freire, L. E. (2016). *Diseño y simulación de un Tanque Mezclador de 10,000 gal para la elaboración de aceites lubricantes*. Guayaquil - Ecuador.
- Roman, A. R., Garcia Teroba, J. A., & Hernandez Juarez, J. (2012). *Industrialización de la cáscara de naranja*. Mexico.
- Ruiz Colorado, A. A. (2009). *Factores de Escala para la Producción Biotecnológica de Etanol Carburante*. Colombia.
- SAH MOHD, N., NAZARUDDIN RAMLI, I., MOHD HANI, N., & MEON, Z. (2012). Extraction and Characterization of Pectin from Dragon Fruit (*Hylocereus polyrhizus*) using Various Extraction Conditions. *Sains Malaysiana*, 41 - 45.
- Sharapin, N. (2000). *Fundamentos de Tecnología de Productos Fitoterapéuticos*. Bogota: Quebecor - Impreandes.
- Soto Ibañez, R. (2014). *Adecuación y Optimización de Métodos de Análisis de Azúcares*.
- Suarez Oquendo, V. E., & Trujillo Villa, D. F. (2011). "Diseño y construcción de un equipo de prueba de jarras para la tratabilidad de aguas residuales". Riobamba Ecuador.
- SUMITEC S.A. (s.f.). *ACERO INOXIDABLE- AISI 304*. www.sumiteccr.com.
- Tapia, G. (31 de 12 de 2011). Bolivia genera al año 1,7 millones de t de basura. *La Razón*.

GLOSARIO DE TERMINOS

Disolvente: Sustancia o líquido capaz de disolver un cuerpo u otra sustancia.

Ácido galacturónico: monosacárido, es un azúcar ácido y es el principal componente de la pectina.

Hidrólisis: es una reacción química entre una molécula de agua y otra de macromolécula, en la cual la molécula de agua se divide y sus átomos pasan a formar unión de otra especie química.

Ácido poligalacturónico: las pectinas están formadas fundamentalmente por largas cadenas formadas por ácido galacturónico, que puede encontrarse como tal ácido, con el grupo carboxil libre o bien con el carboxil esterificado por metanol (metoxilado).

Jalea: gel comestible dulce, obtenido mediante la adición de gelatina o pectina. Mezcla de agua con azúcar y la infusión de una fruta o el jugo de dicha fruta.

Mermelada: producto preparado por cocción de frutos enteros, troceados o colados y azúcar hasta conseguir una textura semifluida o espesa, generalmente alcanzada al mezclar al menos 45 partes de fruta con 55 partes de azúcar.

Pectina: sustancia mucilaginoso, de las plantas superiores. Esta sustancia se asocia a la celulosa y le otorga a la pared celular la habilidad de absorber grandes cantidades de agua.

Mucilago: es una sustancia vegetal viscosa.

Celulosa: sustancia sólida, blanca, amorfa, inodora y sin sabor, e insoluble en agua, alcohol y éter, que constituye la membrana celular de muchos hongos y vegetales

Polímero: son materiales de origen tanto natural como sintético, formados por moléculas de gran tamaño, conocidas como macromoléculas. Polímeros de origen natural son: la celulosa y las proteínas.

Protopectina: es el nombre que le ha dado a las sustancias pépticas insolubles que se encuentran en los tejidos vegetales inmaduros. Los grupos carboxilo de la mayoría de los residuos de ácido galacturónico de la protopectina se encuentran esterificados con radicales metilo a lo largo de toda la cadena aunque la composición química exacta de esta se desconoce.

Rodete: Objeto con forma de rueda o rosca, hecho de un material flexible, que se coloca sobre la cabeza y se utiliza para apoyar en él un peso que se ha de transportar.

ANEXOS

ANEXOS

ANEXO – A: EXTRACTO DE LA NORMA BOLIVIANA NB 312026: CEREALES - QUINUA EN GRANO - DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

1. Objeto

Esta norma tiene por objeto determinar el contenido de los granos de quinua.

2. Definición

Se entiende por contenido de humedad a la pérdida de masa sufrida por el producto cuando es elevado al equilibrio con una atmósfera que tiene una presión de vapor de agua nula y condiciones tales que no ocurran reacciones interferentes.

3. Método de ensayo

3.1. Aparatos

- Pesafiltros con tapadera
- Balanza analítica de precisión con sensibilidad al 0,1 mg.
- Estufa con regulador de temperatura.
- Desecador.

4. Procedimiento

- El pesafiltros y su tapa se calientan a $130\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ durante 30 min. Se enfría en el desecador y se pesa.
- En el pesafiltros tarado, se pesan 5 a 10 g de la muestra y se coloca destapado dentro de la estufa, así como la tapa del mismo.
- Se eleva la temperatura de la estufa $130\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$, manteniéndola allí una hora.
- Antes de sacar el pesafiltros de la estufa, se coloca su tapa, se lo transfiere al desecador y se pesa tan pronto como hay alcanzado la temperatura ambiente.

- Para repetir el proceso se calienta de nuevo el pesafiltros, conteniendo la muestra durante media hora, se deja enfriar y se pesa tal como se indicó anteriormente.

5. Expresión de resultados

El contenido de humedad en la muestra se expresa en porcentaje y se obtiene de acuerdo a la fórmula siguiente:

$$H = \frac{M_2 - M_f}{M_2 - M_1} \cdot 100$$

Donde:

H= Humedad en %

M₁= Peso del recipiente vacío con su tapa en [g]

M₂= Peso del recipiente vacío y su tapa, con la muestra sin secar en [g]

M_f= Peso del recipiente con su tapa, con la muestra seca en [g]

ANEXO – B: EXTRACTO DE LA NORMA BOLIVIANA NB 312030: CEREALES - QUINUA EN GRANO - DETERMINACIÓN DE CENIZAS

1. Objeto

Esta norma tiene por objeto establecer el método para la determinación del contenido de cenizas en los granos de quinoa. Este método también se aplica a harinas y productos derivados.

2. Definiciones

Se entiende por cenizas, el residuo orgánico obtenido por incineración del producto en las condiciones a describirse.

3. Método de ensayo

El producto previamente molido, si fuera necesario y pesado, se incinera de 450 a 600°C en una mufla hasta obtener un residuo incombustible, que una vez enfriado tenga un aspecto blanco o gris.

4. Equipos

- Balanza de precisión.
- Mufla eléctrica que permita mantener una temperatura de 600°C.
- Crisol de fondo plano.
- Desecador con una placa perforada de porcelana o de aluminio.
- Placa de amianto.
- Aparato para trituración que permita reducir los granos

5. Procedimiento

- La cantidad de muestra a utilizar es de 5 a 6 g.
- Para la preparación de los crisoles, se calcina estos a 900°C, hasta peso constante inmediatamente antes de su empleo (generalmente 15 min son suficientes), se retiran de la mufla y se deja enfriar en un desecador hasta temperatura ambiente.

- Se coloca la muestra en el crisol previamente calcinado. Y luego se coloca el crisol en la mufla a una temperatura de 600 °C. La ventilación de la mufla debe ser suficiente para asegurar una incineración completa de la muestra.
- Se prosigue la incineración hasta combustión total. Se considera finalizada la incineración cuando el residuo queda prácticamente blanco o gris luego de enfriar.
- Se retira el crisol de la mufla se deja enfriar a temperatura ambiente en un desecador y luego se pesa lo más rápidamente posible.

6. Expresión de resultados

El contenido de cenizas en porcentaje del peso seco de la muestra se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$C = \frac{M_2 - M_0}{M_1 - M_0} * 100$$

C= Cenizas en % de masa

M₀= Masa del crisol vacío en [g]

M₁= Masa del crisol con la porción de muestra de ensayo antes de ser calcinado en [g]

M₂= Masa del crisol con la porción de muestra en [g]

ANEXO - C: EXTRACTO DE LA NORMA INEN 389: CONSERVAS VEGETALES

DETERMINACION DE LA CONCENTRACION DEL ION HIDROGENO (pH)

1. Instrumental

- Potenciómetro, con electrodos de vidrio.
- Vaso de precipitación de 250 cm³.
- Agitador.

2. Preparación de la muestra

- Si la muestra es líquida, homogeneizarla convenientemente mediante agitación.
- Si la muestra corresponde a productos densos o heterogéneos, homogeneizarla con ayuda de una pequeña cantidad de agua (recientemente hervida y enfriada) y mediante agitación.

3. Procedimiento

- Efectuar la determinación por duplicado sobre la misma muestra preparada.
- Comprobar el correcto funcionamiento del potenciómetro.
- Colocar en el vaso de precipitación aproximadamente 10 g ó 10 cm³ de la muestra preparada, añadir 100 cm³ de agua destilada (recientemente hervida y enfriada) y agitar suavemente
- Si existen partículas en suspensión, dejar en reposo el recipiente para que el Líquido se decante.
- Determinar el pH introduciendo los electrodos del potenciómetro en el vaso de precipitación con la muestra, cuidando que éstos no toquen las paredes del recipiente ni las partículas sólidas, en caso de que existan.

ANEXO - D: EXTRACTO DE LA NORMA INEN 380: CONSERVAS VEGETALES.

DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SOLUBLES. METODO REFRACTOMETRICO.

1. Preparación de la muestra

- **Productos líquidos claros.** Mezclar bien la muestra y usarla directamente para la determinación.
- **Productos semiespesos (purés, pastas, salsas, etc).** Mezclar bien la muestra y prensarla a través de una gaza doblada en cuatro partes, rechazando las primeras gotas de líquido y reservando el resto de éste para la determinación.
- **Productos espesos (jaleas, etc).** Pesar en el vaso de precipitación tarado, hasta 40 g de la muestra con aproximación al 0,1 g. Añadir de 100 a 150 ml de agua destilada y calentar la mezcla hasta ebullición; mantenerla en ebullición por 2 a 3 minutos, agitando con varilla de vidrio. Enfriar y mezclar bien. Dejar en reposo por 20 minutos, pesar con aproximación al 0,01 g y filtrar en embudo de Buchner. Recoger el filtrado en un recipiente seco y reservarlo para la determinación.
- **Productos congelados.** Descongelar la muestra y retirar, si es necesario, las semillas, pepitas o partes duras; mezclar el producto con el líquido formado durante el proceso de descongelación y proceder según se describe en 5.2 o 5.3, según sea el caso.
- **Productos secos.** Cortar la muestra en trozos pequeños retirando, de ser necesario, semillas, pepitas o partes duras; mezclar bien y pesar en el vaso de precipitación tarado, de 10 a 20 g de muestra, con aproximación al 0,01 g. Añadir agua destilada en cantidad equivalente a 5 o 10 veces la masa de la muestra, y colocar en un baño de agua hirviendo por 30 minutos, agitando ocasionalmente con varilla de vidrio. Si no se ha obtenido una mezcla homogénea, prolongar el tiempo de calentamiento hasta obtenerla. Enfriar el contenido del vaso y mezclar bien. Dejar reposar por 20 minutos,

pesar con aproximación al 0,01 g y filtrar en un recipiente seco, reservando el filtrado para la determinación.

2. Procedimiento

- La determinación debe hacerse por duplicado sobre la misma muestra de laboratorio.
- Ajustar la circulación de agua del refractómetro para operar a la temperatura requerida (entre 15 y 25°C).
- Colocar 2 o 3 gotas de la muestra preparada según el numeral 5 en el prisma fijo del refractómetro y ajustar inmediatamente el prisma móvil. Continuar la circulación de agua durante el tiempo necesario para que tanto los prismas como la solución de ensayo alcancen la temperatura requerida, que debe permanecer constante, dentro del rango de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ durante toda la determinación.
- Leer el valor del índice de refracción o el porcentaje en masa de sacarosa, según el instrumento que se haya usado.
- Se recomienda el uso de una lámpara de vapor de sodio, que permite la obtención de resultados más precisos, especialmente en el caso de productos coloreados u oscuros.

ANEXO - E: IDENTIFICACION DE VARIABLES EN EL PROCESO DE EXTRACCION

TAMAÑO DE CÁSCARA

Tabla E.1 Rendimiento obtenido en pruebas preliminares del tamaño de albedo

Tamaño de albedo (cm)	Masa de albedo (g)	Masa de pectina (g)	Rendimiento (%)
1*1	75	0,4841	0,6455
2*2	75	0,5495	0,7327
3*3	75	0,3879	0,5172
5*5	75	0,2587	0,3449

Fuente: Elaboración propia

pH

Tabla E.2 Rendimiento obtenido en pruebas preliminares del pH

pH	Masa de albedo (g)	Masa de pectina (g)	Rendimiento (%)
1,0	75	0,5502	0,7336
1,5	75	1,2255	1,6340
2,0	75	2,2367	2,9823
2,5	75	2,9861	3,9815
3,0	75	3,4591	4,6121
3,5	75	2,1317	2,8423

Fuente: Elaboración propia

TEMPERATURA

Tabla E.3 Rendimiento obtenido en pruebas preliminares de la temperatura

Temperatura (°C)	Masa de albedo (g)	Masa de pectina (g)	Rendimiento (%)
60	75	3,0051	4,0068
70	75	3,5303	4,7071
80	75	4,4102	5,8803
87	75	5,0125	6,6833

Fuente: Elaboración propia

TIEMPO DE EXTRACCION

Tabla E.4 Rendimiento obtenido en pruebas preliminares del tiempo

Tiempo (min)	Masa de albedo (g)	Masa de pectina (g)	Rendimiento (%)
50	75	4,1151	5,4868
60	75	4,9781	6,6375
70	75	5,8934	7,8579
80	75	5,5573	7,4097
90	75	4,4875	5,9833
100	75	3,3507	4,4676

Fuente: Elaboración propia

VELOCIDAD DE AGITACION

Tabla E.5 Rendimiento obtenido en pruebas preliminares de la velocidad de agitación

Agitación (rpm)	Masa de albedo (g)	Masa de pectina (g)	Rendimiento (%)
50	75	0,2577	0,3436
100	75	5,9241	7,8988
150	75	6,0387	8,0516
200	75	6,1126	8,1501

Fuente: Elaboración propia

RELACIÓN ALBEDO/DISOLVENTE

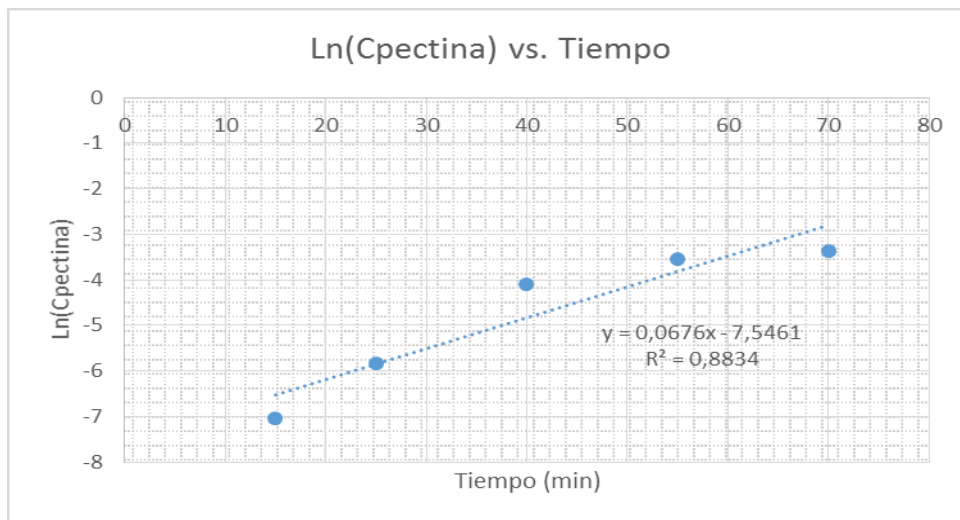
Tabla E.6 Rendimiento obtenido en pruebas preliminares de la relación albedo/disolvente

Relación albedo/disolvente	Masa de albedo (g)	Masa de pectina (g)	Rendimiento (%)
3:08	75	4,3189	5,7585
3:10	75	6,3098	8,4131
3:15	75	5,7152	7,6203
3:20	75	5,7035	7,6047
3:25	75	5,6906	7,5875

Fuente: Elaboración propia

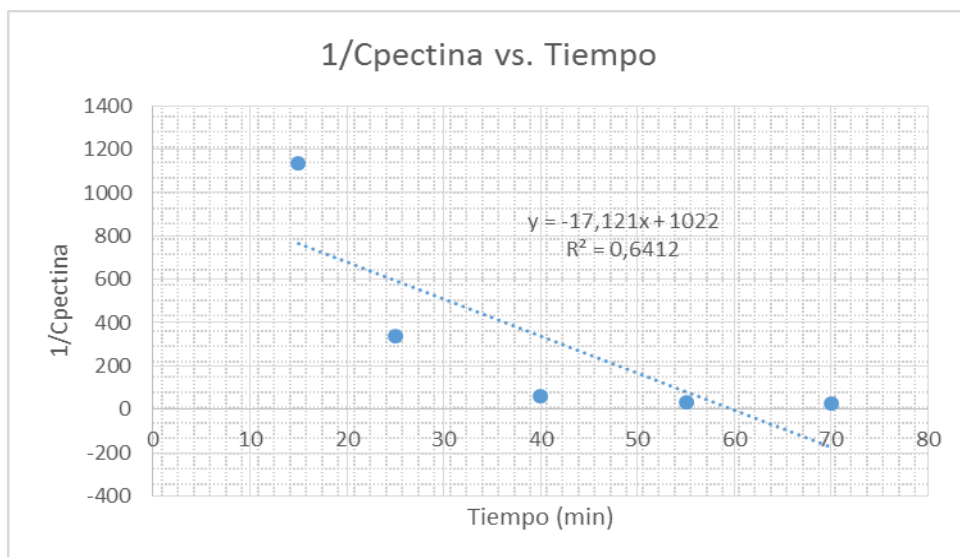
ANEXO - F: ANALISIS CINETICO DE LA EXTRACCION DE PECTINA DEL POMELO

A partir de la Tabla 28 (expresiones de velocidad de reacción) se realizaron los gráficos de linealización, en los cuales se distingue el factor de correlación y el valor de la pendiente como valor de la velocidad de reacción.



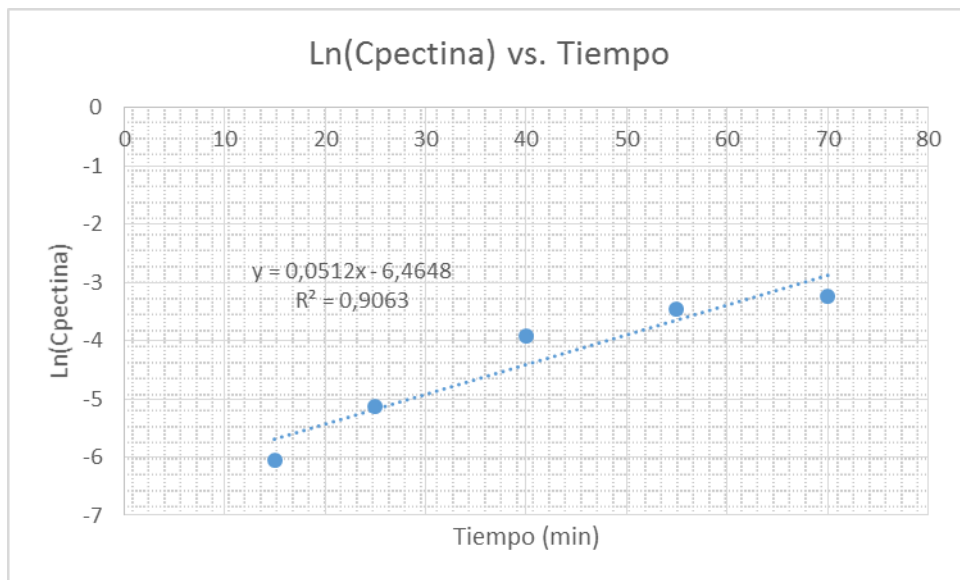
Gráfica F1: Linealización de primer orden de reacción a 60°C

Fuente: Elaboración Propia



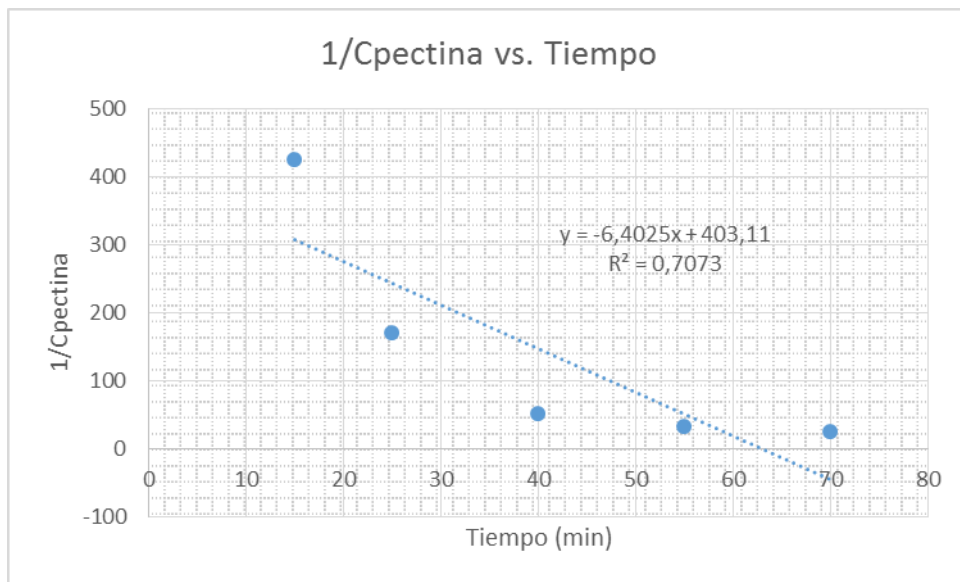
Gráfica F2: Linealización de segundo orden de reacción a 60°C

Fuente: Elaboración Propia



Gráfica F3: Linealización de primer orden de reacción a 70°C

Fuente: Elaboración Propia



Gráfica F4: Linealización de segundo orden de reacción a 70°C

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO - G: CARACTERIZACION DE LA PECTINA

AZÚCARES REDUCTORES, EN GLUCOSA

- **Materiales**

Pesa filtros de 25ml / Vaso de precipitados de 400ml / Probeta graduada de 50ml / Matraz aforado de 100ml / Matraz Erlenmeyer de 250ml / 2 pipetas de 10ml / Bureta de 25ml

- **Reactivos**

Solución saturada de acetato neutro de plomo

Sulfato de sodio

Soluciones de Fehling tituladas

- **Procedimiento**

Pese 5g de muestra en el pesa filtros y transfiera al vaso de precipitados con auxilio de 50ml de agua. Mezcle con una varilla de vidrio y caliente en un baño maría por 5 minutos. Enfríe, filtre y lave el vaso y el filtro con 50ml de agua. Reciba el filtrado y las aguas de lavado en un matraz volumétrico de 100ml. Añada solución saturada de acetato neutro de plomo hasta completar la precipitación (cerca de 1.5ml). Complete el volumen con agua. Filtre por filtro seco y reciba el filtrado en el vaso de 400ml seco. Añada sulfato de sodio seco para precipitar el exceso de plomo. Filtre por filtro seco y reciba el filtrado en un frasco seco. Coloque la muestra así preparada en la bureta. Transfiera con pipeta 10ml de cada solución de Fehling a un Erlenmeyer de 250ml. Añada 40ml de agua y caliente a ebullición. Desde una bureta, con agitación constante y a ebullición, deje caer gota a gota la solución de la muestra hasta que pase de azul a incoloro (en el fondo del Erlenmeyer deberá quedar un residuo rojo). (Soto Ibañez, 2014, págs. 6,7)

$$\text{azúcares reductores, en glucosa, \% (p/p)} = \frac{100 * A * a}{P * V}$$

P = peso de la muestra, en g

A = volumen de la solución de P g de la muestra, en ml

a = peso de glucosa correspondiente a 10ml de las soluciones de Fehling, en g

V = volumen de solución gastada en la titulación, en ml.

DETERMINACIÓN DEL PESO EQUIVALENTE

La determinación de metoxilo y contenido de AUA y el peso equivalente es empleando el siguiente método descrito por Owens et al. (1952). Los valores de los pesos equivalentes serán usados para calcular el contenido de ácido anhídrido galacturónico (AUA) y el grado de esterificación. Pesos equivalentes serán determinados pesando 0.5g de pectina en un matraz erlenmeyer de 250ml y humedeciendo con 5ml de etanol. Un gramo de cloruro sódico es añadido para el punto final. Agua destilada libre de dióxido de carbono (100ml) y 6 gotas del indicador rojo fenol serán añadidos. La mezcla se agitará rápidamente para asegurar que toda la sustancia péctica se disuelva y los trozos no estén retenidos en las esquinas de los frascos. La titulación se realizará lentamente (para evitar posible desesterificación) con 0.1N estandarizado NaOH hasta que el color del indicador cambie a rosado (pH 7.5) y persista por al menos 30 segundos. La solución neutralizada se utilizará para la determinación de metoxilo. La siguiente ecuación es utilizada para calcular el peso equivalente:

$$\text{peso equivalente} = \frac{\text{peso de la muestra}(g) * 1000}{\text{ml de alcali} * \text{normalidad del alcali}}$$

PORCENTAJE DE METOXILO

La determinación del contenido de metoxilo (MeO) se realizará añadiendo 25ml de 0.25N NaOH a la solución titulada, cual es agitada completamente y se deja reposar por 30 minutos a

la temperatura ambiente en un frasco tapado. 25ml de 0.25 N HCl es luego añadida y titulada al mismo punto final (rosado) como antes. La siguiente ecuación es usada para calcular el contenido de metoxilo:

$$MeO\% = \frac{meq \text{ de hidroxido de sodio} * 31 * 100}{\text{peso de la muestra en mg}}$$

Donde 31 es el peso molecular del grupo metoxilo

PORCENTAJE DE ÁCIDO ANHÍDRIDO GALACTURONICO

Utilizando los valores del peso equivalente y el contenido de metoxilo, el contenido del ácido anhídrido galacturónico es calculada de la expresión dada abajo:

$$\%AUA = \frac{176 * 100}{z}$$

Donde 176 es el peso molecular de AUA y

$$z = \frac{\text{peso de la muestra en (mg)}}{\text{meq de alcali para acido libre} + \text{meq de alcali para metoxilo}}$$

GRADO DE ESTERIFICACIÓN

El grado de esterificación (DE) de la pectina es calculada como sigue:

$$\%DE = \frac{176 * MeO\% * 100}{31 * AUA\%}$$

Donde MeO es el porcentaje del contenido de metoxilo (SAH MOHD, NAZARUDDIN RAMLI, MOHD HANI, & MEON, 2012, págs. 42,43).

CERTIFICADO DE ANALISIS DE LA PECTINA COMERCIAL



CERTICADO DE ANALISIS

BROWH RIBBON 150°US-SAG CITRUS 101816

Batch N°: N100/019/A13

Ref
PM 112918

	SPECIFICATIONS	METHODS	RESULTS
Organoleptic Quality:			
Appearance	Fine, free-flowing powder	Internal	Conform
Color	beige	4,4,01,04,08,02-1	Conform
Flavor	Almost neutral	4,4,01,04,08,02-3	Conform
Analytical Quality:			
Gel Strength:	147-153 °US-SAG	4,4,01,01,03,17-1-IFT	149
Degree of esterification:	69 - 76 %	4,4,01,04,01,11-1-Calc	71,1
pH(1% solution, 25°C):	2,8 - 3,8	4,4,01,01,03,08-2	3,3
Loss on Drying	< 12 %	4,4,01,04,01,11-5-Calc	4,4
Polygalacturonic acid, ash, moisture free:	65 - 100 %	4,4,01,01,03,11-4-Calc	80,0

INDUSTRIAS QUIMICAS ARGENTINAS
Material y Productos
Quimicos en General

For the rest this product is in accordance with our product specification.
Information regarding analytical methods and measurement uncertainties are available upon request. Test reports and documentation will be archived for 10 years.