



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

OBTENCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE LA HOJA DE SÁBILA
(*Aloe Barbadensis Miller*) POR EL MÉTODO DE HIDRÓLISIS
ÁCIDA

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: JESSICA PAOLA PILCO ROJAS

DIRECTOR: Ing. LINDA MARIUXI FLORES FIALLOS, MsC.

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, Jessica Paola Pilco Rojas

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Yo, JESSICA PAOLA PILCO ROJAS, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 31 de enero de 2022

Jessica Paola Pilco Rojas

060396059-2

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: el Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación. **OBTENCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE LA HOJA DE SÁBILA (*Aloe Barbadensis Miller*) POR EL MÉTODO DE HIDRÓLISIS ÁCIDA**, realizado por la señorita: **JESSICA PAOLA PILCO ROJAS**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA	FECHA
Ing. Marco Raul Chuiza Rojas, Mgs. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	2022-01-31
Ing. Linda Mariuxi Flores Fiallos, MsC. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	2022-01-31
Ing. Violeta Maricela Dalgo Flores, Mgs. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	2022-01-31

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mi familia que siempre me han impulsado a seguir adelante. A mis padres Fanny Rojas y Washington Pilco por apoyo incondicionalmente a lo largo de la carrera. A mis hermanos Henry y Mary, quienes han logrado animarme en los momentos más difíciles.

Paola

AGRADECIMIENTO

A mis profesores, quienes han compartido su conocimiento con clases entretenidas e historias de sus experiencias como profesionales. En especial a mi tutora Ing. Linda Flores y colaboradora Ing. Violeta Dalgo que me acompañaron en el desarrollo del Trabajo de Integración Curricular y supieron guiar para culminarlo exitosamente y a los técnicos docentes de la facultad de ciencias, quienes me facilitaron las instalaciones y me apoyaron a realizar los experimentos.

A mis amigos, personas con las que he compartido alegrías y tristezas, quienes nos alentábamos para culminar la carrera y decir con orgullo lo logramos.

Paola

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1.	MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	2
1.1.	Identificación del problema	2
1.2.	Justificación de la investigación.....	3
1.3.	Objetivos	4
1.3.1.	Objetivo general	4
1.3.2.	Objetivos específicos.....	4
1.4.	Antecedentes de la investigación	4
1.5.	Marco Conceptual.....	5
1.5.1.	<i>Generalidades del Aloe vera</i>	5
1.5.1.1.	<i>Clasificación taxonómica</i>	6
1.5.1.2.	<i>Beneficios del Aloe vera</i>	6
1.5.2.	<i>Pectina</i>	7
1.5.2.1.	<i>Historia de la pectina</i>	7
1.5.2.2.	<i>Estructura Química de la pectina</i>	7
1.5.3.	<i>Grado de esterificación</i>	8
1.5.3.1.	<i>Alto grado de esterificación</i>	8
1.5.3.2.	<i>Bajo grado de esterificación.....</i>	9
1.5.4.	<i>Clasificación de las pectinas</i>	9
1.5.4.1.	<i>Pectinas de alto metoxilo.....</i>	9
1.5.4.2.	<i>Pectinas de bajo metoxilo.....</i>	10
1.5.5.	<i>Propiedades Físicoquímicas de las pectinas</i>	11
1.5.5.1.	<i>Solubilidad</i>	11
1.5.5.2.	<i>Acidez.....</i>	11
1.5.5.3.	<i>Viscosidad</i>	11

1.5.5.4.	<i>Poder de gelificación</i>	11
1.5.6.	<i>Métodos de extracción de pectina</i>	12
1.5.6.1.	<i>Extracción con disolventes – Hidrólisis ácida</i>	12
1.5.6.2.	<i>Nuevas técnicas de extracción</i>	13
1.5.7.	<i>Caracterización de la composición y propiedades de la pectina</i>	13
1.5.7.1.	<i>Ensayo de fenol-ácido sulfúrico / carbohidratos totales</i>	14
1.5.7.2.	<i>Contenido de ácido galacturónico y grado de esterificación metílica (DM)</i>	14
1.5.7.3.	<i>Espectroscopia infrarroja por transformadas de Fourier (FTIR)</i>	15

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	16
2.1.	Hipótesis y especificación de las variables	16
2.1.1.	<i>Hipótesis General</i>	16
2.1.2.	<i>Hipótesis Específicas</i>	16
2.2.	Identificación de Variables	16
2.3.	Operacionalización de variables	17
2.4.	Matriz de consistencia	18
2.5.	Tipo y Diseño de Investigación	19
2.5.1.	<i>Tipo de investigación</i>	19
2.5.2.	<i>Diseño de la investigación</i>	19
2.6.	Unidad de Análisis	21
2.7.	Población de Estudio	21
2.8.	Tamaño de Muestra	21
2.9.	Selección de muestra	21
2.10.	Técnicas de recolección de datos	21
2.11.	Métodos para la caracterización de la materia prima	22
2.11.1.	<i>Determinación de cenizas totales</i>	22
2.11.2.	<i>Determinación de densidad</i>	23
2.12.	Métodos para caracterizar la pectina	23
2.12.1.	<i>Determinación de pH</i>	23
2.12.2.	<i>Determinación de la acidez libre (A) y peso equivalente</i>	24
2.12.3.	<i>Determinación del contenido de metoxilo</i>	24
2.12.4.	<i>Determinación del grado de esterificación (GE)</i>	25
2.12.5.	<i>Determinación del rendimiento de la pectina</i>	25
2.12.6.	<i>Determinación del Espectro infrarrojo</i>	26
2.13.	Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria	26

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	27
3.1.	Datos.....	27
3.1.1.	<i>Datos obtenidos mediante la caracterización de la hoja de sábila</i>	<i>27</i>
3.1.2.	<i>Determinación del método de hidrólisis ácida</i>	<i>27</i>
3.1.3.	<i>Determinaciones fisicoquímicas y microbiológicas de la pectina</i>	<i>29</i>
3.1.4.	<i>Análisis estadístico para determinar la mejor muestra</i>	<i>31</i>
3.1.5.	<i>Determinación de las características microbiológicas de la pectina.....</i>	<i>35</i>
3.1.6.	<i>Datos de la espectroscopía de infrarrojo (IR)</i>	<i>35</i>
3.1.6.1.	<i>Datos del IR en la pectina comercial.....</i>	<i>36</i>
3.1.6.2.	<i>Datos del IR en la pectina comercial.....</i>	<i>37</i>
3.1.7.	<i>Datos de secado de la Pectina</i>	<i>38</i>
3.1.7.1.	<i>Velocidad de secado de la pectina.....</i>	<i>39</i>
3.1.7.2.	<i>Tiempo de secado de la pectina</i>	<i>41</i>
3.2.	Cálculos de ingeniería	42
3.2.1.	<i>Dimensionamiento de la planta</i>	<i>42</i>
3.2.2.	<i>Rendimiento de la pectina a escala de laboratorio</i>	<i>42</i>
3.2.3.	<i>Tanque de Lavado</i>	<i>43</i>
3.2.4.	<i>Máquina de Cortado</i>	<i>45</i>
3.2.5.	<i>Tanque de Inactivación Enzimática</i>	<i>45</i>
3.2.6.	<i>Tanque de Hidrólisis Ácida</i>	<i>47</i>
3.2.7.	<i>Filtro Prensa</i>	<i>60</i>
3.2.8.	<i>Tanque de Concentración y Precipitación</i>	<i>61</i>
3.2.9.	<i>Secador</i>	<i>68</i>
3.2.10.	<i>Molino de bolas.....</i>	<i>69</i>
3.2.11.	<i>Equipos adicionales</i>	<i>69</i>
3.2.11.1.	<i>Columna de rectificación de alcohol</i>	<i>69</i>
3.2.11.2.	<i>Tanque de Almacenamiento de HCl-Dosificador</i>	<i>70</i>
3.2.11.3.	<i>Tanque de Almacenamiento de Alcohol Etanol 96°</i>	<i>71</i>
3.2.12.	Balance de Masa y Energía	72
3.2.12.1.	<i>Lavado y Desinfección</i>	<i>72</i>
3.2.12.2.	<i>Máquina de Cortado</i>	<i>73</i>
3.2.12.3.	<i>Inactivación Enzimática</i>	<i>73</i>
3.2.12.4.	<i>Hidrólisis Ácida.....</i>	<i>75</i>
3.2.12.5.	<i>Filtro Prensa 1</i>	<i>77</i>

3.2.12.6.	<i>Concentración y precipitación</i>	77
3.2.12.7.	<i>Filtro Prensa 2</i>	79
3.2.12.8.	<i>Secado</i>	79
3.3.	Requerimiento de equipos, maquinaria y costos	80
3.3.1.	<i>Costos variables</i>	80
3.3.2.	<i>Costos fijos</i>	81
3.3.3.	<i>Precio de venta</i>	82
3.3.4.	<i>Punto de equilibrio</i>	82
3.3.5.	<i>Maquinaria y equipos</i>	83
3.3.5.1.	<i>Mantenimiento y seguros</i>	83
3.3.6.	<i>Muebles y enseres</i>	84
3.3.7.	<i>Depreciación</i>	84
3.3.8.	<i>Presupuesto de ventas</i>	85
3.3.9.	<i>Presupuesto de Costos</i>	86
3.3.10.	<i>Flujo de caja</i>	87
3.4.	Resultados	88
3.4.1.	<i>Caracterización de la materia prima (Cáscaras Aloe vera)</i>	88
3.4.2.	<i>Obtención de la pectina a escala laboratorio</i>	88
3.4.3.	<i>Caracterización de la pectina</i>	88
3.4.4.	<i>Dimensionamiento de la Planta</i>	89
3.5.	Análisis y discusión de resultados	91
CONCLUSIONES		96
RECOMENDACIONES		97
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Clasificación Taxonómica	6
Tabla 2-1:	Características de las pectinas alimenticias de alto metoxilo (HMP)	10
Tabla 1-2:	Identificación de variables	16
Tabla 2-2:	Operacionalización de variables	17
Tabla 3-2:	VARIABLES del proceso	17
Tabla 4-2:	Matriz de consistencia.....	18
Tabla 5-2:	Condiciones de operación de acuerdo con el método factorial.....	19
Tabla 6-2:	Resumen del diseño experimental.....	19
Tabla 7-2:	Tabla de experimentos	19
Tabla 8-2:	Método para determinar el contenido de cenizas	22
Tabla 9-2:	Método para determinar la densidad	23
Tabla 10-2:	Método para determinar el pH en el Aloe vera	23
Tabla 11-2:	Método para determinar la acidez libre (A) y peso equivalente	24
Tabla 12-2:	Método para determinar el contenido de metoxilo	24
Tabla 13-2:	Método para determinar el grado de esterificación	25
Tabla 14-2:	Método para determinar el rendimiento de la pectina (R.P.).....	25
Tabla 15-2:	Método para determinar los grupos funcionales.....	26
Tabla 16-2:	Requerimientos de reactivos	26
Tabla 1-3:	Caracterización de la materia prima.....	27
Tabla 2-3:	Tratamiento del método de hidrólisis ácida.....	28
Tabla 3-3:	Análisis de Varianza ANOVA para el Rendimiento de la pectina.	32
Tabla 4-3:	Resultados Estimados para Rendimiento	32
Tabla 5-3:	Camino de Máximo Ascenso para Rendimiento	33
Tabla 6-3:	Optimización del rendimiento de pectina.....	33
Tabla 7-3:	Resultados del análisis optimizado según el rendimiento de la pectina.....	34
Tabla 8-3:	Norma E-440	34
Tabla 9-3:	Datos del IR en la pectina comercial.....	36
Tabla 10-3:	Datos del IR en la pectina a partir de la hoja de sábila	37
Tabla 11-3:	Datos experimentales de secado.....	38
Tabla 12-3:	Datos de sólido seco y área de secado.....	39
Tabla 13-3:	Datos de velocidad de secado	40
Tabla 14-3:	Rendimiento de la pectina a escala de laboratorio	42
Tabla 15-3:	Especificaciones técnicas de la máquina cortadora de Aloe vera	45
Tabla 16-3:	Especificaciones técnicas del filtro prensa	60

Tabla 17-3: Especificaciones técnicas del secador de bandejas.....	68
Tabla 18-3: Especificaciones técnicas del molino de bolas	69
Tabla 19-3: Especificaciones técnicas de la columna de rectificación de alcohol	69
Tabla 20-3: Balance de Energía de la inactivación enzimática.....	74
Tabla 21-3: Balance de Energía de la Hidrólisis ácida	75
Tabla 22-3: Balance de energía en el tanque de concentración y precipitación	78
Tabla 23-3: Materia prima directa.....	80
Tabla 24-3: Materia prima directa mensualizada	80
Tabla 25-3: Mano de obra directa mensualizada	81
Tabla 26-3: Producción	81
Tabla 27-3: Costos fijos	81
Tabla 28-3: Mano de prima indirecta	81
Tabla 29-3: Otros gastos fijos	81
Tabla 30-3: Costo total.....	82
Tabla 31-3: Precio de venta.....	82
Tabla 32-3: Punto de equilibrio.....	82
Tabla 33-3: Maquinaria y equipos.....	83
Tabla 34-3: Mantenimiento y seguros	83
Tabla 35-3: Muebles y enseres	84
Tabla 36-3: Depreciación de maquinaria.....	84
Tabla 37-3: Presupuesto de Ventas	85
Tabla 38-3: Tasa de crecimiento poblacional.....	85
Tabla 39-3: Proyección de demanda	85
Tabla 40-3: Presupuesto de Costos	86
Tabla 41-3: Flujo de Caja.....	87
Tabla 42-3: Análisis Microbiológico de la pectina.....	88
Tabla 43-3: Pectina obtenida a escala laboratorio	88
Tabla 44-3: Datos caracterización de la Pectina.....	88
Tabla 45-3: Resultados dimensionamiento de los equipos	89
Tabla 46-3: Características fisicoquímicas de las pectinas de diferentes materias primas	93
Tabla 47-3: Parámetros físico químicos y microbiológicos de pectinas (Norma E-440)	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: <i>Aloe vera</i>	6
Figura 2-1: Grupos funcionales de la pectina	8
Figura 3-1: El mecanismo de gelificación de la pectina	10
Figura 4-1: Espectros IR de diferentes pectinas	15
Figura 1-2: Proceso de extracción de pectina de la cáscara de sábila	20
Figura 1-3: Muestras tomadas al azar de las hojas de sábila	27
Figura 2-3: Relaciones geométricas del agitador y reactor.....	52
Figura 3-3: Correlaciones de ancho y diámetro de las paletas.....	53
Figura 4-3: Comportamiento del número de potencia	56
Figura 5-3: Relaciones del agitador y el tanque	64

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3:	Rendimiento de la pectina.....	29
Gráfico 2-3:	Caracterización fisicoquímica del Bloque I	29
Gráfico 3-3:	Caracterización fisicoquímica del Bloque II	30
Gráfico 4-3:	Caracterización fisicoquímica del Bloque III.....	30
Gráfico 5-3:	Gráficos de interacción para el rendimiento.....	31
Gráfico 6-3:	Prueba del IR en el laboratorio de Química Instrumental	35
Gráfico 7-3:	Pectina comercial IR.....	36
Gráfico 8-3:	Pectina obtenida a partir de la hoja de sábila IR.....	37
Gráfico 9-3:	Diagrama de Humedad en base seca vs Tiempo	40
Gráfico 10-3:	Diagrama de Velocidad de secado vs Humedad media.....	41

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE LA PECTINA.
- ANEXO B:** ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE LA PECTINA.
- ANEXO C:** OBTENCIÓN DE LAS HOJAS DE SÁBILA.
- ANEXO D:** PRETRATAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA.
- ANEXO E:** HIDRÓLISIS.
- ANEXO F:** OBTENCIÓN DE LA PECTINA.
- ANEXO G:** CARACTERIZACIÓN DE LA PECTINA.
- ANEXO H:** TANQUE DE LAVADO Y DESINFECCIÓN.
- ANEXO I:** TANQUE DE INACTIVACIÓN ENZIMÁTICA.
- ANEXO J:** TANQUE DE HIDRÓLISIS ÁCIDA.
- ANEXO K:** TANQUE DE CONCENTRACIÓN Y PRECIPITACIÓN.
- ANEXO L:** DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA PROCESADORA DE PECTINA.

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue obtener pectina a partir de la hoja de sábila (*Aloe barbadensis miller*) por el método de hidrólisis ácida, para ello se realizó el proceso de extracción en el laboratorio de Química Orgánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo mediante varias etapas del proceso, empezando por el pretratamiento de la materia prima con la inactivación enzimática, seguido de la hidrólisis ácida donde se utilizó un diseño factorial 3k, el mismo que permitió identificar las variables más importantes desde este proceso: pH y temperatura de hidrólisis, encontrando de esta manera las mejores condiciones de extracción: pH 1.75 a una temperatura de 90 grados Celsius por un periodo de 60 minutos; con estas condiciones se obtuvo un rendimiento máximo del 4.36%. Para la precipitación de la pectina se utilizó etanol al 96° con una relación del 40 % para el líquido de hidrólisis y el secado que se realizó a una temperatura de 45 grados Celsius. Con los datos obtenidos de la parte experimental se procedió a realizar el dimensionamiento de los equipos para una producción de 9,68 kg de pectina, utilizando como alimentación 222 kg de hoja de sábila, se realizó un estudio financiero donde se obtuvieron los siguientes valores: TIR 94% y VAN \$ 684.276,0. Para validar el diseño del proceso se realizó la caracterización de la pectina extraída, obteniendo los siguientes valores: Humedad 1.49 %, cenizas 7.37%, Ácido galacturónico 35.07%, metoxilos 6.95%, esterificación 54,56%, mesófilos, mohos y levaduras <10 UFC/g. Estos valores fueron comparados con los rangos establecidos por la Asociación Internacional de Productores de Pectina para pureza de pectinas, los mismos que se encuentran dentro de los rangos y por lo tanto se considera aceptable la pectina obtenida. Se recomienda realizar un proceso de filtrado con carbón activado de la pectina líquida antes de agregar el alcohol durante la precipitación a fin de purificar y mejorar el color de la pectina.

Palabras clave: <OBTENCIÓN DE PECTINA>, <HIDRÓLISIS ÁCIDA>, <HOJA DE ALOE VERA (*Aloe barbadensis miller*)>, <HOJA DE SÁBILA>, <PLANTA DE PRODUCCIÓN>.

LEONARDO FABIO
MEDINA NUSTE

Firmado digitalmente por LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE
Nombre de reconocimiento (DN): c=EC, o=BANCO CENTRAL DEL
ECUADOR, ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE INFORMACION-
ECIBCE, l=QUITO, serialNumber=0000621485, cn=LEONARDO FABIO
MEDINA NUSTE
Fecha: 2022.02.21 16:46:59 -05'00'



0336-DBRA-UTP-2022

ABSTRACT

The objective of the present research was to obtain pectin from the aloe leaf (*Aloe barbadensis miller*) by the acid hydrolysis method, for which the extraction process was carried out in the Organic Chemistry laboratory at Escuela Superior Politécnica de Chimborazo through several stages of the process, starting with the pretreatment of the raw material with the enzymatic inactivation, followed by acid hydrolysis where a 3k factorial design was used, the same one that allowed identifying the most important variables from this process: pH and hydrolysis temperature, thus finding the best extraction conditions: pH 1.75 at a temperature 90 degrees Celsius for a period of 60 minutes; with these conditions, a maximum yield of 4.36% was obtained. For the precipitation of the pectin, 96° ethanol was used with a 40% ratio for the hydrolysis liquid and the drying was carried out at a temperature of 45 degrees Celsius. With the data obtained from the experimental part, the sizing of the equipment was carried out for a production of 9.68 kg of pectin, using 222 kg of aloe leaf as food, a financial study was carried out where the following values were obtained: IRR 94% and NPV \$684,276.0. To validate the design of the process, the characterization of the extracted pectin was carried out, obtaining the following values: Moisture 1.49%, ashes 7.37%, galacturonic acid 35.07%, methoxyls 6.95%, esterification 54.56%, mesophiles, molds and yeasts <10 CFU/g. These values were compared with the ranges established by the International Association of Pectin Producers for pectin purity, the same ones that are within the ranges and therefore the obtained pectin is considered acceptable. Activated carbon filtration of liquid pectin is recommended before adding alcohol during precipitation in order to purify and improve the color of pectin.

Keywords: <OBTAINING PECTIN>, <ACID HYDROLYSIS>, <ALOE VERA LEAF (*Aloe barbadensis miller*)>, <ALOE VERA LEAF>, <PRODUCTION PLANT>.



Firmado electrónicamente por:
NANCI
MARGARITA INCA
CHUNATA

INTRODUCCIÓN

Las pectinas, contenidas en las paredes celulares primarias de las plantas, son una familia de polisacáridos, ricos en ácido galacturónico parcialmente esterificado con metilo (Bozzini et al., 2004, p.112). Según el grado de esterificación se clasifican en pectinas de alto o bajo metoxilo. Generalmente, la pectina se extrae de frutas cítricas y de la manzana (Hernandez et al. 2017, p. 20). Se ha demostrado que la pectina de Aloe vera puede ser ampliamente utilizada como espesante, emulsionante, gel, estabilizador, etc (Liu et al. 2019, p.3). El Aloe vera es una planta que se ha utilizado ampliamente en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética. Sin embargo, la cáscara de aloe se ha descartado durante el proceso de transformación del aloe en alimentos o medicinas, lo que resulta en el desperdicio de recursos y la contaminación del medio ambiente. La cantidad de residuos agroindustriales generados en el procesamiento de la hoja entera de Sábila (*Aloe vera*) y que se consideran desperdicios, pueden ser racionalmente empleados para la extracción de materias primas como la pectina (Hernandez et al. 2017, p.25). En la investigación desarrollada por Chen et al. (2018) extrajeron la pectina de la cáscara de Aloe vera mediante el método de extracción con ácido y precipitación con alcohol.

El procesamiento de la sábila (*Aloe vera*) ha alcanzado un gran desarrollo en los últimos años, ya que sus productos son materia prima para otras industrias. Esto ha contribuido al incremento de residuos sólidos, los cuales no son aprovechados para la obtención de productos de valor agregado en la propia industria. La pectina de Aloe vera presenta características específicas, como un bajo grado de esterificación natural y un alto contenido de ácido galacturónico (Bozzini et al. 2004, p.120). El objetivo de esta investigación está dirigido a la obtención pectina a partir de la hoja de sábila (*Aloe vera*) por el método de hidrólisis ácida.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Identificación del problema

En la actualidad, la producción y comercialización de pectina en Ecuador es inexistente, solo se lo realiza como tema investigativo y de acuerdo con datos obtenidos del Banco Central del Ecuador, se ha invertido gran capital en la adquisición de pectina, sabiendo que las importaciones anuales entre 2010 -2014 ha consumido 247.860 toneladas de pectina, por un costo aproximado de 16.08 dólares por kilogramo (Renteria, 2014, p. 25), debido a que este compuesto es indispensable en diversas industrias como la farmacéutica, alimenticia, cosmetológica, tabaquera, entre otras.

La pectina se extrae generalmente de la pulpa de manzana y cáscaras de cítricos, pero también se puede obtener de residuos provenientes de la industria cacaotera, bananera, azucarera, entre otros. El mercado de pulpa de fruta congelada en el país ha tenido un crecimiento continuo, como es el caso de Frozen Tropic que realiza exportaciones de pulpa al mismo nivel de competencia que existe entre las empresas productoras (Vivar, 2020, p.15), aumentando la generación de residuos en este caso de las cáscaras.

La sábila (*Aloe vera*) debido a sus múltiples propiedades ha tenido un gran impacto en las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética, provocando el incremento de la demanda internacional de productos a base de este ingrediente como es el caso de Forever Living empresa dedicada a la producción de productos para el cuidado de la piel, bebidas y suplementos alimenticios a base de *Aloe vera* (Forever Living, 2019, párr.3), en la producción se utiliza principalmente el gel y la aloína dejando como residuos el cortex o conocido como cáscara, que al emplearlo en la producción de pectina se puede minimizar el impacto medio ambiental generado en el procesamiento de la hoja.

Los frutos luego de su explotación comercial generan grandes cantidades de cáscaras, residuos que sirven de materia prima para la obtención de nuevos productos a nivel industrial, entre ellos la pectina (Bravo y Condo, 2015, p.12). En esta investigación se busca presentar un diseño general para la extracción de pectina a partir del bagazo de *Aloe vera*, la cual será caracterizada a través de métodos fisicoquímicos, es decir, analizando variables como el contenido de humedad, contenido de cenizas, contenido de metoxilo y grado de esterificación; para establecer así un estudio completo y detallado de sus propiedades y definir la cantidad de pectina presente en el bagazo de *Aloe vera*. Esta materia prima es muy utilizada en Ecuador debido a sus propiedades antisépticas y cicatrizantes, antiinflamatorio, analgésico, antiviral y antitóxico, (El Telégrafo, 2021, párr.4) dejando como residuos el bagazo que posteriormente es desechado y que sirve de materiag prima para la obtención de pectina.

1.2. Justificación de la investigación

Según Chasquibol et al. (2008) la pectina es ampliamente usada en la industria de los alimentos y como fuente de fibra dietética, debido a su habilidad para formar geles acuosos. Estos geles de pectina son importantes para modificar la textura de jaleas, salsas, confites, entre otras. En la industria láctea se utiliza para la fabricación de yogures, en la industria de bebidas dietéticas para la preparación de refrescos por su bajo contenido de carbohidratos y propiedades estabilizantes. También es utilizada en la industria farmacéutica y cosmética como ingrediente en preparaciones farmacéuticas como desintoxicantes y empleadas en encapsulaciones de drogas para proteger la mucosa gástrica. Además, se emplean como agentes absorbentes de lipoproteínas en productos para bajar de peso y no menos importante su aplicación como membranas biopoliméricas cicatrizantes, se utiliza en la producción de plásticos, productos espumantes; lo que demuestra el potencial y las aplicaciones futuras que se esperan de la pectina.

La obtención de pectinas a partir de diferentes fuentes vegetales es un tema de amplia importancia ya que da la posibilidad de buscar nuevas fuentes para su obtención a partir de recursos propios del país. Ecuador como la mayoría de los países de Latinoamérica, no produce pectina ni sus derivados, importándose para cubrir la demanda de la industria alimentaria y farmacéutica (Nizama, 2015, p.6).

Por lo tanto, la importancia de este trabajo es crear expectativas acerca de la producción nacional de aditivos alimentarios utilizando los diversos recursos propios de la región y cuyos subproductos son desaprovechados, aumentando el valor agregado y otorgando una solución parcial al problema generado por las cáscaras. Así mismo los beneficiarios de la presente investigación son: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, porque demuestra la capacidad de investigación de sus estudiantes. La Facultad de Ingeniería Química, demostrando así la capacidad de los egresados en procesos de innovación en la industria alimentaria, cosmética, farmacéutica generando valor agregado a los subproductos o residuos que se generan a nivel industrial y finalmente servirá de aporte a investigadores y estudiantes, debido a que se utilizará como referencia para futuras investigaciones.

1.3. Objetivos

1.3.1. *Objetivo general*

Obtener pectina a partir de la hoja de sábila (*Aloe barbadensis miller*) por el método de hidrólisis ácida.

1.3.2. *Objetivos específicos*

- Realizar la caracterización fisicoquímica y microbiológica de la pectina obtenida a partir de la hoja de sábila (*Aloe barbadensis miller*).
- Evaluar la pectina comercial con la pectina extraída de la hoja de sábila mediante espectroscopía de infrarrojo (FTIR).
- Diseñar un proceso para la extracción de pectina a partir de la hoja de sábila (*Aloe barbadensis miller*) mediante hidrólisis ácida.

1.4. Antecedentes de la investigación

Actualmente existe una demanda creciente de materiales basados en fuentes renovables, especialmente de polímeros biodegradables que son respetuosos con el medio ambiente para reemplazar los plásticos a base de petróleo. Entre los polisacáridos, se ha estudiado a la pectina para el desarrollo de diferentes materiales de base biológica como películas y recubrimientos comestibles para el envasado y conservación de alimentos; hidrogeles para remediación de agua, aplicaciones agrícolas y vendajes; y en la liberación controlada de principios activos en sistemas de administración de fármacos (Tomadoni y Alvarez, 2020, p.144).

La pectina fue extraída y aislada por primera vez por Henri Braconnot, un químico francés que, en 1825 lo nombró “pectina” que deriva del griego pektikos, que significa congelar o solidificar debido a sus propiedades coagulantes no obstante su producción comercial no comenzó hasta 1908 en Alemania, a partir de los residuos de la fabricación de zumo de manzana. Actualmente se obtienen de diversos residuos industriales, y sobre todo, de la industria de cítricos (Morley, 2015, p.110).

Con respecto a extracción de pectina muchas han sido las investigaciones que sean realizado, ya que se han elaborado a base de residuos de cítricos, manzanas, cacao (Cedeño, 2019, p.34), de la pulpa de café (Serrat et al., 2018) , cáscara de tomate (Sharma y Mudhoo, 2011) , guayaba y zanahoria, achotillo (Ochoa, 2013) incluso de frutos exóticos como la pitahaya (Vargas, 2019) y maracuyá. La pectina obtenida en estas investigaciones es comúnmente empleada como gelificante en las mermeladas, uno de estos experimentos fue realizado por Saavedra (2015) con las cortezas de maracuyá

mediante hidrólisis ácida usando ácido cítrico, la pectina se utilizó para formular mermeladas de la misma fruta y se concluyó que las condiciones de extracción (temperatura y tiempo) tienen un efecto directo en las propiedades de la pectina de maracuyá, en cuanto a las mermeladas obtenidas se establece que la mejor formulación tiene 60°Brix y una composición del 54% de azúcar y del 43 fruta y 3% de pectina.

Por otra parte Calderón y Concuá (2015), en su investigación extrajeron pectina de *Malus domestica* (manzana) y *Daucus carota* (zanahoria) para luego emplearlo en suspensiones y emulsiones cosméticas. Los resultados obtenidos de la caracterización, así como análisis microbiológicos, concluyeron que las pectinas de manzana y zanahoria cumplen con los requerimientos fisicoquímicos y microbiológicos para ser utilizados como agentes viscosantes en la preparación de cosméticos, en este caso una crema hidratante corporal y una mascarilla tonificante facial.

Una de las investigaciones más recientes en Ecuador fue desarrollada por Angélica Vélez e Ivanna Villaseca, estudiantes de la Escuela Superior Politécnica del Litoral que ganaron el Reto IAL al obtener pectina a partir de la cáscara de cacao con el objetivo de disminuir las importaciones y que ganaron un pase a IFT Annual Event, la feria de alimentos más grande del mundo (El Universo, 2020).

En Ecuador varios agricultores han apostado por el cultivo de *Aloe vera* y en algunas provincias se realizan productos de esta materia prima, en menor producción se encuentran las provincias de Tungurahua e Imbabura y en mayor producción Santa Elena con grandes extensiones en la parroquia Colonche (Avedaño y Suárez, 2018, p.234).

1.5. Marco Conceptualg

1.5.1. Generalidades del Aloe vera

El *Aloe vera* es originaria de África y su nombre proviene del término árabe Alloeh que significa sustancia brillante y amarga o del árabe Çabila que significa planta espinosa, no obstante, en muchos lugares del mundo la conocen como sábila (Vega et al., 2005, p.5). Se han reportado alrededor de 350 especies, de las cuales 4 han demostrado científicamente que presentan propiedades medicinales: *Aloe barbadensis miller*), *Aloe peri Baker*, *Aloe ferox* y *Aloe arborescens* (Floramatic, 2020, párr. 6).

El *Aloe vera* se compone de un 98,5 a 99,5% de agua y el resto son sólidos que contiene más de 200 ingredientes diferentes, incluyendo una combinación de polisacáridos y sus derivados acetilados, glicoproteínas, fenolicantraquinonas, flavonoides, flavonoles, enzimas, minerales, aminoácidos esenciales y aminoácidos esenciales y no esenciales, esteroides, saponinas y vitaminas (Hosseinian et al., 2017, p.263).



Figura 1-1: Aloe vera

Fuente: (INECC, 1994, p.30).

1.5.1.1. Clasificación taxonómica

Tabla 1-1: Clasificación Taxonómica

Reino	Vegetal
División	Embriophyta-siphonogama
Subdivisión:	Angiosperma
Clase	Monocotiledoneae
Orden	Liliales
Familia	Liliaceae
Subfamilia	Asfondoideae
Tribu	Aloinaeae
Género	Aloe
Especie	vera
Sinónimo	barbadensis

Fuente: (INECC, 1994, p.34).

1.5.1.2. Beneficios del Aloe vera

El *Aloe vera* es utilizado para cicatrizar el acné y las quemaduras solares presentes en la piel. Opera como coagulantes debido a que posee magnesio, vitamina C, selenio y otras sustancias que ayudan a la circulación de la sangre y es considerado un hidratante. Se lo utiliza como un antidiabético al reducir el colesterol y en la industria alimenticia se usa como saborizante en muchos productos, incluyendo bebidas alcohólicas como licores de raíces amargas y las no alcohólicas. Finalmente, su propiedad antiinflamatoria reduce la oxidación del ácido araquidónico desinflamando la zona afectada (INECC, 1994, p.45).

Es una planta de uso terapéutico y cosmético, debido a sus características de regeneración y protección de la dermis, que se utiliza como antiséptico y cicatrizante natural, limpia los poros y la facilita la eliminación de las células muertas de la piel y regula el pH de la piel (INECC, 1994, p.64).

1.5.2. Pectina

La pectina es un polisacárido que está presente de forma natural en las paredes vegetales. Las pectinas se presentan en forma de polvo blanco, amarillo, gris claro o marrón claro, se obtienen por extracción en un medio acuoso de material vegetal comestible, generalmente cítricos o manzanas y se utilizan precipitantes orgánicos como metanol, etanol e isopropanol (United States Pharmacopeial Convention, 2018, párr.7). Las pectinas comerciales se obtienen generalmente por extracción de la piel de los cítricos o del orujo de manzana. El contenido de materia seca de pectina en el orujo de manzana y la cáscara de los cítricos es del 10 al 15% y del 20 al 30%, respectivamente (Grumezescu, 2017, p.233).

Dependiendo del grado de esterificación (GE), la pectina se divide en dos grupos: las pectinas con $GE > 50\%$ se conocen como pectinas de alto metoxilo y las pectinas de bajo metoxilo que tienen un $GE < 50\%$ (Muhammad et al., 2014, p.290).

El método convencional para la extracción de pectina implica cuatro diferentes pasos. El primer paso es la acidificación de la materia prima con ácidos minerales diluidos calientes (sulfúrico, clorhidrato o fosfórico ácido) a pH 2. A este paso le sigue la separación del residuo sólido del extracto de pectina. El tercer paso incluye la precipitación de pectina con alcohol, o mediante la adición de cationes polivalentes, generalmente aluminio. El último paso consiste en lavar, secar y moler el polvo de pectina. El rendimiento y el grado de esterificación de la pectina extraída depende de la temperatura y el tiempo de funcionamiento.

1.5.2.1. Historia de la pectina

La pectina fue descubierta por Vauquelin en 1790, pero fue caracterizada por Braconnot en 1825, quien le dio el nombre de pectina, debido a su agente gelificante. Un siglo después, científicos como Hérissy, Tshirch, Rosemberg, Wiesner, Manguin, Bourquelot, entre otros, realizaron investigaciones desde el punto de vista biológico y químico (Schierbaum, 1971, p.89). De acuerdo con Fishman y Jen en 1987 la pectina se considera como el componenteg más importante de la pared celular y realza su papel como agente gelificante y nutricional en los alimentos (Ferreira, 2007, p.13).

1.5.2.2. Estructura Química de la pectina

De acuerdo con Galkowska et al. (2003), la pectina es un polisacárido lineal, su composición varía según la fuente y las condiciones aplicadas durante el aislamiento. En la actualidad, se cree que la pectina consta principalmente de unidades de ácido D-galacturónico, unidas en cadenas por medio de enlaces glucosídicos α -(1-4). En la Figura 2-1 se observan (a) un segmento repetido de

la molécula de pectina y los grupos funcionales característicos de la pectina b) carboxilo; (c) éster; (d) amida en la cadena de pectina.

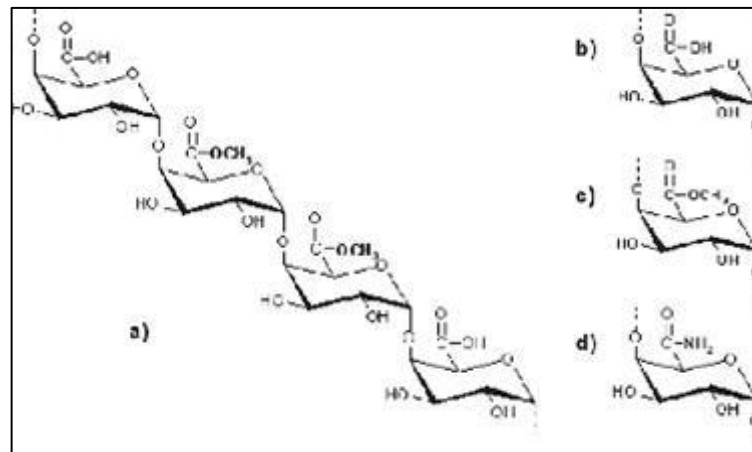


Figura 2-1: Grupos funcionales de la pectina

Fuente: (Sriamornsak, 2003, p.45).

La pectina contiene entre unos cientos y unos 1000 sacáridos en forma de cadena, lo que corresponde a un peso molecular medio de pesos moleculares de unos 50.000 a 150.000 daltons (Zegada, 2015, p.71).

1.5.3. Grado de esterificación

La relación entre los grupos de ácido galacturónico esterificados con metilo y el total de grupos de ácido galacturónico se denomina grado de esterificación (G.E.). El G.E permite determinar la solubilidad de la pectina y sus propiedades gelificantes formadoras de películas. Algunos parámetros que afectan al G.E son: el origen de la fuente vegetal, la zona de crecimiento, el momento de la cosecha y las condiciones de extracción, procesamiento, aislamiento y purificación (Zhang, 2020, p.213).

1.5.3.1. Alto grado de esterificación

La pectina de alto GE tiende a gelificar a través de la formación de enlaces de hidrógeno e interacciones fóbicas a un pH de 3.0 para reducir las repulsiones electrostáticas, o en presencia de azúcares (Yam, 2009, p.111).

1.5.3.2. Bajo grado de esterificación

La pectina de bajo GE se gelifica por cationes divalentes de calcio que tienden un puente sobre las cadenas helicoidales adyacentes para formar las llamadas estructuras de zona de unión "caja de huevos". de la zona de unión, siempre que un mínimo de 14-20 residuos puedan cooperar (Yam, 2009, p.115).

Según el G.E., la pectina puede clasificarse como pectina de alto metoxilo o pectina de bajo metoxilo. Las propiedades de la pectina dependen del grado de esterificación.

1.5.4. Clasificación de las pectinas

1.5.4.1. Pectinas de alto metoxilo

Las pectinas de alto metoxilo poseen la mayoría de sus grupos carboxilo esterificados, es decir superior al 50% por lo que no forman geles si no es en medios muy azucarados, contienen más del 60% de azúcar y un pH entre 2,7 a 3,4.

Las pectinas de alto metoxilo, en orden decreciente de su porcentaje de esterificación y de su rapidez en la formación del gel, se clasifican comercialmente en los siguientes tipos:

- Ultra Rapid Set (URS) 150° SAG
- Rapid Set (RS) 150° SAG
- Medium Rapid Set (MRS) 150° SAG
- Slow Set (SS) 150° SAG

Sabiendo que un grado SAG se define como la cantidad de sacarosa en gramos que un gramo de pectina es capaz de gelificar en condiciones específicas. Decir que una pectina es de 150° SAG significa que un gramo de pectina es capaz de gelificar 150 gramos de azúcar para formar un gel de firmeza adecuada a un pH de aproximadamente 3,0 y con un 65% de sólidos soluble (Ferreira 2007, p.23).

La Tabla 2-1 se muestra los valores límites de varias características y propiedades fisicoquímicas para cada uno de los tipos de pectina de alto metoxilo.

Tabla 2-1: Características de las pectinas alimenticias de alto metoxilo (HMP)

Característica	URS 150°	RS 150°	MRS 150°	SS 150°
% esterificación	74 – 77	71 – 74	66 – 70	58 – 65
Formación de gel (min)	1 – 3	4 -8	15 – 25	30 – 120
pH gelificación óptimo	3,1 – 3,4	3,0 – 3,3	2,8 – 3,1	2,6 – 2,9
pH de disolución al I %	2,9 – 3,5	2,9 – 3,5	2,8 – 3,5	2,8 – 3,5
General				
Cenizas totales (%)	5			
Pérdida por secado (%)	12			
Arsénico (ppm)	<3			
Plomo (ppm)	<10			
Cobre (ppm)	<60			
Gérmenes patógenos	ausencia			
Gérmenes totales por gramo	<1000			
Aspecto	polvo fino color crema			
Granulometría	rechazo inferior al 1% en tamiz de apertura 0.31 mm			

Fuente: (Saavedra, 2015, p. 29).

1.5.4.2. Pectinas de bajo metoxilo

En las pectinas de bajo metoxilo los grupos carboxilo esterificados son inferiores al 50% por lo que para la formación del gel requieren la presencia de cationes divalentes, como el calcio de 40-100 mg. Los geles poseen un pH de 1,0 - 7,0 o superior sin afectar la textura del gel ni el intervalo de sólidos solubles.

Esta categoría de pectinas de bajo metoxilo ha venido ganando más aceptación entre los consumidores debido al hecho de que por su comportamiento permite tener un producto como el tradicional, pero con mucho menos calorías y que además lleva calcio adicionado, y aunque la cantidad agregada del mismo es baja de todas maneras es un micronutriente adicional en el producto final.

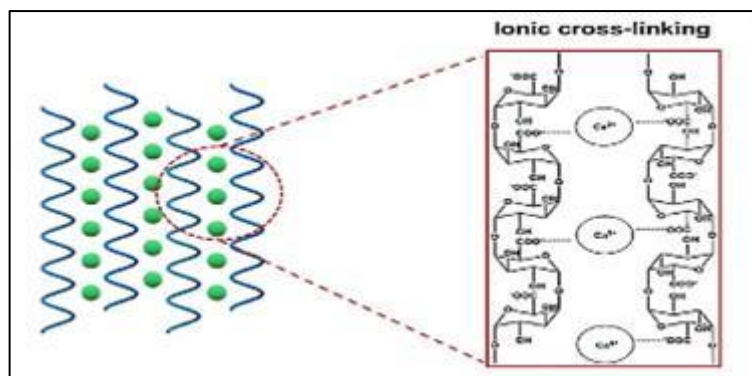


Figura 3-1: El mecanismo de gelificación de la pectina

Fuente: (Chan et al., 2017, p.78).

1.5.5. *Propiedades Fisicoquímicas de las pectinas*

1.5.5.1. Solubilidad

La pectina es insoluble en solventes orgánicos y en soluciones de detergentes cuaternarios, polímeros, proteínas y cationes polivalentes; estos agentes surfactantes se emplean para precipitar la pectina de las soluciones después de un proceso de hidrólisis durante el tratamiento de la materia prima. Para ello, la pectina debe estar completamente disuelta evitando la formación de geles (Ferreira, 2007, p.34).

1.5.5.2. Acidez

Las sustancias pécticas son neutras en su estado natural, en solución tienen carácter ácido el cual depende del medio y del grado de esterificación. El pH de las soluciones de pectina varía entre 2,8 y 3,4 como función del grado de esterificación (Ferreira, 2007, p.41).

1.5.5.3. Viscosidad

Las pectinas forman soluciones viscosas en agua, esta propiedad depende del grado de polimerización de la pectina, el pH la temperatura, la concentración y la presencia de electrolitos. En las pectinas con alto grado de esterificación la viscosidad por efecto de su presencia aumenta al aumentar el peso molecular, los grupos laterales y la concentración de la pectina en solución. El calcio y otros iones polivalentes aumentan la viscosidad de las soluciones de pectina y algunas pectinas de bajo metoxilo pueden gelificar si la concentración de calcio supera un cierto límite (Ferreira, 2007, p.45).

1.5.5.4. Poder de gelificación

Las pectinas tienen la capacidad de formar geles. Los geles de pectina-ácido-azúcar se forman con pectinas de alto metoxilo en medio ácido con pH controlado entre 2,8-3,5 y una concentración promedio de azúcar del 65% (60%-70%). Los factores que influyen significativamente en la solubilidad de la pectina son la temperatura, la composición molecular o tipo de pectina, el pH, la presencia y cantidad de iones calcio, así como la presencia de azúcar y otros solutos (Ferreira, 2007, p.75).

1.5.6. *Métodos de extracción de pectina*

El proceso de producción de pectina generalmente consta de tres etapas: una etapa de pretratamiento, la operación de extracción y una etapa de post-extracción. El propósito del pretratamiento, ya sea un proceso de secado, lavado o blanqueo, es aumentar la estabilidad de la materia prima inactivando bacterias y enzimas que de otra manera causarían la degradación de la pectina. La segunda etapa de la producción de pectina es la extracción, que combina la presencia de un ácido mineral (como ácido clorhídrico, ácido sulfúrico o ácido nítrico) con un tratamiento térmico. El uso de este método de extracción de ácido convencional plantea algunas preguntas con respecto a la gestión de recursos. Debido a que la duración prolongada del proceso, y especialmente el calentamiento, está relacionada con un mayor consumo de energía, es importante determinar si las demandas económicas están justificadas por la producción de pectina de alta calidad o si es posible reducir el costo total del proceso sin afectar la calidad de la pectina. El mismo principio también debería considerarse en el contexto de una evaluación de la eficiencia de las técnicas de extracción alternativas (Morris et al., 2020, p. 65).

La extracción de pectina se define como un proceso fisicoquímico que se compone de múltiples etapas de hidrólisis y extracción de macromoléculas de pectina del tejido vegetal y su solubilización en el solvente a granel, todas ellas ocurriendo de manera continua bajo la influencia de diferentes parámetros del proceso. principalmente temperatura, pH y tiempo. La pectina es una macromolécula compleja, y la preservación de su estructura, que determina características como el peso molecular, la solubilidad en agua y las propiedades de gelificación, está relacionada con el método de extracción aplicado en su aislamiento del material vegetal. La extracción y el aislamiento de pectina de las paredes celulares se pueden abordar de diversas formas mediante el uso de tratamientos químicos, físicos y enzimáticos. Entre los métodos químicos, la extracción con ácido suele ser el más utilizado en la producción comercial de pectina (Methacanon et al., 2014, p.384).

1.5.6.1. Extracción con disolventes – Hidrólisis ácida

El uso de un método adecuado, junto con una buena comprensión del efecto individual y colectivo de los parámetros del proceso, es esencial para maximizar el rendimiento de pectina y su calidad. En el caso particular de la extracción con solvente, el tipo de solvente de extracción, su concentración y las condiciones de operación como el pH, la temperatura y el tiempo de extracción impactan la liberación de pectina de la pared celular. El estudio de los parámetros involucrados en la extracción por solventes no es un tema novedoso en la literatura, ya que ha sido ampliamente estudiado a lo largo de los años (Oroian et al., 2015, p.11).

Con respecto al solvente de extracción, una elección ideal debe presentar las siguientes características: el solvente debe ser selectivo, es decir disolver el componente específico mientras tiene una capacidad mínima para disolverse en otros componentes, debe ser químicamente estable, renovable y de baja viscosidad, lo que facilita el bombeo y el transporte (Oroian et al, 2015, p.27).

En consecuencia, al estudiar la eficiencia de extracción de un solvente, no solo son relevantes los rendimientos de pectina, sino también su estructura y composición química, ya que se sabe que estas características rigen sus aplicaciones. Los disolventes de uso común son ácidos minerales fuertes diluidos, en un proceso denominado hidrólisis ácida. La hidrólisis ácida es un proceso en el que se utiliza un ácido prótico para catalizar la ruptura de un enlace químico a través de una reacción de sustitución nucleófila, con la adición de agua. De este proceso, se obtiene una fracción líquida, rica en azúcares fermentables y una fracción sólida compuesta principalmente de celulosa y lignina (Lliuyacc, 2018, p.33).

1.5.6.2. Nuevas técnicas de extracción

El desarrollo de la química verde ha impactado en la etapa de aislamiento del análisis de macromoléculas de plantas y, como resultado, en los últimos años han surgido técnicas amigables con el medio ambiente como una alternativa al método tradicional de extracción con ácido. La investigación actual tiene como objetivo optimizar las técnicas de extracción más limpias, como la extracción asistida por enzimas, la extracción asistida por microondas, la extracción asistida por ultrasonidos, la extracción de agua subcrítica y la extracción por campo eléctrico inducido, sin embargo, son técnicas que conllevan mayor costo operativo (Adetunji et al., 2017, p.240).

1.5.7. Caracterización de la composición y propiedades de la pectina

El análisis de los carbohidratos pécticos aislados de las paredes celulares de varias plantas presenta un desafío importante debido a la variación y la complejidad de los compuestos no uronidos asociados con estos carbohidratos. Similar a la mayoría de los otros polisacáridos, la pectina es polimolecular y polidispersa, lo que significa que es heterogénea tanto en estructura química como en peso molecular (Dranca y Oroian, 2018, p.27).

En cuanto a la estructura química, el ácido galacturónico y los azúcares neutros son los principales componentes de las cadenas de pectina. El número y porcentaje de unidades monoméricas individuales varía de molécula a molécula en cualquier muestra de pectina. La variabilidad en la estructura de las cadenas de pectina, incluido el número de grupos metoxilo esterificados al ácido galacturónico, las diferencias en el peso molecular y las propiedades intrínsecas de la pectina

determinan sus propiedades físicas y contribuyen al interés comercial de esta fibra soluble (Adetunji et al., 2017, p.245).

Dada la complejidad del biopolímero de pectina, el análisis de la macromolécula completa extraída no es suficiente para dar una idea de la estructura fina de la pectina. El conocimiento sobre la estructura de la pectina se ha obtenido en gran medida a partir de análisis químico-enzimáticos que involucran diferentes protocolos de extracción para aislar y caracterizar secuencialmente el polímero. Para revelar sus características estructurales, el biopolímero de pectina generalmente se degrada en oligosacáridos que se fraccionan aún más para aislar los elementos estructurales. Las técnicas analíticas utilizadas para estudiar y cuantificar los elementos estructurales de la pectina se discuten a continuación (Sila et al., 2009, p.87).

Después de la extracción y el aislamiento, es esencial caracterizar completamente los polímeros de pectina. A continuación, se describen los métodos actuales ampliamente utilizados en la caracterización físico-química de las pectinas (Dranca y Oroian, 2018, p.30).

1.5.7.1. Ensayo de fenol-ácido sulfúrico / carbohidratos totales

Tras la adición de ácido sulfúrico, las pectinas, cuando se someten a calor, se hidrolizan y forman derivados de furano que pueden reaccionar más con una solución de fenol para producir un complejo coloreado ($\lambda_{\text{max}} \sim 490 \text{ nm}$), aunque los diferentes monosacáridos reaccionan de manera diferente y los ácidos urónicos, como el galacturónico. Los ácidos tienen una respuesta de color relativamente baja. La intensidad del color producido dependerá de la cantidad de pectina. Sin embargo, es importante tener en cuenta que esta es una técnica relativa y la calidad de los resultados dependerá del tiempo de reacción y de la elección de un estándar apropiado, es decir, ácido galacturónico para el análisis de pectina (Dranca y Oroian, 2018, p.32).

1.5.7.2. Contenido de ácido galacturónico y grado de esterificación metílica (DM)

- *Ensayo de m-hidroxidifenilo*

Tras la adición de ácido sulfúrico, las pectinas cuando se someten a calor se hidrolizan y forman derivados de furano que pueden reaccionar más con una solución de m-hidroxidifenilo para producir un complejo rosa ($\lambda_{\text{max}} \sim 520 \text{ nm}$). Luego, el contenido de ácido galacturónico se puede determinar a partir de una curva de calibración de estándares de ácidos galacturónicos típicamente en el rango de concentración de 10 a 100 $\mu\text{g mL}^{-1}$. Este método es menos sensible a la presencia de otros monosacáridos o moléculas de proteína que los métodos anteriores (Brummer y Cui, 2016, p.675).

- *Peso equivalente*

Se disuelve una muestra de pectina (0,5% p / v) en una solución de etanol al 5% v / v y la solución ácida se titula con hidróxido de sodio (0,1 N) en presencia de un indicador apropiado, por ejemplo, rojo de metilo, mientras que se puede agregar cloruro de sodio para agudizar el punto final. Esta valoración puede usarse para dar una estimación del contenido total de ácido anhidrouónico y la solución neutralizada puede usarse luego para estimar el grado de esterificación de metilo (Alfa y Abilasha, 2016, p.13).

1.5.7.3. Espectroscopia infrarroja por transformadas de Fourier (FTIR)

El FT-IR es una técnica utilizada para investigar la naturaleza de los enlaces químicos, donde las interacciones se estiran, vibran o se doblan con frecuencias específicas, lo que permite la identificación de grupos funcionales específicos. Es decir, los cambios en la localización o de los picos proporcionan información sobre los cambios estructurales y químicos (Sharma et al., 2011, p.229).

El espectro infrarrojo permite caracterizar químicamente una muestra, en el estudio realizado por Kyomugasho et al. (2015) el uso de la espectroscopia FT-IR demuestra considerables ventajas en comparación con la colorimetría como un método para determinar el grado de metoxilo en muestras de pectina debido a su simplicidad, rapidez, alta sensibilidad y practicidad.

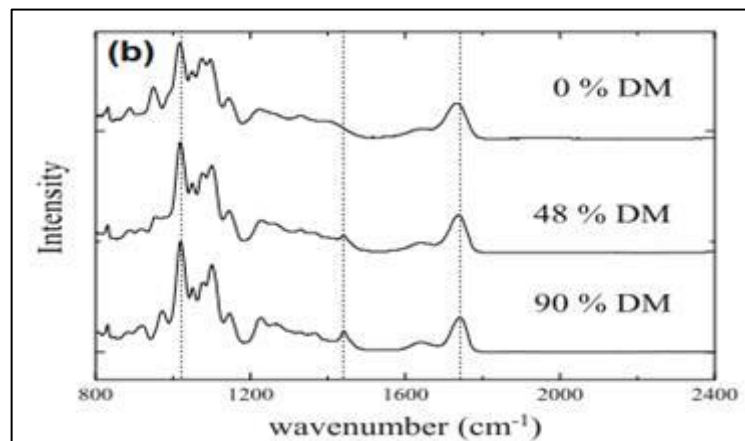


Figura 4-1: Espectros IR de diferentes pectinas

Fuente: (Fellah et al., 2009, p.87).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Hipótesis y especificación de las variables

2.1.1. *Hipótesis General*

Se obtendrá pectina a partir de la hoja de sábila (*Aloe barbadensis miller*) mediante el método de hidrólisis ácida, con propiedades similares a las pectinas comerciales.

2.1.2. *Hipótesis Específicas*

- Es posible caracterizar fisicoquímica y microbiológicamente la pectina obtenida a partir de la hoja de sábila (*Aloe barbadensis miller*).
- Se puede comparar la calidad de la pectina comercial con la pectina extraída de la hoja de sábila mediante espectroscopía de infrarrojo (FTIR).
- Es posible diseñar un proceso para la extracción de pectina a partir de la hoja de sábila (*Aloe barbadensis miller*) mediante hidrólisis ácida a partir de los datos recopilados de laboratorio.

2.2. Identificación de Variables

Tabla 1-2: Identificación de variables

Etapas del proceso	Variables independientes	Variables dependientes
Obtención de pectina mediante hidrólisis ácida	- pH - Temperatura de hidrólisis	- Cantidad de pectina - Color de la pectina
Caracterización Fisicoquímica de la pectina a partir de hoja de sábila (<i>Aloe barbadensis miller</i>)	- Acidez libre - Peso equivalente	- Grado de esterificación - Contenido de metoxilos
	- Tiempo de secado	- Contenido de humedad - Contenido de cenizas
Caracterización microbiológica de la pectina a partir de hoja de sábila (<i>Aloe barbadensis miller</i>)	- Cantidad y calidad de pectina - Buenas prácticas e inocuidad	- Mohos y Levaduras - Microorganismos aerobios
Comparación de pectina comercial y pectina de <i>Aloe barbadensis miller</i>	- Longitud de onda - Absorbancia	- Espectro infrarrojo

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

2.3. Operacionalización de variables

Tabla 2-2: Operacionalización de variables

Variable	Tipo de variable	Definición operacional	Categorización	Unidades	Instrumentos de medición
Temperatura	Independiente	Es la magnitud física que mide la cantidad de calor o energía térmica de un sistema	Temperatura de pretratamiento	°C	Termómetro
			Temperatura de la hidrólisis		
pH	Independiente	Medida del grado de acidez o alcalinidad de una sustancia o una solución.	Concentración del ión hidrógeno en la hidrólisis	-	Potenciómetro
Masa	Dependiente	Es una magnitud física que cuantifica la cantidad de materia de un cuerpo.	Cantidad de pectina obtenida	g	Balanza analítica

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

Para especificar las variables en cada etapa del proceso se presenta la siguiente tabla con la información pertinente.

Tabla 3-2: Variables del proceso

Etapa	Variable	Cantidad	Unidad
Lavado	Agua	1:2	Relación bagazo: agua
Inactivación de Enzimas	Temperatura del vapor de agua	92	°C
	Tiempo	5	min
Hidrólisis Ácida	Concentración del ácido	1.5 – 2.0	Normal
	pH	1.25- 1.5 – 1.75	-
	Tiempo	60	Min
	Temperatura	70 - 80 - 90	°C
Concentración	Temperatura del vapor	80-85	°C
	Volumen Final	2-2.5	Litros
Precipitación	Volumen de etanol	3:1	Relación agua acidulada: etanol
Secado	Temperatura del aire a la entrada	45	°C

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

2.4. Matriz de consistencia

Tabla 4-2: Matriz de consistencia

ASPECTOS GENERALES				
Problema General		Objetivo General		Hipótesis General
Debido al problema que ocasionan las cáscaras al ser un desecho industrial, se busca obtener un producto que haga uso de esta materia prima renovable, dándoles un valor agregado.		Obtener pectina a partir de la hoja de sábila (<i>Aloe barbadensis miller</i>) por el método de hidrólisis ácida.		Es posible obtener pectina a partir de la hoja de sábila (<i>Aloe barbadensis miller</i>) mediante el método de hidrólisis ácida con propiedades similares a las pectinas comerciales.
ASPECTOS ESPECIFICOS				
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variables	Técnicas
Se desconoce las composiciones de las muestras obtenidas, grado de esterificación y la posible presencia de microorganismos.	Realizar la caracterización fisicoquímica y microbiológica de la pectina obtenida a partir de la hoja de sábila (<i>Aloe barbadensis miller</i>).	Es posible determinar las características fisicoquímicas y microbiológicas de la pectina obtenida a partir la hoja de sábila (<i>Aloe barbadensis miller</i>).	<ul style="list-style-type: none"> - Grado de esterificación - Contenido de metoxilos - Ácido Galacturónico - Mohos y Levaduras - Microorganismos aerobios 	Norma Europea E 440 (i) Pectina
Se desconocen las características químicas de la pectina obtenida a partir de la hoja de sábila mediante hidrólisis ácida.	Comparar la pectina comercial con la pectina extraída de la hoja de sábila mediante espectroscopía de infrarrojo (FTIR).	Es posible comparar la pectina comercial con la pectina extraída de la hoja de sábila mediante espectroscopía de infrarrojo (FTIR)	<ul style="list-style-type: none"> - Grupos funcionales 	Espectroscopía de infrarrojo (FTIR).
Los parámetros medibles en la hidrólisis ácida no se han definido de manera precisa y debido a ello el procedimiento puede cambiar.	Diseñar el proceso de extracción de pectina a partir de la hoja de sábila (<i>Aloe barbadensis miller</i>) mediante hidrólisis ácida a escala de laboratorio modificando las variables de pH y temperatura.	Es posible diseñar del proceso de extracción de pectina a partir de la hoja de sábila (<i>Aloe vera</i>) a escala de laboratorio al utilizar el método de factorial modificando las condiciones de pH y temperatura de hidrólisis.	<ul style="list-style-type: none"> - pH - Temperatura 	Hidrólisis ácida

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

2.5. Tipo y Diseño de Investigación

2.5.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo experimental cuantitativa, debido a que el investigador establece el posible efecto de una variable independiente sobre los resultados obtenidos; y se recolectan datos numéricos para probar una hipótesis mediante un análisis de la varianza ANOVA para identificar el diseño adecuado en la obtención de pectina; y de esta manera, contribuir a posteriores investigaciones.

2.5.2. Diseño de la investigación

El tipo de diseño de la investigación es experimental debido a que para la extracción de pectina se controlará variables como son el pH y la temperatura de hidrólisis, por lo tanto, el diseño factorial de la investigación es 3k considerando que el tiempo de hidrólisis será de 60 min para cada caso siendo esta última la variable que quedará fija. A continuación, se presentan las pruebas experimentales que se realizarán para la obtención de la pectina.

Tabla 5-2: Condiciones de operación de acuerdo con el método factorial

Condiciones	Nivel Bajo	Nivel medio	Nivel Alto
pH	1.25	1.5	1.75
Temperatura	70	80	90

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

Tabla 6-2: Resumen del diseño experimental

Parámetro	Cantidad
Factores	2
Niveles	3
Total de experimentos	9

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

Tabla 7-2: Tabla de experimentos

No.	pH	Temperatura
1	1.25	70
2	1.50	70
3	1.75	70
4	1.25	80

5	1.50	80
6	1.75	80
7	1.25	90
8	1.50	90
9	1.75	90

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

En la Figura 1-2 se describe el proceso de extracción de pectina de la cáscara de sábila.

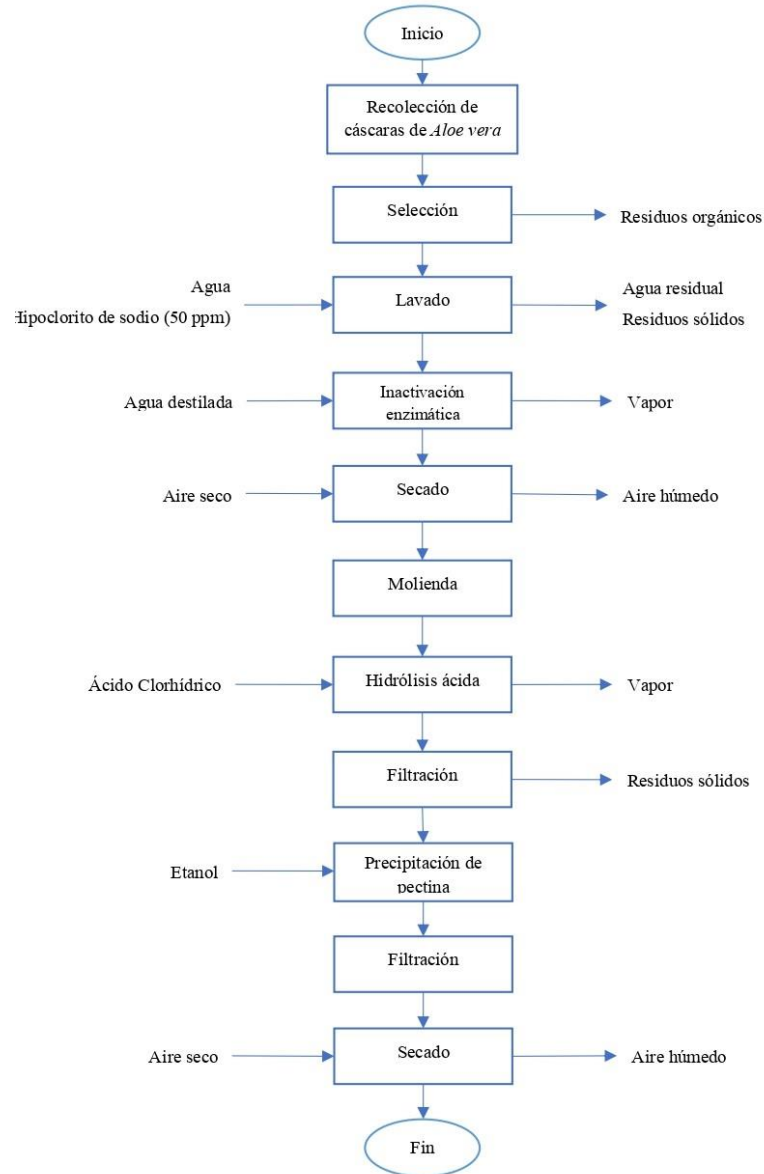


Figura 1-2: Proceso de extracción de pectina de la cáscara de sábila

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

2.6. Unidad de Análisis

La unidad de análisis para la presente investigación es la hoja de sábila (*Aloe barbadensis miller*), la cual es sometida inicialmente a un proceso de caracterización de la materia prima, se realiza pruebas de pH, humedad y contenido de cenizas totales. Posteriormente, se ejecuta un pretratamiento para someter la muestra a un proceso de hidrólisis ácida donde se determinarán las condiciones óptimas del proceso en función del pH y la temperatura de extracción de la pectina, y finalmente se efectúa la validación del modelo y evaluación de la calidad de la pectina con la caracterización fisicoquímica, microbiológica y la espectroscopía infrarroja.

2.7. Población de Estudio

La población que se emplea en la presente investigación se conforma por hojas de sábila (*Aloe barbadensis miller*), que son adquiridas en el mercado popular la Condamine y mercado Mayorista de la ciudad de Riobamba.

2.8. Tamaño de Muestra

Al ser un diseño a escala de laboratorio, el tamaño experimental escogido fue de varias unidades de sábila (*Aloe barbadensis miller*) y la obtención de 15kg de cáscaras de Aloe vera para lograr cumplir con los requerimientos de la investigación.

2.9. Selección de muestra

Para la selección de la muestra de la hoja de sábila (*Aloe barbadensis miller*) se realiza un muestreo aleatorio simple, en el que se considera criterios de inclusión como textura, color y tamaño, mientras que, los criterios de exclusión para las hojas son la presencia de moho o sustancias extrañas sobre las cáscaras que afecten a la calidad final del producto.

2.10. Técnicas de recolección de datos

Para la recolección de datos se utilizó bitácoras de investigación, en donde se describen las técnicas empleadas para cada etapa productiva, así como los resultados para cada etapa de producción.

2.11. Métodos para la caracterización de la materia prima

- Determinación de cenizas totales
- Determinación de humedad
- Determinación de densidad

2.11.1. Determinación de cenizas totales

Tabla 8-2: Método para determinar el contenido de cenizas

Fundamento	Materiales	Cálculo
Permitirá conocer la cantidad de cenizas que está presente en el bagazo de <i>Aloe vera</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Mufla • Desecador con desecante • Reverbero • Crisol • Pinzas • Balanza analítica 	$\%C_s = \left(\frac{M_2 - M_C}{M_1 - M_C} \right) * 100$ <p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> • %C_s = Porcentaje de cenizas totales (%) • M₂ = masa del crisol con la ceniza (g) • M₁ = masa del crisol con la muestra de ensayo (g) • M_C = masa del crisol vacío (g)
Procedimiento		
<ol style="list-style-type: none"> 1. Pesar el crisol vacío. 2. Pesar 5g de muestra triturada y transferir a un crisol previamente tarado. 3. Calentar la muestra en el reverbero hasta carbonizar. 4. Incinerar en un horno mufla a temperatura de 500 a 550°C durante 2 horas. 5. Enfriar el crisol en un desecador hasta temperatura ambiente. 6. Pesar. 7. Colocar de nuevo en la mufla y repetir el proceso hasta obtener un peso constante. 		

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

2.11.2. Determinación de densidad

Tabla 9-2: Método para determinar la densidad

Fundamento	Materiales	Procedimiento	Cálculo
Permitirá conocer la relación de masa por unidad de volumen	<ul style="list-style-type: none"> Vidrio reloj Probeta 	<ul style="list-style-type: none"> Pesar 20 g de la cáscara de Aloe vera triturada Colocar la muestra en una probeta de 25 ml Registrar el volumen ocupado Aplicar la fórmula de la densidad 	$\rho = \frac{M}{V}$ <p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> M= masa V= volumen

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

2.12. Métodos para caracterizar la pectina

- Determinar el pH
- Determinar el grado de esterificación
- Determinar el contenido de metoxilo
- Espectroscopía Infrarrojo (FTIR)
- Método para determinar la acidez libre (A) y peso equivalente
- Rendimiento de la pectina

2.12.1. Determinación de pH

Tabla 10-2: Método para determinar el pH en el Aloe vera

Fundamento	Materiales	Procedimiento
Permitirá conocer el pH que tiene la hoja de sábila	<ul style="list-style-type: none"> Potenciómetro Vaso de precipitación de 25 ml Varilla de agitación Agua destilada 	<ul style="list-style-type: none"> Encender el equipo y calibrar con las soluciones buffer de 4, 7 y 10 respectivamente. Limpia el electrodo utilizando agua destilada. Colocar 1ml por cada 1g de pectina triturada en un vaso de precipitación de 10ml. Agitar suavemente hasta conseguir una mezcla homogénea. Introducir el electrodo en el vaso que contiene la muestra. Presionar leer y esperar hasta que se estabilice. Leer la medida de pH directamente en la pantalla. Registrar el valor.

Fuente: (INEN 1842, 2013, p.65).

2.12.2. Determinación de la acidez libre (A) y peso equivalente

Tabla 11-2: Método para determinar la acidez libre (A) y peso equivalente

Reactivos	Materiales	Cálculo
<ul style="list-style-type: none"> • Agua Destilada • Hidróxido de sodio 0.1 N • Muestra de pectina • Fenolftaleína 	<ul style="list-style-type: none"> • Balón de aforo • Bureta • Probeta • Erlenmeyer • Pipeta • Vidrio reloj • Espátula 	$A = \frac{\text{meq NaOH}}{\text{mg pectina}}$ $PE = \frac{\text{mg pectina}}{\text{meq NaOH}}$ <p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> • A= Acidez libre • PE= Peso equivalente • meq NaOH= meq utilizados en la titulación
Procedimiento		
<ol style="list-style-type: none"> 1. Preparar la sustancia de hidróxido de sodio 0,1 N 2. Realizar la titulación con fenolftaleína 3. Obtener un pH=7.5 		

Fuente: (Toapanta, 2018, p.41).

2.12.3. Determinación del contenido de metoxilo

Tabla 12-2: Método para determinar el contenido de metoxilo

Reactivos	Materiales	Cálculo
<ul style="list-style-type: none"> • Indicador rojo fenol • Cloruro de sodio • Agua Destilada • Hidróxido de sodio • Muestra de pectina obtenida del peso equivalente • Ácido Clorhídrico 	<ul style="list-style-type: none"> • Matraz Erlenmeyer • Pipeta • Bureta • Balones de aforo 	$\%Met = \frac{\text{ml A} * \text{NA} * 31 * 100}{P_m} * 100$ <p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> • %Met= Porcentaje de Metoxilo (%) • A= alcali • N= Normalidad (equi/L) • P_m = Peso de la muestra(g)
Procedimiento		
<ol style="list-style-type: none"> 1. Agregue 25 ml de NaOH, 0,25N a la solución neutra procedente del peso equivalente. 2. Agítela vigorosamente y déjala en reposo a temperatura ambiente, en matraz con tapa por 30 min. 3. Agréguese 25 ml de HCl 0,25 N (o una cantidad equivalente a la base agregada) y titule con NaOH 0,1N. 		

Fuente: (Ramírez, 2019, p.43).

2.12.4. Determinación del grado de esterificación (GE)

Tabla 13-2: Método para determinar el grado de esterificación

Reactivos	Materiales	Cálculo
<ul style="list-style-type: none"> Etanol al 96% Agua destilada Fenolftaleína NaOH 0.1 N HCl 0.1 N 	<ul style="list-style-type: none"> Matraz Erlenmeyer Pipeta Bureta Equipo de titulación 	$G. E = \frac{Vol 2}{Vol 2 + Vol 2} * 100$
Procedimiento		
<ol style="list-style-type: none"> Se pesó 200 mg de pectina, se traspasaron a un matraz Erlenmeyer de 250 mL al que se le agregó 2 mL de etanol de 96% y 20 mL de agua destilada caliente a 40 °C. Finalmente, esta solución se mantuvo en agitación magnética constante durante 2 horas. A la solución anterior se agregó tres gotas de fenolftaleína, después se tituló con NaOH 0,1 N y se anotó el volumen gastado de la base, el cual corresponde al volumen 1. A la solución titulada (paso b) se le agregó 10 mL de NaOH 0,1 N y se dejó en reposo durante 15 minutos. A continuación, se agregó 10 mL de HCl 0,1 N y la solución se agitó hasta la desaparición del color rosado. La solución anterior (paso c) se tituló con NaOH 0,1 N nuevamente hasta color rosado y el volumen de la base en este caso es el volumen 2. e. Con los datos de volúmenes obtenidos se calculó el Grado de esterificación según la ecuación. 		

Fuente: (Vargas, 2019, p.79).

2.12.5. Determinación del rendimiento de la pectina

Tabla 14-2: Método para determinar el rendimiento de la pectina (R.P.)

Materiales	Procedimiento	Cálculo
<ul style="list-style-type: none"> Vidrio reloj Balanza Analítica 	<ul style="list-style-type: none"> Pesar la muestra de pectina obtenida Pesar la cáscara procesada 	$R. P. = \frac{\text{peso pectina}}{\text{peso hoja}} * 100$ <p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> R.P. = Rendimiento de la pectina

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

2.12.6. Determinación del Espectro infrarrojo

Tabla 15-2: Método para determinar los grupos funcionales

Fundamento	Procedimiento
Permitirá observar los grupos funcionales de la pectina	<ul style="list-style-type: none">• Pesar 1g de pectina• Colocar la muestra en el espectrómetro de infrarrojo• Registrar los resultados

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

2.13. Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria

Tabla 16-2: Requerimientos de reactivos

Necesidad	Reactivo
Materia prima	<ul style="list-style-type: none">• Agua• Ácido clorhídrico
Análisis de la pectina o producto final	<ul style="list-style-type: none">• Hidróxido de sodio• Ácido clorhídrico• Alcohol Etilico

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1. Datos

3.1.1. Datos obtenidos mediante la caracterización de la hoja de sábila

Para la caracterización de las hojas de sábila de la familia *Aloe barbadensis miller* se tomó una población de 10 unidades (5 Kg) dando como resultado la siguiente tabla.



Figura 1-3: Muestras tomadas al azar de las hojas de sábila

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

Tabla 1-3: Caracterización de la materia prima

Parámetro	Cantidad
Humedad (%)	92.779
Ceniza (%)	0.51
Densidad (g/ml)	1.25
pH	5.85

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

3.1.2. Determinación del método de hidrólisis ácida

Para establecer cuáles son las mejores condiciones de hidrólisis ácida, se toman en cuenta la temperatura de hidrólisis 70,80,90 grados centígrados y el pH de 1.25, 1.5, 1.75, generando 9 tratamientos con 3 repeticiones cada uno, los cuales se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 2-3: Tratamiento del método de hidrólisis ácida

Bloque	Tratamiento	Materia P. de Ingreso (g)	pH	Temperatura (°C)	Cantidad de producto final (g)	Rendimiento (%)
I	T ₁	50.782	1.25	70	1.100	2.17%
	T ₂	50.042	1.50	70	1.066	2.13%
	T ₃	50.020	1.75	70	1.347	2.69%
	T ₄	52.132	1.25	80	1.671	3.21%
	T ₅	54.841	1.50	80	1.979	3.61%
	T ₆	42.129	1.75	80	1.835	4.36%
	T ₇	50.321	1.25	90	0.264	0.52%
	T ₈	40.072	1.50	90	1.066	2.66%
	T ₉	42.100	1.75	90	1.406	3.34%
II	T ₁	50.009	1.25	70	1.083	2.17%
	T ₂	50.002	1.25	80	1.004	2.01%
	T ₃	50.003	1.25	90	1.023	2.05%
	T ₄	50.001	1.50	70	1.034	2.07%
	T ₅	50.001	1.50	80	1.452	2.90%
	T ₆	50.003	1.50	90	1.103	2.21%
	T ₇	50.004	1.75	70	1.045	2.09%
	T ₈	50.011	1.75	80	1.034	2.07%
	T ₉	50.002	1.75	90	1.305	2.61%
III	T ₁	50.004	1.25	70	1.245	2.49%
	T ₂	50.003	1.25	80	1.105	2.21%
	T ₃	50.102	1.25	90	1.034	2.06%
	T ₄	50.009	1.50	70	1.455	2.91%
	T ₅	50.001	1.50	80	1.502	3.00%
	T ₆	50.023	1.50	90	1.004	2.01%
	T ₇	50.014	1.75	70	1.342	2.68%
	T ₈	50.002	1.75	80	1.405	2.81%
	T ₉	50.003	1.75	90	1.504	3.01%

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

En la Tabla 2-3 se puede evaluar los distintos tratamientos de acuerdo con el pH y Temperatura en la operación de hidrólisis ácida para la obtención de la pectina, se puede apreciar también los rendimientos de los diferentes procedimientos donde el menor rendimiento fue del tratamiento 1 del bloque I con 0.52% y el mayor fue del tratamiento 1 del bloque I con 4.36%, finalmente se obtuvo un promedio de todos los rendimientos de 2.52% lo que equivale a 1.238 g de pectina en promedio.

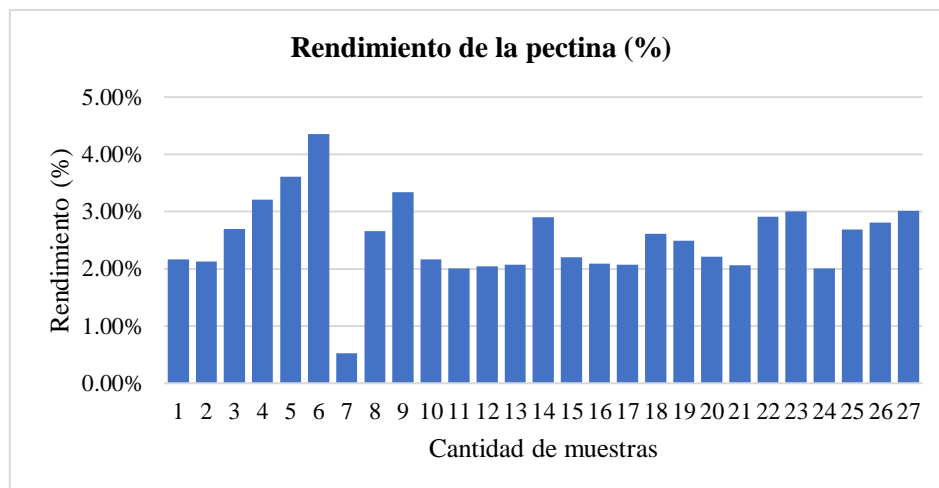


Gráfico 1-3: Rendimiento de la pectina

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

3.1.3. Determinaciones fisicoquímicas y microbiológicas de la pectina

Los análisis fisicoquímicos se aplicaron para las 27 muestras de pectina, empleando los métodos detallados en el capítulo II del presente trabajo, en el laboratorio de Química Orgánica de la Facultad de Ciencias. Los resultados fueron entregados anexados y analizados en Excel, a continuación, se resumen los análisis en las siguientes gráficas.

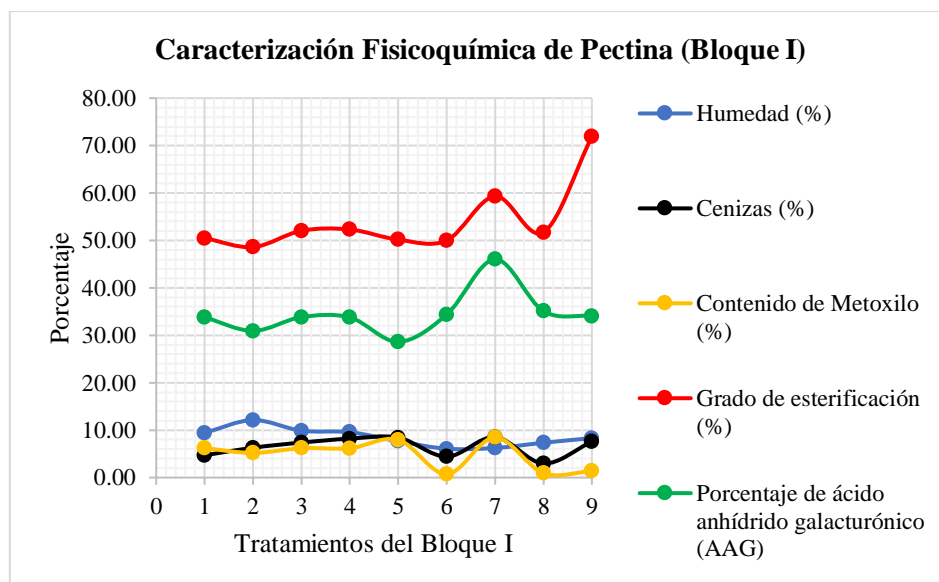


Gráfico 2-3: Caracterización fisicoquímica del Bloque I

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

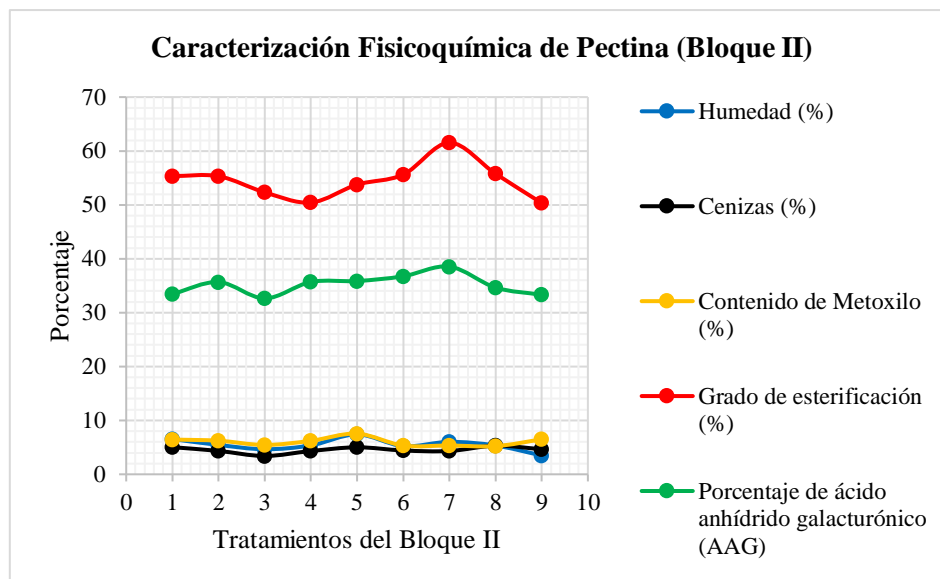


Gráfico 3-3: Caracterización físicoquímica del Bloque II

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

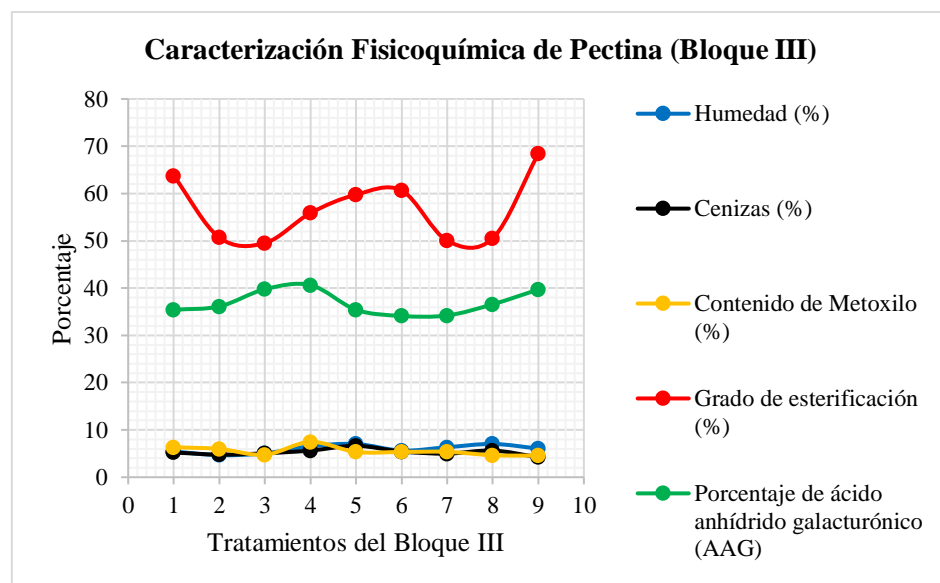


Gráfico 4-3: Caracterización físicoquímica del Bloque III

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

En las Gráficas 3-2 a 3-4 se puede apreciar los resultados de la caracterización físicoquímica de los 27 tratamientos propuestos inicialmente. En el contenido de humedad el T₅ del bloque II con 3.5% es el menor valor y el T₂ del bloque I 12.12% es el mayor; En cuanto a Cenizas el T₈ del bloque I obtuvo 2.98% siendo el menor y el T₇ del bloque I 8.53% el mayor de los 27 tratamientos; En el indicador A. galacturónico el T₇ del bloque I obtuvo 46.03% siendo el mayor y el T₅ del bloque I con 28.63%

se considera como el menor; En el indicador G. de esterificación el T₂ del bloque I obtuvo 48.60% es el menor de los 27 tratamientos y el T₉ del bloque I es el mayor con 71.88%; En cuando al contenido de Metóxilos el T₇ del bloque I obtuvo 8.48% es el mayor y el T₆ del bloque I obtuvo 0.73% es el menor de los 27 tratamientos realizados.

3.1.4. Análisis estadístico para determinar la mejor muestra

Para determinar la mejor muestra obtenida se ha realizado un análisis de varianza de acuerdo con el asistente de diseño de experimento de Minitab y Statgraphics, y a continuación en el gráfico 5-3 se presenta el análisis de la varianza en función del rendimiento obtenido de pectina a partir de la variación de temperatura y el pH, los resultados generales se describen en la Tabla 6-3.

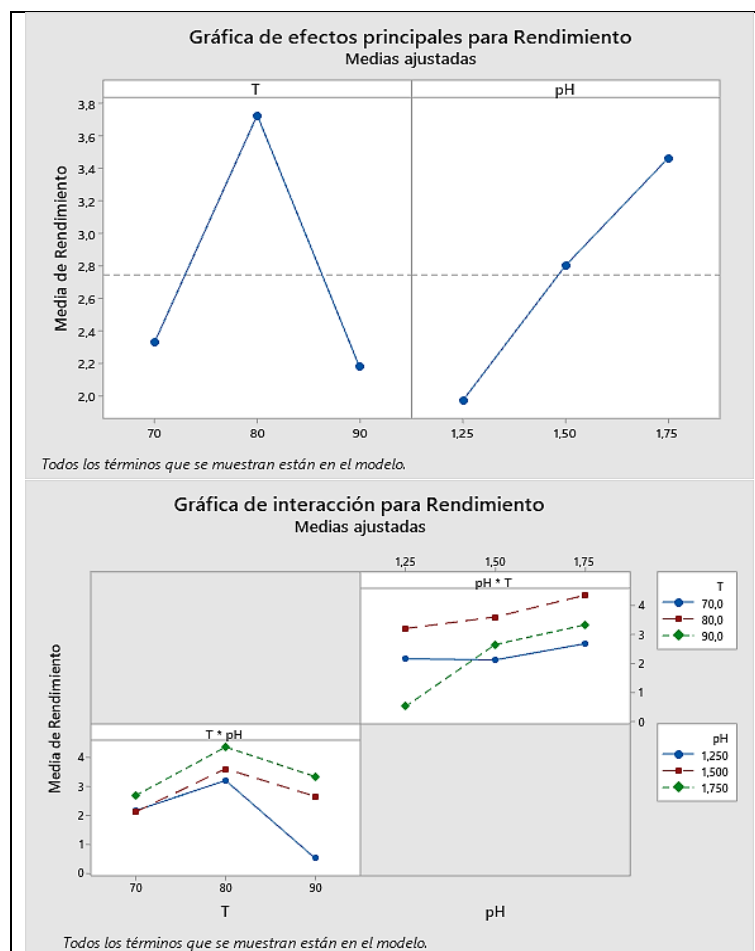


Gráfico 5-3: Gráficos de interacción para el rendimiento

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

Tabla 3-3: Análisis de Varianza ANOVA para el Rendimiento de la pectina.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: pH	3,36002	1	3,36002	19,71	0,0212
B: Temperatura	0,0368167	1	0,0368167	0,22	0,6738
AA	0,01445	1	0,01445	0,08	0,7899
AB	1,3225	1	1,3225	7,76	0,0687
BB	4,35125	1	4,35125	25,53	0,0150
Error total	0,511367	3	0,170456		
Total (corr.)	9,5964	8			

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Rendimiento en piezas separadas para cada uno de los efectos. Entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 2 efectos tienen un valor-P menor que 0,05, indicando que son factores que inciden directamente sobre el rendimiento de la pectina obtenida con un nivel de confianza del 95,0%.

- **Rendimiento de la pectina:**

Tabla 4-3: Resultados Estimados para Rendimiento

Datos	Observados Valores	Ajustados Valores	Inferior 95,0% para Media	Superior 95,0% para Media
1	2.17	2.128	0.949	3.308
2	2.13	2.386	1.407	3.366
3	2.69	2.475	1.296	3.654
4	3.21	2.95	1.971	3.929
5	3.61	3.783	2.804	4.763
6	4.36	4.447	3.467	5.426
7	0.52	0.822	-0.358	2.001
8	2.66	2.230	1.250	3.209
9	3.34	3.468	2.289	4.648

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

La Tabla 4-3 contiene información acerca de los valores de Rendimiento generados usando el modelo ajustado. La tabla incluye:

- (1) Los valores observados de Rendimiento.
- (2) El valor predicho de Rendimiento usando el modelo ajustado
- (3) Intervalos de confianza del 95.0% para la respuesta media

Tabla 5-3: Camino de Máximo Ascenso para Rendimiento

pH	Temperatura (°C)	Predicción para Rendimiento (%)
1.5	80.0	3.78333
2.5	87.0176	6.24935
3.5	94.9644	7.79339
4.5	102.911	8.40997
5.5	-81.4873	-537.959
6.5	-282.88	-2372.03

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

La Tabla 5-3 muestra el trayecto de máximo ascenso (o descenso). Este es el trayecto, desde el centro de la región experimental actual, a través del cual la respuesta estimada cambia más rápidamente con un cambio menor en los factores experimentales. Indica buenas características para ejecutar experimentos adicionales si el objetivo es incrementar o decrementar el Rendimiento. Actualmente, 6 puntos se han generado cambiando pH en incrementos de 1.0.

- **Optimización de la respuesta**

Meta: maximizar rendimiento de pectina

Valor óptimo = 4.48847

Tabla 6-3: Optimización del rendimiento de pectina

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
pH	1.25	1.75	1.75
Temperatura	70.0	90.0	81.71

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

- **Ecuación de rendimiento de la pectina en laboratorio**

Ecuación de rendimiento optimizado para la pectina obtenida en el laboratorio:

$$R = -69.94 - 11.3267(pH) + 2.00717(T) - 1.36(pH)^2 + 0.23(pH)(T) - 0.01475 (T)^2$$

En donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales.

Tabla 7-3: Resultados del análisis optimizado según el rendimiento de la pectina

Tratamiento	CONDICIONES			INDICADORES				
	pH	Temperatura (°C)	N°	Humedad (%)	Cenizas (%)	Contenido de Metoxilo (%)	Grado de esterificación (%)	Porcentaje de ácido anhídrido galacturónico (AAG)
T ₁	1.25	70	3	7.13	4.98	6.33	56.53	34.23
T ₂	1.50	70	3	7.41	5.14	5.80	51.54	34.24
T ₃	1.75	70	3	6.52	5.28	5.47	51.30	35.41
T ₄	1.25	80	3	7.16	6.06	6.62	52.87	36.70
T ₅	1.50	80	3	5.65	4.76	3.80	55.42	33.31
T ₆	1.75	80	3	7.37	6.70	6.95	54.56	39.59
T ₇	1.25	90	3	6.20	5.95	6.40	56.96	35.07
T ₈	1.50	90	3	6.57	4.64	3.60	52.68	35.44
T ₉	1.75	90	3	5.97	5.49	4.14	63.54	35.69

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

Los resultados cumplen con las especificaciones de la Norma Europea E-440 y se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 8-3: Norma E-440

Características	Norma E-440
Humedad	Max. 12%
Cenizas totales	Max 10%
Ácido galacturónico	Min 65%
Grado de metoxilos	Min 6.7%
Grado de esterificación	50% Min (HM)
Aerobios mesófilos viables	Max 5x10 ² UFC/g
Mohos, levaduras	Max 1x10 ² UFC/g

Fuente: (Herbstein & Fox, 2015, p.12).

3.1.5. *Determinación de las características microbiológicas de la pectina obtenida*

Luego de identificar la muestra que cumple con las características fisicoquímicas de la norma E440 se procedió a realizar el análisis microbiológico de ésta. Los resultados corresponden al informe del anexo 3.1.

Según la Norma E440 los parámetros máximos permitidos para Aerobios mesófilos = 500 UFC/g y para Mohos y levaduras = 100 UFC/g. Por lo que las muestras corresponden valores de 110, 100, 115 respectivamente y se asegura así que las tres repeticiones de la muestra obtenidas son aptas para el consumo.

3.1.6. *Datos de la espectroscopía de infrarrojo (IR)*

Para verificar si la estructura de la pectina obtenida a partir de hoja de sábila es similar o idéntica a la pectina comercial se analiza las muestras con el espectrómetro de transformada de Fourier (FT-IR).



Gráfico 6-3: Prueba del IR en el laboratorio de Química Instrumental

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

3.1.6.1. Datos del IR en la pectina comercial

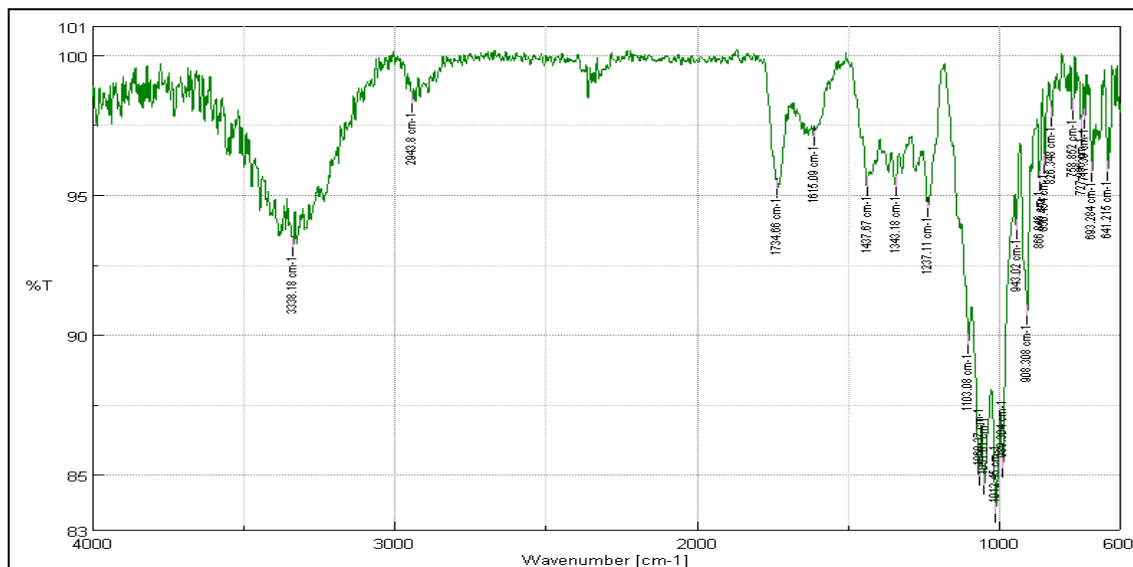


Gráfico 7-3: Pectina comercial IR

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

Tabla 9-3: Datos del IR en la pectina comercial

Wavenumber [cm-1]	%T	Grupo Funcional
3338.18	93.1475	OH
2943.8	98.255	
1734.66	95.222	COOH
1615.09	97.0841	COO-
1437.67	95.2766	
1343.18	95.2787	
1237.11	94.5165	
1103.08	89.661	
1068.37	84.9365	
1051.01	84.6283	
1012.45	83.6109	COC
989.304	85.2284	
943.02	93.7486	
908.308	90.672	
866.846	95.4767	

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

3.1.6.2. Datos del IR en la pectina comercial

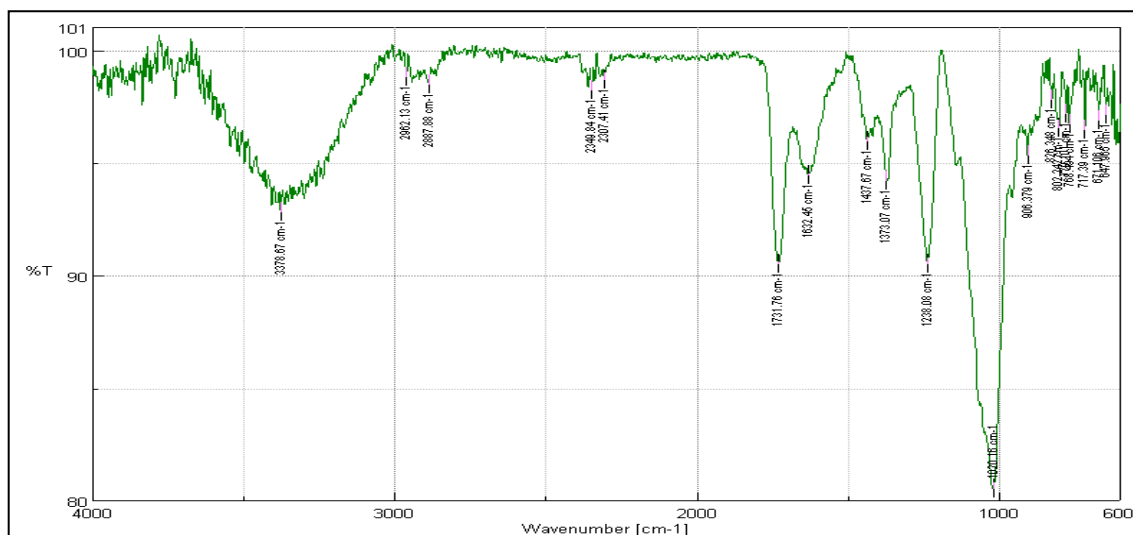


Gráfico 8-3: Pectina obtenida a partir de la hoja de sábila IR

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

Tabla 10-3: Datos del IR en la pectina a partir de la hoja de sábila

Wavenumber [cm-1]	%T	Grupo Funcional
3378.67	92.8208	OH
2962.13	98.834	
2887.88	98.4775	
2349.84	98.2316	
2307.41	98.7041	
1731.76	90.5097	COOH
1632.45	94.4418	COO-
1437.67	95.9882	
1373.07	94.2204	
1238.08	90.5001	
1020.16	80.5486	COC
906.379	95.33	
826.348	97.8196	
802.242	96.5605	

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

En ambos espectros se observa un pico ancho en 3338,18 y 3378,67 cm^{-1} respectivamente y esto se debe a las vibraciones de tensión del grupo O-H. La banda de 2943.8 y en 2962.13 cm^{-1} en cada IR corresponde a la tensión del C-H de los grupos CH_2 .

De acuerdo con Silva, Benites y Gomero (2018), las bandas que permiten determinar del grado de esterificación son aquellas que aparecen aproximadamente entre 1630 cm^{-1} y 1750 cm^{-1} y pertenecen a los grupos de carboxilos libres, permitiendo la identificación de pectinas de alto o bajo contenido de metoxilo, mientras que entre 1000 y 1250 cm^{-1} se presentan las bandas de vibración de tensión asimétrica del grupo C-O-C identificando el grado de esterificación e indican la abundancia de los grupos metoxilos (C-O-C). Los espectros obtenidos presentan un alargamiento acentuado en 1734.66 y 1731.76 cm^{-1} que representan a los grupos carbonilos de los grupos COOH y de los grupos acetilos (COOCH_3) de la pectina. La presencia de ambas bandas confirma el alto grado de esterificación y por lo tanto se consideraría como pectina de alto metoxilo. Se manifiestan unos picos en 1012.45 y 1020.16 cm^{-1} respectivamente que confirma un alto grado de esterificación en ambas muestras.

3.1.7. Datos de secado de la Pectina

El secado de la pectina se realizó en un secador de bandejas a una temperatura de 45°C hasta lograr peso constante.

Tabla 11-3: Datos experimentales de secado

Tiempo (h)	Peso Pectina (Kg)
0	0.019225
0.5	0.015401
1.0	0.011639
1.5	0.009357
2.0	0.008700
2.5	0.007529
3.0	0.007213
3.5	0.006576
4.0	0.005399
4.5	0.005081
5.0	0.004016
5.5	0.004021
6.0	0.003911
6.5	0.003773
7.0	0.003103
7.5	0.002729
8.0	0.002493
8.5	0.001452
9.0	0.000918
9.5	0.000908
10.0	0.000908

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

Tabla 12-3: Datos de sólido seco y área de secado

Parámetro	Cantidad	Unidad	Representación
Sólido seco	0.00098	kg	S
Área de secado	0.0456	m ²	A

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

3.1.7.1. Velocidad de secado de la pectina

- *Humedad base seca*

$$x_{BS} = \frac{\text{masa de agua}}{\text{masa sólido seco}} \quad \text{Ec. 1-3}$$

- *Humedad media*

$$\bar{x} = \frac{x_n + x_{n+1}}{2} \quad \text{Ec. 2-3}$$

- *Variación del tiempo*

$$\Delta\theta = \theta_n + \theta_{n+1} \quad \text{Ec. 3-3}$$

- *Variación de humedad*

$$\Delta x = x_n + x_{n+1} \quad \text{Ec. 4-3}$$

- *Velocidad de secado*

$$W = \frac{S}{A} \left(-\frac{dx}{d\theta} \right) \quad \text{Ec. 5-3}$$

Tabla 13-3: Datos de velocidad de secado

Tiempo (h)	Peso Pectina (Kg)	Humedad en base seca (x_{BS}) [Kg agua/Kg s. s]	Humedad media (\bar{x})	Diferencial de humedad ($-\frac{dx}{dt}$)	Velocidad de secado (W) [Kg/h]
0.0	0.0192	20.1729	18.0672	8.4229	0.1677
0.5	0.0154	15.9614	13.8899	8.2863	0.1650
1.0	0.0116	11.8183	10.5617	5.0264	0.1001
1.5	0.0094	9.3051	8.9433	1.4471	0.0288
2.0	0.0087	8.5815	7.9367	2.5793	0.0514
2.5	0.0075	7.2919	7.1178	0.6960	0.0139
3.0	0.0072	6.9438	6.5930	1.4031	0.0279
3.5	0.0068	6.2422	5.5941	2.5925	0.0516
4.0	0.0054	4.9460	4.7709	0.7004	0.0139
4.5	0.0050	4.5958	4.0093	2.3458	0.0467
5.0	0.0040	3.4229	3.4257	-0.0110	-0.0002
5.5	0.0040	3.4284	3.3678	0.2423	0.0048
6.0	0.0039	3.3072	3.2313	0.3040	0.0061
6.5	0.0038	3.1552	2.7863	1.4758	0.0294
7.0	0.0031	2.4174	2.2114	0.8238	0.0164
7.5	0.0027	2.0055	1.8756	0.5198	0.0104
8.0	0.0025	1.7456	1.1724	2.2930	0.0457
8.5	0.0015	0.5991	0.3051	1.1762	0.0234
9.0	0.0009	0.0110	0.0055	0.0220	0.0004
9.5	0.0009	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10.0	0.0009	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

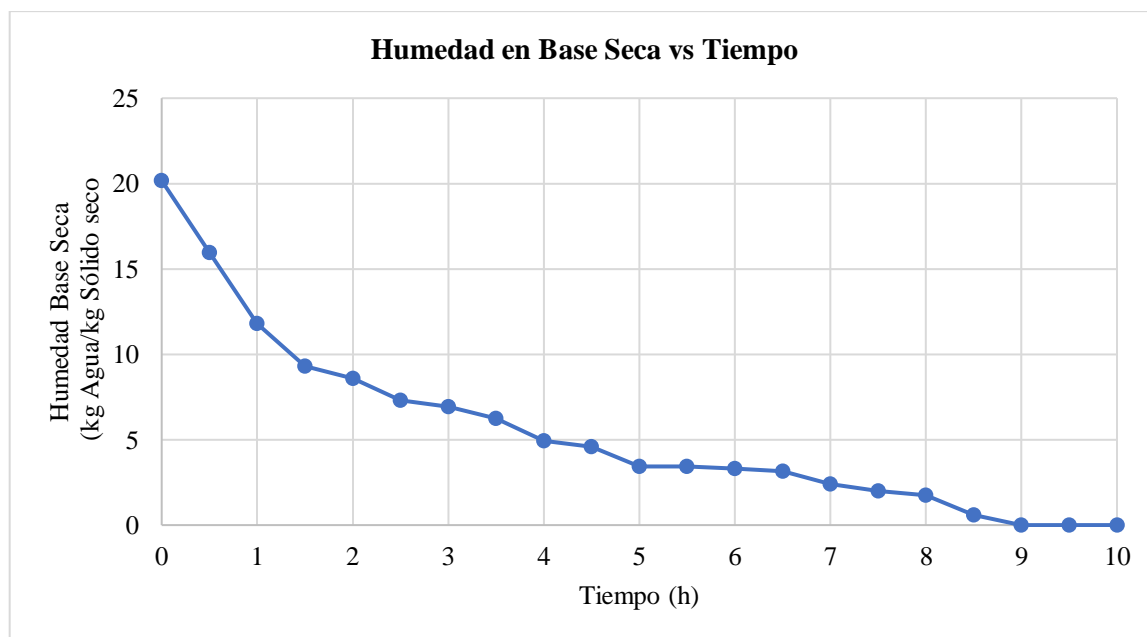


Gráfico 9-3: Diagrama de Humedad en base seca vs Tiempo

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

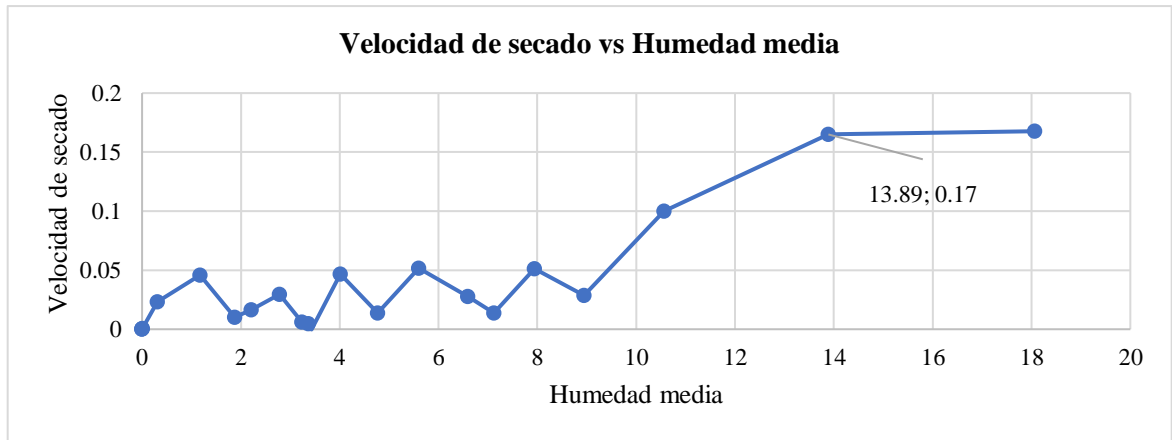


Gráfico 10-3: Diagrama de Velocidad de secado vs Humedad media

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

De los Gráficos 8-3 y 9-3 se describe la velocidad de secado de la pectina en función de la humedad en base seca, es decir kilogramos de agua por kilogramo de pectina seca en el tiempo; el gráfico Gráficos 8-3 evidencia un tiempo total de secado para la pectina de 10 horas; en el gráfico 9-3 relaciona la velocidad de secado en función de la humedad media, esta gráfica describe una pérdida constante de humedad al inicio del proceso de secado siendo de 13,89 Kg agua/ Kg pectina a velocidad de secado de 0,17 Kg de pectina seca/h luego de 0,5 h del proceso de secado; hasta lograr secar completamente la pectina luego de 10 horas como se calcula en el siguiente apartado.

3.1.7.2. Tiempo de secado de la pectina

- *Tiempo de Deshidratación*

$$\theta = \frac{S}{A} \int_{x_f}^{x_i} \left(\frac{dx}{W} \right) \quad \text{Ec. 6-3}$$

- *Periodo antecrítico*

$$\theta_{\text{antecrítico}} = \frac{S (x_0 - x_c)}{A W} \quad \text{Ec. 7-3}$$

$$\theta_{\text{antecrítico}} = \frac{0,00098 \text{ kg sólido seco} (20,173 - 15,961)}{0,0456 \text{ m}^2 \quad 0,165}$$

$$\theta_{\text{antecrítico}} = 0,54 \text{ h}$$

- *Periodo postcrítico*

$$\theta_{\text{postcrítico}} = \frac{S}{A} * 247,67 * \ln \left(\frac{20,173 + 3,75}{0,1001 + 3,75} \right) \quad \text{Ec. 8-3}$$

$$\theta_{postcritico} = \frac{0,00098 \text{ kg sólido seco}}{0,0456 \text{ m}^2} * 247,67 * \ln\left(\frac{20,173 + 3,75}{0,1001 + 3,75}\right)$$

$$\theta_{antecritico} = 9,72 \text{ h}$$

- *Tiempo total de secado de pectina*

$$\theta_{total} = \theta_{antecritico} + \theta_{postcritico} \quad \text{Ec. 9-3}$$

$$\theta_{total} = 0,54 \text{ h} + 9,72 \text{ h}$$

$$\theta_{total} \approx 10 \text{ h}$$

3.2. Cálculos de ingeniería

3.2.1. Dimensionamiento de la planta

Tomando en cuenta que la demanda nacional de pectina en el Ecuador hasta el 2016 fue de 53,12 toneladas (Almeida, 2017, p.36). Se calcula la producción diaria a escala piloto de la planta de producción de pectina a partir de las cáscaras de *Aloe barbadensis miller*.

$$\text{Producción anual} = 53,12 \frac{t}{\text{año}}$$

$$\text{Producción mensual} = 53,12 \frac{t}{\text{año}} \times \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} = 4,43 \frac{t}{\text{mes}}$$

$$\text{Producción diaria} = 4,43 \frac{t}{\text{mes}} \times \frac{1 \text{ mes}}{20 \text{ días}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ t}} = 222 \frac{\text{Kg}}{\text{día}}$$

3.2.2. Rendimiento de la pectina a escala de laboratorio

Tabla 14-3: Rendimiento de la pectina a escala de laboratorio

Código de la muestra	Peso materia prima ingreso (g)	pH	T (°C)	Tiempo Secado (h)	Peso pectina obtenida (g)	Rendimiento (%)
M1	50.782	1.25	70	11	1.099	2.17
M2	50.042	1.50	70	12	1.066	2.13
M3	50.020	1.75	70	13	1.347	2.69
M4	52.132	1.25	80	13	1.671	3.21
M5	54.841	1.50	80	14	1.978	3.61
M6	42.129	1.75	80	11	1.835	4.36
M7	50.321	1.25	90	9	0.263	0.52
M8	40.072	1.50	90	10	1.066	2.66
M9	42.100	1.75	90	10	1.406	3.34

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

$$\text{Rendimiento}(\%) = \frac{\text{Cantidad de pectina obtenida}}{\text{Cantidad de cáscara de Aloe vera al ingreso}} * 100 \quad \text{Ec. 10-3}$$

$$\text{Rendimiento}(\%) = \frac{1,835 \text{ g}}{42,129} * 100$$

$$\text{Rendimiento}(\%) = 4,36$$

Obtenido el dato del rendimiento de la pectina a nivel laboratorio se puede estimar, cuanto de pectina se obtendrá al final del proceso al ingresar 222 kg de materia prima al día.

$$\text{Cantidad de pectina obtenida} = \frac{\text{Rendimiento}(\%) * \text{Cantidad de cáscara de Aloe vera al ingreso}}{100} \quad \text{Ec. 11-3}$$

$$\text{Cantidad de pectina obtenida} = \frac{4,36 (222 \text{ Kg})}{100}$$

$$\text{Cantidad de pectina obtenida} = 9,68 \text{ Kg}$$

Considerado una humedad del 92,779 % valor obtenido durante la caracterización del Aloe vera, se obtiene la masa a ingresar en el proceso.

$$m_{CH} = \frac{\text{Cantidad de cáscara de Aloe vera al ingreso}(\text{kg})}{\text{Cantidad de cáscara de Aloe vera sin humedad}} \quad \text{Ec. 12-3}$$

$$m_{CH} = \frac{222 \text{ Kg}}{7,221}$$

$$m_{CH} = 30,74 \text{ Kg}$$

3.2.3. Tanque de Lavado

$$V_{\text{Cáscara de Aloe vera TL}} = \frac{V_e * F}{F_i} \quad \text{Ec. 13-3}$$

$$V_{\text{Cáscara de Aloe vera TL}} = \frac{0,280 \text{ L} * 222 \text{ Kg/Lote}}{0,042}$$

$$V_{\text{Cáscara de Aloe vera TL}} = 1480 \text{ L/Lote}$$

Donde:

$V_{\text{Cáscara de Aloe vera TL}}$: Volumen a ocupar de la cáscara de Aloe vera con agua (L)

V_e : Volumen experimental cantidad de agua

F : Flujo de materia prima que ingresa al proceso (kg/lote)

F_i : Cantidad de materia prima experimental de ingreso al proceso (kg)

- *Volumen total de carga del Reactor*

$$Densidad_{Av} = 1,25 \text{ Kg/L}$$

$$V_{CR} = V_{Cáscara \text{ de Aloe vera } L} + m_{CH} * Densidad_{Av} \quad \text{Ec. 14-3}$$

$$V_{CR} = 1480 \text{ L} + 30,74 \text{ Kg} \left(\frac{1 \text{ L}}{1,25 \text{ Kg}} \right)$$

$$V_{CR} = 1504,59 \text{ L}$$

- *Volumen total del Tanque de Lavado*

$$V_{TL} = V_{CR} * 1,1 \quad \text{Ec. 15-3}$$

$$V_{TL} = 1504,59 \text{ L} * 1,1$$

$$V_{TL} = 1655,05 \text{ L/lote}$$

$$V_{TL} = 1,66 \text{ m}^3/\text{lote}$$

Donde:

V_{TL} : Volumen total del Tanque de Lavado (L)

$V_{Cáscara \text{ de Aloe vera } TL}$: Volumen a ocupar de la cáscara de Aloe vera con agua (L)

m_{CH} : cantidad cáscara húmeda (Kg)

1,1: Factor de seguridad considerando el 10 %

- *Diámetro interno del tanque de lavado*

$$\Phi_{i TL} = \sqrt[3]{\frac{12 * V_{TL}}{\pi * 4,6}} \quad \text{Ec. 16-3}$$

$$\Phi_{i TL} = \sqrt[3]{\frac{12 * 1,66}{\pi * 4,6}}$$

$$\Phi_{i TL} = 1,11 \text{ m}$$

Donde:

V_{TLDI} : Volumen total del Tanque de Lavado (m^3)

$\Phi_{i TLDI}$: Diámetro interno del Tanque de Lavado (m)

- *Altura del tanque (m)*

$$h_{TL} = 1,2 * \phi_{iTL}$$

Ec. 17-3

$$h_{TL} = 1,2 * 1,11$$

$$h_{TL} = 1,33 \text{ m}$$

Donde:

h_{TLDI} : Altura Tanque de Lavado (m³)

ϕ_{iTLDI} : Diámetro interno del Tanque de Lavado(m)

3.2.4. *Máquina de Cortado*

La máquina de cortado no tiene ecuaciones, pero se ha seleccionado la más adecuada para procesar la materia prima (cáscaras de Aloe vera) la misma que cumple con las siguientes especificaciones.

Tabla 15-3: Especificaciones técnicas de la máquina cortadora de Aloe vera

Especificaciones	Descripción general
Fabricante	Hento Machinery
Modelo	HT-LQ500
Precio (USD)	850
Capacidad (Kg/h)	250-500
Potencia (Kw)	0.75
Dimensión (L*W*H) (mm)	1000*610*1000
Material	Acero inoxidable (AISI 304)

Fuente: (Alibaba, 2021, párr. 2).

3.2.5. *Tanque de Inactivación Enzimática*

Para el tanque de inactivación enzimática se utilizan las mismas dimensiones del tanque de lavado y se incluye una chaqueta de calentamiento.

$$V_{TL} = 1,66 \frac{m^3}{lote}$$

$$\phi_{iTL} = 1,11 \text{ m}$$

$$h_{TL} = 1,33 \text{ m}$$

- *Altura de la chaqueta de calentamiento*

$$h_{chaq} = \frac{h}{F_S} \quad \text{Ec. 18-3}$$

$$h_{chaq} = \frac{1,33 \text{ m}}{1,1}$$

$$h_{chaq} = 1,21 \text{ m}$$

Donde:

h_{chaq} : Altura Chaqueta de calentamiento (m)

h : Altura del tanque (m)

F_S : Factor de seguridad tomando en cuenta el 10 %

- *Espesor de la chaqueta de calentamiento*

$$\emptyset_{chaq} = 1,1 * \emptyset_i \quad \text{Ec. 19-3}$$

$$h_{chaq} = 1,1 (1,11 \text{ m})$$

$$\emptyset_{chaq} = 1,22 \text{ m}$$

$$e_{chaq} = \emptyset_{chaq} - \emptyset_i \quad \text{Ec. 20-3}$$

$$e_{chaq} = 1,22 \text{ m} - 1,11 \text{ m}_i$$

$$e_{chaq} = 0,11 \text{ m}$$

Donde:

$\emptyset_{chaqueta}$: Espesor de la chaqueta de calentamiento (m)

\emptyset_i : Diámetro interno del tanque (m)

F_S : Factor de seguridad tomando en cuenta el 10 %

- *Tiempo estimado de calentamiento*

Los rangos del coeficiente de transferencia de calor para el calentamiento con chaqueta oscilan de 500 a 700 $\left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right)$ para soluciones acuosas diluidas, el más utilizado es el valor de 500 $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$. También recomienda utilizar vapor saturado a 150 psi y 182,62 °C como fluido de calentamiento (Sinnott, 2005; citado en Galeas, (2015, p. 189).

Área de transferencia de calor:

$$A = 2\pi rh = 2\pi \left(\frac{1,11m}{2}\right)(1,33m) = 4,64m^2$$

$$\theta = \frac{\ln \frac{(T_1 - t_1)}{(T_1 - t_2)}}{\frac{U * A}{m * Cp}}$$

Ec. 21-3

$$\theta = \frac{\ln \frac{(181,62 - 18)}{(181,62 - 100)}}{\frac{(500 * 4,64)}{(834,70 * 1,008)}}$$

$$\theta = 0,25h = 15min$$

$$\theta = 15min + 60min = 75min$$

Donde:

T_1 : Temperatura de saturación del vapor a 150 psi ($^{\circ}C$)

t_1 : Temperatura de entrada de agua al equipo ($^{\circ}C$)

t_2 : Temperatura de salida de agua al equipo ($^{\circ}C$)

U : Coeficiente de calor para el calentamiento con chaqueta ($\frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C}$)

A : Área de transferencia de calor (m^2)

m : Cantidad de la solución ácida (Kg)

Cp : Capacidad calorífica del agua (KJ/kg. $^{\circ}C$)

3.2.6. Tanque de Hidrólisis Ácida

$$V_{\text{Cáscara de Aloe vera HA}} = \frac{V_e * F}{F_i}$$

Ec. 22-3

$$V_{\text{Cáscara de Aloe vera HA}} = \frac{0,455 L * 222 Kg/Lote}{0,042}$$

$$V_{\text{Cáscara de Aloe vera HA}} = 2405 L/Lote$$

Donde:

$V_{\text{Cáscara de Aloe vera HA}}$: Volumen a ocupar de la cáscara de Aloe vera con agua (L)

V_e : Volumen experimental cantidad de agua

F : Flujo de materia prima que ingresa al proceso (kg/lote)

F_i : Cantidad de materia prima experimental de ingreso al proceso (kg)

- *Volumen a ocupar del HCl para obtener un pH 1.75*

$$V_{HCl\ 37\%} = \frac{V_{e,HCl} * V_{Cáscara\ de\ Aloe\ vera\ HA}}{V_e} \quad \text{Ec. 23-3}$$

$$V_{HCl\ 37\%} = \frac{0,00091\ L * 2405\ L}{0,455\ L}$$

$$V_{HCl\ 37\%} = 4,81\ L$$

Donde:

$V_{HCl\ 37\%}$: Volumen a ocupar de HCl para obtener un pH 1.75 (L)

$V_{e,HCl}$: Volumen experimental cantidad de ácido clorhídrico (L)

$V_{Cáscara\ de\ Aloe\ vera\ HA}$: Volumen a ocupar de la cáscara de Aloe vera con agua (L)

V_e : Volumen experimental cantidad de agua (L)

- *Volumen total de carga del Reactor*

$$Densidad_{Av} = 1,25\ Kg/L$$

$$V_{CR} = V_{Cáscara\ de\ Aloe\ vera\ HA} + V_{HCl\ 37\%} + m_{CH} * Densidad_{Av} \quad \text{Ec. 24-3}$$

$$V_{CR} = 2405\ L + 4,81\ L + 30,74\ Kg \left(\frac{1\ L}{1,25\ Kg} \right)$$

$$V_{CR} = 2434,40\ L$$

- *Volumen total del Tanque de Hidrólisis Ácida*

$$V_{THA} = V_{CR} * 1,1 \quad \text{Ec. 25-3}$$

$$V_{THA} = 2434,40\ L * 1,1$$

$$V_{THA} = 2677,84\ L/lote$$

$$V_{THA} = 2,68\ m^3/lote$$

Donde:

V_{THA} : Volumen total del Tanque de Hidrólisis Ácida (L)

$V_{Cáscara\ de\ Aloe\ vera\ HA}$: Volumen a ocupar de la cáscara de Aloe vera con agua (L)

m_{CH} : cantidad cáscara húmeda (Kg)

1,1: Factor de seguridad considerando el 10 %

- *Diámetro interno del Tanque de Hidrólisis Ácida*

$$\Phi_{i\ THA} = \sqrt[3]{\frac{12 * V_{THA}}{\pi * 4,6}} \quad \text{Ec. 26-3}$$

$$\Phi_{i\ THA} = \sqrt[3]{\frac{12 * 2,68}{\pi * 4,6}}$$

$$\Phi_{i\ THA} = 1,31\ m$$

Donde:

V_{TLDI} : Volumen total del Tanque de Hidrólisis Ácida (m³)

$\Phi_{i\ TLDI}$: Diámetro interno del Tanque de Hidrólisis Ácida (m)

- *Altura del tanque de Hidrólisis Ácida*

$$h_{THA} = 1,2 * \Phi_{i\ THA} \quad \text{Ec. 27-3}$$

$$h_{THA} = 1,2 * 1,31\ m$$

$$h_{THA} = 1,57\ m$$

Donde:

h_{THA} : Altura Tanque de Hidrólisis Ácida (m³)

$\Phi_{i\ THA}$: Diámetro interno del Tanque de Hidrólisis Ácida (m)

- *Altura de la chaqueta de calentamiento*

$$h_{chaq} = \frac{h_{THA}}{1,1} \quad \text{Ec. 28-3}$$

$$h_{chaq} = \frac{1,57\ m}{1,1}$$

$$h_{chaq} = 1,43\ m$$

Donde:

h_{chaq} : Altura Chaqueta de calentamiento (m)

h_{THA} : Altura Tanque de Hidrólisis Ácida (m³)

1,1: Factor de seguridad tomando en cuenta el 10 %

- *Espesor de la chaqueta de calentamiento*

$$\phi_{chaq} = 1,1 * \phi_i \quad \text{Ec. 29-3}$$

$$h_{chaq} = 1,1 (1,31 m)$$

$$\phi_{chaq} = 1,44 m$$

$$\begin{aligned} e_{chaq} &= \phi_{chaq} - \phi_i \\ e_{chaq} &= 1,44 m - 1,31 m_i \\ e_{chaq} &= 0,13m \end{aligned} \quad \text{Ec. 30-3}$$

Donde:

$\phi_{chaqueta}$: Espesor de la chaqueta de calentamiento (m)

ϕ_i : Diámetro interno del tanque (m)

1,1: Factor de seguridad tomando en cuenta el 10 %

- *Sistema de Agitación*

Para el sistema de agitación se ha tomado encuentra los agitadores de turbina, ya que los mismos combinan flujos radiales y axiales con aspas de 45 ° de inclinación, el tipo turbina es útil para sólidos en suspensión ya que las corrientes fluyen hacia abajo y luego levantan los sólidos depósitos.

- *Diámetro del rodete*

$$\phi_{rodete} = \frac{3}{4} * \phi_i \quad \text{Ec. 31-3}$$

$$\phi_{rodete} = \frac{3}{4} (1,31 m)$$

$$\phi_{rodete} = 0,98 m$$

Donde:

ϕ_{rodete} : Diámetro del rodete (m)

ϕ_i : Diámetro interno del tanque (m)

- *Longitud del brazo*

$$L_{brazo} = \frac{5}{8} * \phi_i \quad \text{Ec. 32-3}$$

$$L_{brazo} = \frac{5}{8} (1,31 \text{ m})$$

$$L_{brazo} = 0,82 \text{ m}$$

Donde:

L_{brazo} : Longitud del brazo (m)

ϕ_i : Diámetro interno del tanque (m)

- *Espesor del rodete*

$$e_{rodete} = \frac{1}{10} * L_{brazo} \quad \text{Ec. 33-3}$$

$$e_{rodete} = \frac{1}{10} (0,82 \text{ m})$$

$$e_{rodete} = 0,082 \text{ m}$$

Donde:

e_{rodete} : Espesor del rodete (m)

L_{brazo} : Longitud del brazo (m)

- *Distancia entre el rodete y el fondo del tanque*

Facilita la agitación y homogenización

$$D_{RF} = h_{THA} - L_{brazo} \quad \text{Ec. 34-3}$$

$$D_{RF} = 1,57 \text{ m} - 0,82 \text{ m}$$

$$D_{RF} = 0,75 \text{ m}$$

Donde:

D_{RF} : Distancia entre el rodete y el fondo del tanque (m)

h_{THA} : Altura Tanque de Hidrólisis Ácida (m³)

L_{brazo} : Longitud del brazo (m)

- *Agitador*

El impulsor del agitador se diseñó considerando las relaciones geométricas establecidas McCabe et al., (2007), Singh y Heldman (2009) y Galeas (2015), definidas en relación del agitador y del reactor como se describe a continuación.

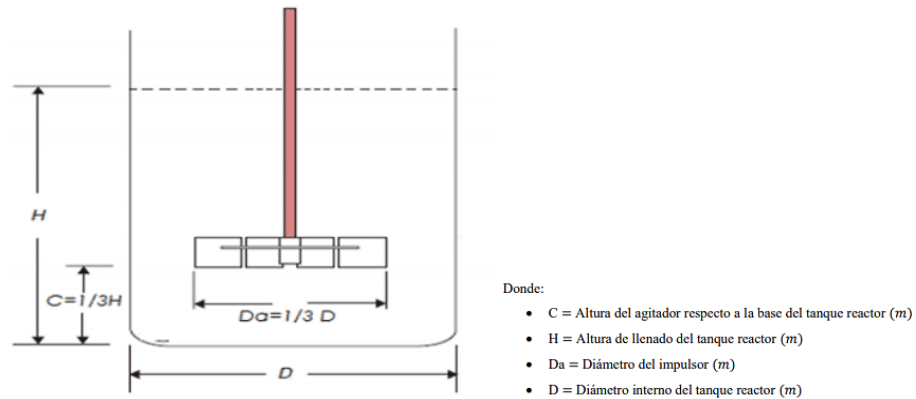


Figura 2-3: Relaciones geométricas del agitador y reactor

Fuente: (Galeas, 2015, p.160).

Altura de llenado del tanque reactor (H)

Corresponde a la altura que ocupa el agua acidulada y la cáscara de Aloe vera.

$$V_{CR} = 2434,40 \text{ L} = 2,43 \text{ m}^3$$

$$H = \frac{V_{CR}}{\left(\frac{\phi_i}{2}\right)^2 * \pi}$$

Ec. 35-3

$$H = \frac{2,43}{\left(\frac{1,31}{2}\right)^2 * \pi}$$

$$H = 1,80 \text{ m}$$

Diámetro interno del tanque reactor (D)

$$D = \phi_i = 1,31 \text{ m}$$

Diámetro del impulsor (Da)

$$Da = \frac{1}{3} * D \quad \text{Ec. 36-3}$$
$$Da = \frac{1}{3}(1,31m)$$
$$Da = 0,44m$$

Altura del agitador respecto a la base del tanque reactor (C)

$$C = \frac{1}{3} * H \quad \text{Ec. 37-3}$$
$$C = \frac{1}{3}(1,80m)$$
$$C = 0,60m$$

- *Altura y longitud de las Paletas*

Para el ancho y longitud de las paletas se tomó en cuenta las correlaciones según el diámetro del tanque reactor, aplicando las correlaciones de la siguiente figura.

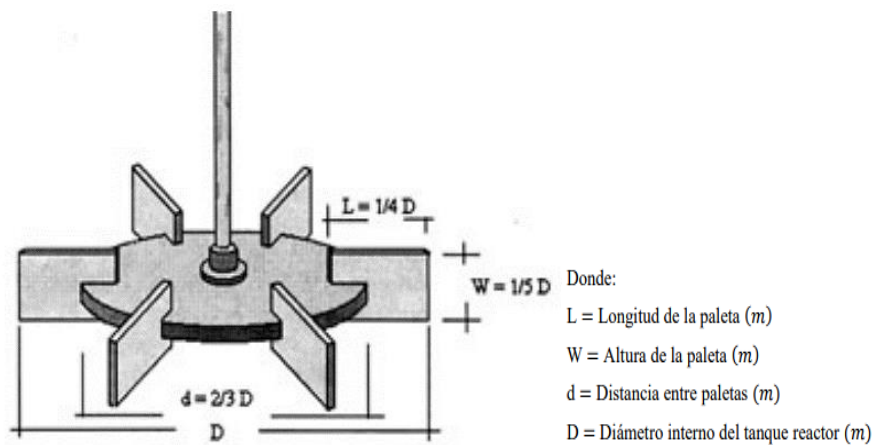


Figura 3-3: Correlaciones de ancho y diámetro de las paletas

Fuente: (Briceno y Cobos, 2004, p.127).

Longitud de la paleta (L)

$$L = \frac{1}{4} * D$$

Ec. 38-3

$$L = \frac{1}{4}(1,31m)$$

$$L = 0,33m$$

Altura de la paleta (W)

$$W = \frac{1}{4} * D$$

Ec. 39-3

$$W = \frac{1}{5}(1,31m)$$

$$W = 0,26m$$

Distancia entre paletas (d)

$$d = \frac{2}{3} * D$$

Ec. 40-3

$$d = \frac{2}{3}(1,31m)$$

$$d = 0,87m$$

- *Potencia del impulsor*

La potencia del impulsor se calculó en base a la relación definida por McCabe (2007) en las siguientes ecuaciones.

Número de Reynolds

Para determinar el número de Reynolds se considera un valor velocidad de rotación 30 a 500 rpm de acuerdo a este tipo de agitador industrial, para los cálculos se tomó el valor de 250 rpm.

Datos Adicionales

Densidad de la solución ácida, alcohol etanol.

$$\rho_{\text{soln ácida 1}} = \frac{0,91 \text{ ml HCl}_{37\%} * 1,19 \frac{\text{g}}{\text{ml}} + 249,22 \text{ ml H}_2\text{O} * 0,999 \frac{\text{g}}{\text{ml}}}{250 \text{ ml solución}} * D \quad \text{Ec. 41-3}$$
$$\rho_{\text{soln ácida 1}} = 1,0002 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$
$$\rho_{\text{soln ácida 1}} = 1000,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Densidad de la suspensión (cáscaras de sábila – agua acidulada- alcohol etanol)

$$\rho_{\text{suspensión 1}} = \frac{22570,2 \text{ L solución} * 1000,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} + 222 \text{ kg}}{35471,60 \text{ L solución}} * D \quad \text{Ec. 42-3}$$
$$\rho_{\text{suspensión 1}} = 0,64268 \frac{\text{kg}}{\text{L}}$$
$$\rho_{\text{suspensión 1}} = 642,68 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$N_{RE} = \frac{Da^2 * n * \rho_{\text{suspensión 1}}}{\mu} \quad \text{Ec. 43-3}$$
$$N_{RE} = \frac{(0,44\text{m})^2 * 250 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{1\text{min}}{60\text{s}} * 642,68 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{93 \text{ cp} * \frac{0,001\text{kg/ms}}{\text{cp}}}$$
$$N_{RE} = 5574,5$$
$$N_{RE} = 5,5 \times 10^3$$

Número de potencia

Para obtener el valor de numero de potencia se observa con el valor de $N_{RE} = 5,5 \times 10^3$ y la curva de las palas planas según corresponda según la siguiente figura.

$$N_p = 4$$

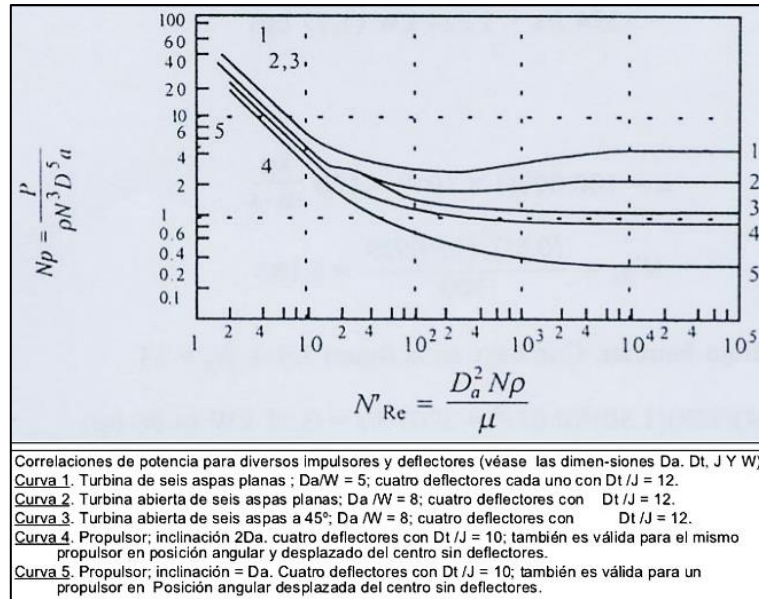


Figura 4-3: Comportamiento del número de potencia

Fuente: (McCabe et al, 2007; citado en Galeas, 2015, p. 162).

Potencia del Agitador

$$P = N_p * n^3 * D a^5 * \rho_{suspensión 1}$$

Ec. 44-3

$$P = (4) \left(250 \frac{rev}{min} * \frac{1 min}{60s} \right)^3 (0,44m)^5 \left(642,68 \frac{kg}{m^3} \right)$$

$$P = 3066,79 W$$

$$P = 3,06 kW * \frac{1 HP}{0,746kW} = 4,10 HP$$

La potencia del agitador se multiplica por un factor de seguridad del 15 %

$$P = 4,10 HP * 1,15$$

$$P = 4,72 HP$$

$$P = 5 HP$$

Donde:

P: Potencia del Agitador

N_p : Numero de potencia

n: Velocidad de agitación

Da: Diámetro del impulsor

$\rho_{suspensión 1}$: Densidad de la suspensión (cáscara, solución ácida)

- *Estimación de tiempo de calentamiento en el recipiente enchaquetado*

Temperatura del agua (18 °C)

Número de Reynolds

$$N_{RE} = \frac{\rho * n * \phi_{rodete}^2}{\mu} \quad \text{Ec. 45-3}$$

$$N_{RE} = \frac{\left(998,595 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(250 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{1\text{min}}{60\text{s}}\right) (0,98 \text{ m})^2}{0,00105 \frac{\text{kg}}{\text{ms}}}$$

$$N_{RE} = 3805756,5$$

Donde:

N_{RE} : Número de Reynolds

ρ : Densidad del Agua a 18 °C

n : Velocidad de Agitación

ϕ_{rodete}^2 : Diámetro del rodete

μ : Viscosidad del agua a 18 °C

Número de Prandtl

$$NP = \frac{Cp * \mu}{k} \quad \text{Ec. 46-3}$$

$$NP = \frac{\left(1,002 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right) \left(3,618 \frac{\text{kg}}{\text{mh}}\right)}{0,513 \frac{\text{Kcal}}{\text{m h k}}}$$

$$NP = 7,06$$

Donde:

NP : Número de Prandtl

Cp : Calor específico

μ : Viscosidad del agua a 18 °C

k : Conductividad térmica

Número de Nusselt - Coeficiente individual de transferencia de calor

$$N_{nusselt} = \frac{h_t * \Phi_{iTHA}}{k} = a(N_{RE})^b(NP)^c \left(\frac{\mu}{\mu_1} \right)^M \quad \text{Ec. 47-3}$$

$$h_t = \frac{a(N_{RE})^b(NP)^c \left(\frac{\mu}{\mu_1} \right)^M * k}{\Phi_{iTHA}}$$

$$h_t = \frac{0,53 (3805756,5)^{0,67} (7,06)^{0,33} \left(\frac{0,001054}{0,000282} \right)^{0,24} * 0,513}{1,31}$$

$$h_t = 13916,97$$

Donde:

$N_{nusselt}$: Número de Nusselt

h_t : Coeficiente individual de transferencia de calor ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

Φ_{iTHA} : Diámetro interno del tanque de hidrólisis ácida (m)

k : Conductividad térmica ($Kcal/m \text{ h } ^\circ K$)

N_{RE} : Número de Reynolds

NP : Número de Prandtl

μ : Viscosidad del agua a 18 $^\circ C$ (kg/ms)

μ_1 : Viscosidad del agua a 100 $^\circ C$ (kg/ms)

a, b, c, M son valores que según son constantes para correlación de Nusselt, en nuestro caso para turbina de aspas dispersas son los siguientes: c= 0,33, a=0,53, b=0,67 y M=0.24.

Coeficiente global limpio al interior del tanque de hidrólisis ácida

$$h_{gl} = \frac{h_t * h_{ch}}{h_t + h_{ch}} \quad \text{Ec. 48-3}$$

$$h_{gl} = \frac{13916,97 * 500}{13916,97 + 500}$$

$$h_{gl} = 482,66 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$$

Donde:

h_{gl} : Coeficiente global limpio al interior de tanque ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

h_t : Coeficiente individual de transferencia de calor ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

h_{ch} : Coeficiente individual de transferencia de calor de la chaqueta ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

El valor de h_{ch} oscila entre 500 a 700 ($\frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$) pero el más utilizado es el valor de $500 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$ (Galeas, 2015, p. 189).

Coeficiente global sucio al interior del tanque de hidrólisis ácida

$$h_{gs} = \frac{1}{\frac{1}{h_{gl}} + R} \quad \text{Ec. 49-3}$$
$$h_{gs} = \frac{1}{\frac{1}{482,66} + 0,0009}$$
$$h_{gs} = 336,49 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C} * 3,6 = 1211,36 \frac{KJ}{h m^2 \text{ } ^\circ C}$$

Donde:

h_{gs} : Coeficiente global sucio al interior de tanque ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

h_{gl} : Coeficiente global limpio al interior de tanque ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

R : Resistencia de la pared que se desprecia

Tiempo estimado de calentamiento

Calentamiento isotérmico - vapor de agua

Propiedades del vapor

Presión: 150 psi

Temperatura: 181,62 $^\circ C$

Área de transferencia de calor

$$A = 2\pi rh = 2\pi \left(\frac{1,31m}{2} \right) (1,57m) = 6,46 m^2$$

$$\theta = \frac{\ln\left(\frac{T_1 - t_1}{T_1 - t_2}\right)}{\left(\frac{h_{gs} * A}{m * C_p}\right)}$$

$$\theta = \frac{\ln\left(\frac{181,62 - 18}{181,62 - 90}\right)}{\left(\frac{1211,36 * 6,46}{22547,6 * 4,188}\right)}$$

$$\theta = 7 \text{ h} + 1 \text{ h}$$

$$\theta = 8 \text{ h}$$

Donde:

h_{gs} : Coeficiente global sucio al interior de tanque ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

m : Cantidad de la solución ácida (kg)

A : Área de transferencia de calor (m^2)

C_p : Capacidad calorífica de la solución ($KJ/kg^\circ C$)

T_1 : Temperatura de saturación del vapor a 150 psi ($^\circ C$)

t_1 : Temperatura de entrada de agua al equipo ($^\circ C$)

t_2 : Temperatura de salida de agua al equipo ($^\circ C$)

3.2.7. Filtro Prensa

En los cálculos de ingeniería no se realizó el dimensionamiento del filtro prensa, pero se ha seleccionado el equipo comercial más adecuado para procesar la solución ácida con las cáscaras de Aloe vera, el mismo que cumple con las siguientes especificaciones.

Tabla 16-3: Especificaciones técnicas del filtro prensa

Especificaciones	Descripción general
Fabricante	Shanghai dahang Filtrate equipment co., ltd
Modelo	XG80/1250-Uk
Precio (USD)	15000
Capacidad (L)	7600
Potencia (kW)	11
Dimensiones (l x a x h) (mm)	11260*2200*1820
Tamaño de la Placa (mm)	1500*1500
Número de placas	99
Material	Acero inoxidable (AISI 304)
Presión (MPa)	0,8

Fuente: (Shanghai Dahang Filtrate Equipmente CO., 2018)

3.2.8. *Tanque de Concentración y Precipitación*

El tanque de precipitación tiene una chaqueta de calentamiento que permite la entrada de un flujo de vapor para poder realizar la concentración del líquido de hidrólisis hasta el 50% según (Bravo, 2015; citado en Toapanta, 2018, p. 48.). Este tanque tiene la capacidad para poder almacenar el líquido de hidrólisis concentrado permitiendo que se adicione el 40 % de alcohol etanol 96° para poder precipitar. A nivel industrial es importante realizar la concentración del líquido de hidrólisis para poder minimizar la cantidad de alcohol como desecho, la concentración debe ser a la temperatura igual a la de la hidrólisis ácida.

$$V_{etanol\ 96^\circ} = 2,82 \frac{m^3}{Lote} * 0,40 = 1,12 m^3$$

$$\begin{aligned} V_P &= V_{SH} + V_{etanol\ 96^\circ} && \text{Ec. 51-3} \\ V_P &= 2,82 m^3 + 1,12 m^3 \\ V_P &= 3,15 m^3 \end{aligned}$$

Donde:

$V_{etanol\ 96^\circ}$: volumen de Alcohol Etanol 96°

V_P : volumen tanque de precipitación (L)

V_{SH} : volumen solución de hidrólisis

- *Volumen total del Tanque*

$$\begin{aligned} V_{TP} &= V_P + F_S && \text{Ec. 52-3} \\ V_{TP} &= 3,15 m^3 * 1,1 \\ V_{TP} &= 3,45 \frac{m^3}{lote} \end{aligned}$$

Donde:

V_P : volumen tanque de precipitación (L)

F_S : Factor de seguridad considerando el 10 %

- *Diámetro interno del tanque de precipitación (m)*

$$\begin{aligned} \Phi_{TP} &= \sqrt[3]{\frac{12 * V_{TP}}{\pi * 4,6}} && \text{Ec. 53-3} \\ \Phi_{TP} &= \sqrt[3]{\frac{12 * 3,45 \text{ m}^3}{\pi * 4,6}} \\ \Phi_{TP} &= 1,42 \end{aligned}$$

Donde:

V_{TP} : Volumen total del tanque de precipitación (m^3)

Φ_{TP} : Diámetro interno del tanque de precipitación (m)

- *Altura del tanque de sedimentación (m)*

$$\begin{aligned} h_{TP} &= 1,2 * \Phi_{TP} && \text{Ec. 54-3} \\ h_{TP} &= 1,2 * 1,42 \\ h_{TP} &= 1,70 \text{ m} \end{aligned}$$

Donde:

h_{TP} : Altura del tanque (m)

Φ_{TP} : Diámetro interno del tanque (m)

- *Sistema de Agitación del tanque de precipitación*

Para el sistema de agitación se ha tomado en cuenta los agitadores de palas planas ya que producen una acción de mezcla suave, estos son útiles para operaciones de simple mezcla, gira a velocidades comprendidas entre 20 y 150 rpm.

- *Cálculo del diámetro del rodete*

$$\Phi_{rodete} = \frac{3}{4} * \Phi_{TP} \quad \text{Ec. 55-3}$$

$$\Phi_{rodete} = \frac{3}{4} * 1,42$$

$$\Phi_{rodete} = 1,06 \text{ m}$$

Donde:

Φ_{rodete} : Diámetro del agitador (m)

Φ_{TP} : Diámetro interno del tanque (m)

- *Longitud del brazo*

$$L_{brazo} = \frac{5}{8} * \Phi_{TP}$$

Ec. 56-3

$$L_{brazo} = \frac{5}{8} * 1,42$$

$$L_{brazo} = 0,88 \text{ m}$$

Donde:

L_{brazo} : Longitud del brazo (m)

Φ_{TP} : Diámetro interno del tanque (m)

- *Espesor del rodete*

$$e_{rodete} = \frac{1}{10} * L_{brazo}$$

Ec. 57-3

$$e_{rodete} = \frac{1}{10} * 0,88$$

$$e_{rodete} = 0,088 \text{ m}$$

Donde:

e_{rodete} : Espesor del rodete (m)

L_{brazo} : Longitud del brazo (m)

- Distancia entre el rodete y el fondo del tanque

Facilita la agitación y homogenización

$$D_{RF} = h - L_{brazo}$$

Ec. 58-3

$$D_{RF} = 1,72 - 0,88$$

$$D_{RF} = 0,84 \text{ m}$$

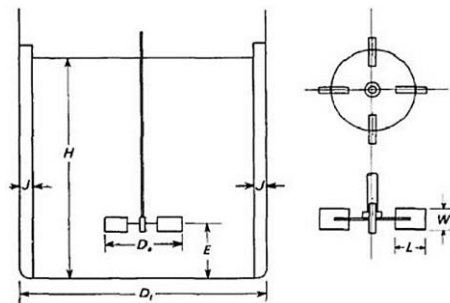
Donde:

D_{RF} : Distancia entre el rodete y el fondo del tanque (m)

h : Altura del tanque (m)

L_{brazo} : Longitud del brazo (m)

- Agitador



Dónde:

D_t : Diámetro interno del tanque reactor (m)

H : Altura de llenado del tanque reactor (m)

D_a : Diámetro del agitador (m)

J : Ancho de la placa deflectora

E : Distancia del fondo con el rodete

L : Largo de las paletas

W : Ancho de las paletas

Figura 5-3: Relaciones del agitador y el tanque

Fuente: (Toapanta, 2018, p. 51).

- Altura de llenado del tanque reactor

Corresponde a la altura que ocupa la mezcla de solución con el alcohol etanol.

$$H = \frac{V_P}{\left(\frac{\Phi_{TP}}{2}\right)^2 * \pi}$$

Ec. 59-3

$$H = \frac{3,15}{\left(\frac{1,42}{2}\right)^2 * \pi}$$

$$H = 1,98 \text{ m}$$

Donde:

V_P : volumen tanque de precipitación (L)

\emptyset_{TP} : Diámetro interno del tanque de precipitación (m)

- *Ancho de la paleta*

$$W = \frac{1}{5} * \emptyset_{TP} \quad \text{Ec. 60-3}$$

$$W = \frac{1}{5} * 1,42$$

$$W = 0,28 \text{ m}$$

Donde:

W : Ancho de la paleta (m)

\emptyset_{TP} : Diámetro interno del tanque (m)

- *Diámetro del agitador*

$$Da = \frac{1}{4} * \emptyset_{TP} \quad \text{Ec. 61-3}$$

$$Da = \frac{1}{4} * 1,42$$

$$Da = 0,35 \text{ m}$$

Donde:

Da : Diámetro del agitador (m)

\emptyset_{TP} : Diámetro interno del tanque (m)

Potencia del agitador

La potencia del agitador se calculó en base a la relación definida por McCabe en las siguientes ecuaciones.

Número de Reynolds

Para determinar el número de Reynolds se considera un valor de velocidad de rotación de 30 a 500 rpm de acuerdo a este tipo de agitador industrial, para los cálculos se tomó el valor de 250 rpm.

Datos adicionales

Densidad de la solución ácida, alcohol etanol.

$$\rho_{\text{Solución ácida1}} = \frac{0,78 \text{ ml HCl}_{37\%} * 1,19 \frac{\text{g}}{\text{ml}} + 249,22 \text{ ml H}_2\text{O} * \frac{0,999 \text{ g}}{\text{ml}} + 153,173 * 0,805 \text{ g/ml}}{250 \text{ mL solución}}$$
$$\rho_{\text{Solución ácida1}} = 1,4928 \text{ g/ml} \cong 1492,8 \text{ kg/m}^3$$

Densidad de la suspensión (Cáscaras de sábila-agua acidulada- alcohol etanol)

$$\rho_{\text{Suspensión1}} = \frac{1410,46 \text{ L solución} * 1492,8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} + 900 \text{ kg}}{1974,64 \text{ L solución}}$$
$$\rho_{\text{Suspensión1}} = 1,52 \text{ kg/L} \cong 1520 \text{ kg/m}^3$$
$$N_{RE} = \frac{Da^2 * n * \rho_{\text{Suspensión1}}}{\mu}$$
$$N_{RE} = \frac{(0,35 \text{ m})^2 * 250 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} * 1520 \text{ kg/m}^3}{93 \text{ cp} * \frac{0,001 \text{ kg/ms}}{1 \text{ cp}}}$$
$$N_{RE} = 8342,29$$

Número de potencia

Para obtener el valor de número de potencia se observa con el valor de $N_{RE} = 8342,29$ la curva de las palas planas según corresponda.

$$N_p = 6$$

Potencia del Agitador

$$P = N_p * n^3 * Da^5 * \rho_{\text{Suspensión1}}$$

$$P = 6 * \left(250 \frac{rev}{min} * \frac{1 min}{60 s} \right)^2 * (0,35 m)^5 * 1520 kg/m^3$$

$$P = 3464,98 W \cong 3,46 kW$$

$$P = 3,46 kW$$

Dónde:

P : Potencia de Agitador

N_p : Número de potencia

n^3 : Velocidad de agitación

Da^5 : Diámetro de impulso

$\rho_{Suspensión1}$: Densidad de la suspensión (cáscara, solución ácida, alcohol etanol)

La potencia del agitador se multiplica por un facto de seguridad de 15%

$$P = 3,46 kW * 1,06 kW$$

$$P = 3,66 kW$$

Según Galeas, (2015, p. 189) los rangos del coeficiente de trasferencia de calor para el calentamiento con chaqueta oscilan de 500 a 700 $\left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right)$ para soluciones acuosas diluidas, el más utilizado es el valor de 500 $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$.

Tiempo estimado de calentamiento

Calentamiento isotérmico - vapor de agua

Propiedades del vapor

Presión: 150 psi

Temperatura: 181,62 °C

$$A = 2\pi * r * h = 2\pi * \left(\frac{1,42}{2} \right) * 1,70 = 7,58m^2$$

$$\phi = \frac{\ln \frac{(T_1 - t_1)}{(T_1 - t_2)}}{\frac{h * A}{m * Cp}}$$

$$\phi = \frac{\ln \frac{(181,62 - 70)}{(181,62 - 90)}}{\frac{500 * 7,58}{2820,93 * 1,008}}$$

$$\phi = 0,14 \text{ h} \cong 8,4 \text{ min}$$

$$\phi = 8,4 \text{ min} + 30 \text{ min} = 38,4 \text{ min}$$

Dónde:

h = Coeficiente de calor para el calentamiento con chaqueta ($W/m^2\text{°C}$)

m = Cantidad de la solución ácida (kg)

A = Área de transferencia de calor (m^2)

Cp = Capacidad calorífica del agua ($KJ/kg\text{°C}$)

T_1 = Temperatura de saturación del vapor a 150 psi (°C)

t_1 = Temperatura de entrada de agua del equipo (°C)

t_2 = Temperatura de salida de agua del equipo (°C)

3.2.9. Secador

El secador no presenta ecuaciones de diseño, sin embargo, se ha seleccionado el equipo más adecuado para secar la pectina a la temperatura requerida, este cumple con las especificaciones siguientes.

Tabla 17-3: Especificaciones técnicas del secador de bandejas

Especificaciones	Descripción general
Fabricante	Naser
Modelo	WDL-CT-C-24
Precio (USD)	4000
Capacidad (Kg)	250
Consumo (kW)	9
Dimensiones (l x a x h) (mm)	2500*1200*2200
Rango de control de temperatura °C	40-200
Número de Bandejas	9
Material	Acero inoxidable (AISI 304)

Fuente: (Alibab,2018).

3.2.10. Molino de bolas

El molino de bolas no presenta ecuaciones de diseño, pero se ha seleccionado el equipo comercial más adecuado para pulverizar la pectina seca, este equipo cumple con las siguientes especificaciones.

Tabla 18-3: Especificaciones técnicas del molino de bolas

Especificaciones	Descripción general
Fabricante	COR-MEX
Modelo	D-2
Precio (USD)	850
Capacidad (Kg)	200
Potencia (kW)	2,23
Dimensiones (l x h) (cm)	107*117
Número de cuchillas	4
Diámetro del Producto	0,22 a 050 m
Material	Acero inoxidable (AISI 304)

Fuente: (Galeas,2015, p. 185).

3.2.11. Equipos adicionales

3.2.11.1. Columna de rectificación de alcohol

La columna de rectificación de alcohol no tiene ecuaciones de diseño, pero se ha seleccionado la más adecuada para poder recuperar el alcohol utilizado para la precipitación de la pectina, este cumple con las especificaciones siguientes.

Tabla 19-3: Especificaciones técnicas de la columna de rectificación de alcohol

Especificaciones	Descripción general
Fabricante	MSJX
Modelo	JH 800
Precio (USD)	4000
Capacidad (L)	1500
Potencia (kW)	5,5
Dimensiones (D x a) (mm)	2100*900*9000
Condensador (m ²)	25
Evaporador (m ²)	15
Material	Acero inoxidable (AISI 304)

Fuente: (Alibab,2018, párr. 2).

3.2.11.2. Tanque de Almacenamiento de HCl-Dosificador

- Volumen a ocupar de HCl para obtener un pH 1.75 (L)

$$V_{HCl\ 37\%} = \frac{V_{exp\ HCl} * V_{Cáscaras\ Aloe\ vera\ HA}}{V_{EXP}}$$
$$V_{HCl\ 37\%} = \frac{0,00078\ L * 22500\ L}{0,25\ L}$$
$$V_{HCl\ 37\%} = 70,2\ L$$

Dónde

$V_{HCl\ 37\%}$: Volumen a ocupar de HCl para obtener un pH 1.75(L)

V_{exp} : Volumen experimental cantidad de agua (L)

$V_{exp\ HCl}$: Volumen experimental cantidad de ácido clorhídrico (L)

$V_{Cáscaras\ de\ Aloe\ Vera\ HA}$: Volumen a ocupar de las cáscaras Aloe vera con agua (L)

- Volumen total del Tanque

$$V_{TCl} = V_{HCl\ 37\%} * F_S$$

$$V_{TCl} = 70,2\ L * 1,1$$

$$V_{TCl} = 77,22\ L/lote \cong 0,07\ m^3/lote$$

Dónde:

V_{TCl} : Volumen total del Tanque contenedor de ácido Clorhídrico

$V_{Cáscaras\ Aloe\ vera\ HA}$: Volumen a ocupar de las cáscaras de Aloe vera con agua (L)

V_{exp} : Volumen experimental cantidad de agua (L)

F_S : Factor de seguridad considerado el 10%

- Diámetro interno del tanque (m)

$$\emptyset = \sqrt[3]{\frac{12 * V_{TCl}}{\pi * 4,6}}$$

$$\emptyset = \sqrt[3]{\frac{12 * 0,07\ m^3}{\pi * 4,6}}$$

$$\emptyset = 0,38\ m$$

Dónde:

V_{TCl} = Volumen total del tanque contenedor de ácido Clorhídrico (m^3)

\emptyset = Diámetro interno del tanque (m)

- *Altura del tanque (m)*

$$h = 1.2 \times \emptyset$$

$$h = 1.2 \times 0,38$$

$$h = 0,45 \text{ m}$$

3.2.11.3. Tanque de Almacenamiento de Alcohol Etanol 96°

$$V_{etanol\ 96^\circ} = 2,82 \frac{m^3}{Lote} * 0,40 = 1,12 \text{ m}^3$$

- *Volumen total del Tanque*

$$V_{etanol\ 96^\circ} = V_{etanol\ 96^\circ} * 1,1$$

$$V_{etanol\ 96^\circ} = 1,12 \text{ m}^3 * 1,1$$

$$V_{etanol\ 96^\circ} = 1,23 \text{ m}^3$$

Dónde:

$V_{etanol\ 96^\circ}$: Volumen total del Tanque contenedor del Alcohol Etanol 96°

$V_{etanol\ 96^\circ}$: Volumen de Alcohol Etanol (L)

F_S : Factor de seguridad considerado el 10%

- *Diámetro interno del tanque (m)*

$$\emptyset = \sqrt[3]{\frac{12 * V_{Tetanol}}{\pi * 4,6}}$$

$$\emptyset = \sqrt[3]{\frac{12 * 1,23 \text{ m}^3}{\pi * 4,6}}$$

$$\emptyset = 1,0 \text{ m}$$

Dónde:

$V_{etanol\ 96^\circ}$ = Volumen total del Tanque contenedor del Alcohol Etanol 96°

\emptyset = Diametro interno del tanque (m)

- *Altura del tanque (m)*

$$h = 1,2 \times \emptyset$$

$$h = 1,2 \times 1,0$$

$$h = 1,20 \text{ m}$$

Dónde:

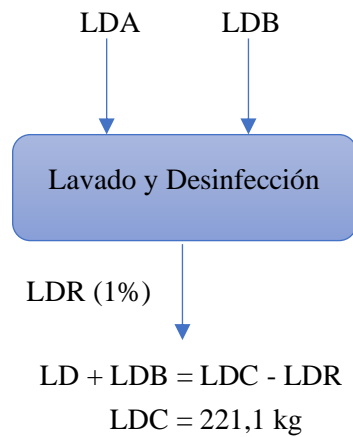
h = Altura del tanque (m)

\emptyset = Diametro interno del tanque (m)

3.2.12. Balance de Masa y Energía

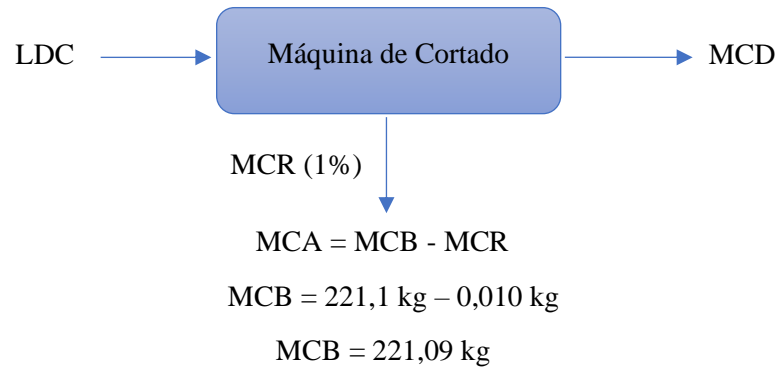
3.2.12.1. Lavado y Desinfección

Balance de masa en el tanque de lavado y desinfección



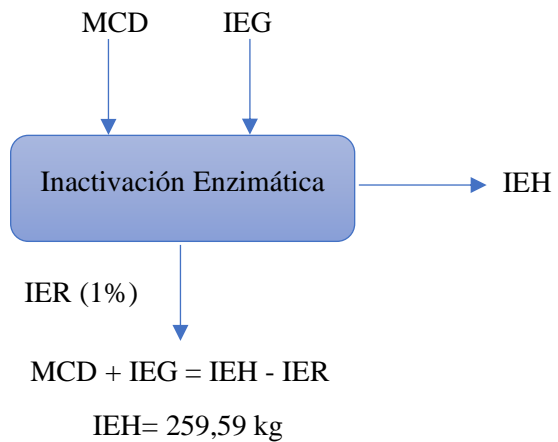
3.2.12.2. Máquina de Cortado

Balance de masa en la máquina de cortado



3.2.12.3. Inactivación Enzimática

- Balance de masa en el tanque de inactivación enzimática



- Balance de energía en el tanque de inactivación enzimática

Tabla 20-3: Balance de Energía de la inactivación enzimática

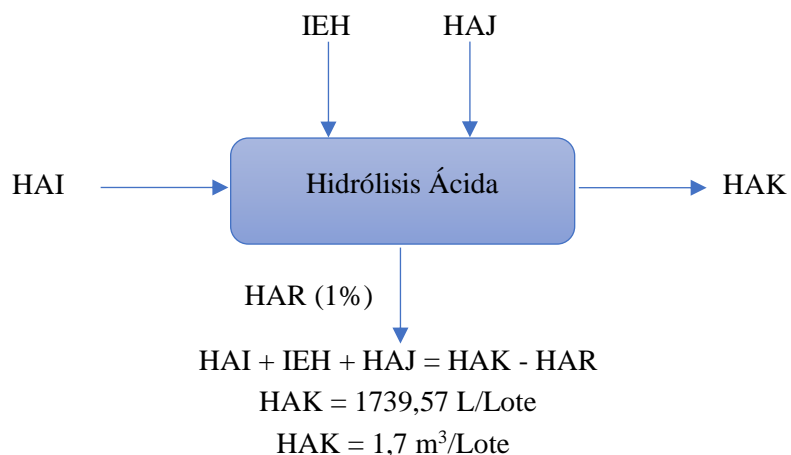
$\Delta U = Q$	
<p>Dónde:</p> <ul style="list-style-type: none"> • $\Delta U = \text{Variación de Energía interna (J)}$ • $Q = \text{Flujo de calor (Kcal/h)}$ 	
<p>Flujo de valor ganado</p> $Q_{\text{ganado}} = Q_{\text{agua}} + Q_{\text{metal}}$ $Q_{\text{ganado}} = 15,12 + 4676,55$ $Q_{\text{ganado}} = 4691,67 \text{ Kcal/h}$ <p>Dónde:</p> <p>$Q_{\text{ganado}} = \text{Flujo de calor ganado (Kcal/h)}$ $Q_{\text{agua}} = \text{Flujo de calor del agua (Kcal/h)}$ $Q_{\text{metal}} = \text{Flujo de calor del metal (Kcal/h)}$</p>	<p>Área de transferencia de calor</p> $A = 2 * \pi * r * h$ $A = 2\pi r h = 2\pi \left(\frac{1,11m}{2}\right) (1,33m) = 4,64m^2$
<p>Gradiente de temperatura</p> $\Delta T = T_s - T_e$ $\Delta T = 90 - 18$ $\Delta T = 72^\circ C$ <p>Dónde:</p> <p>$T_s = \text{Temperatura de la inactivación enzimática } ^\circ C$ $T_e = \text{Temperatura del ambiente } ^\circ C$</p>	<p>Calor en tanque reactor</p> $Q_{\text{metal}} = k * A * \Delta T$ $Q_{\text{metal}} = 16,28 * 4,64 * 72$ $Q_{\text{metal}} = 5438,8224 \text{ W} \cong 4676,55 \text{ Kcal/h}$ <p>Dónde:</p> <p>$k = \text{Coeficiente de transferencia del material (16,28 W/m}^2\text{ }^\circ C)$</p>
<p>Calor del Agua</p> $Q_{\text{agua}} = m * C_p * \Delta T$ $Q_{\text{agua}} = 0,5 * 1,008 * 30$ $Q_{\text{agua}} = 15,12 \text{ Kcal/h}$ <p>Dónde:</p> <p>$C_p = \text{Capacidad calorífica del agua (1,008 Kcal/kg. } ^\circ K)$</p>	<p>Coeficiente global de transferencia de calor</p> $U = \frac{Q}{A * \Delta T}$ $U = \frac{4691,67}{4,64 * 72}$ $U = 14,04 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2} \cdot \text{h. } ^\circ C$ $U = 14,04 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2} \cdot \text{h. } ^\circ C * 1,163 \times 10^{-3} \frac{\text{KJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{s. } ^\circ C}$ $U = 0,0163 \frac{\text{KJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{s. } ^\circ C}$ <p>Dónde:</p> <p>$U = \text{Coeficiente global de transferencia de calor}$ $\left(\frac{\text{KJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{s. } ^\circ C}\right)$</p>

Fuente: (Arcos, y Cauja, 2017; citado en Toapanta, 2018, p.60).

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

3.2.12.4. Hidrólisis Ácida

- Balance de masa en el tanque de hidrólisis ácida



- Balance de energía en el tanque de hidrólisis ácida

Tabla 21-3: Balance de Energía de la Hidrólisis ácida

$\Delta U = Q$	
<p>Dónde:</p> <ul style="list-style-type: none"> • $\Delta U = \text{Variación de Energía interna (J)}$ • $Q = \text{Flujo de calor (Kcal/h)}$ 	
<p style="text-align: center;">Flujo de valor ganado</p> $Q_{ganado} = Q_{agua} + Q_{metal}$ $Q_{ganado} = 62,7 + 6510,88$ $Q_{ganado} = 6573,58 \text{ Kcal/h}$ <p>Dónde:</p> <p>Q_{ganado} = Flujo de calor ganado (Kcal/h) Q_{agua} = Flujo de calor del agua (Kcal/h) Q_{metal} = Flujo de calor del metal (Kcal/h)</p>	<p style="text-align: center;">Área de transferencia de calor</p> $A = 2 * \pi * r * h$ $A = 2\pi * r * h = 2\pi * \left(\frac{1,31}{2}\right) * 1,57 = 6,46m^2$
<p style="text-align: center;">Gradiente de temperatura</p> $\Delta T = T_s - T_e$ $\Delta T = 90 - 18$ $\Delta T = 72^\circ C$ <p>Dónde:</p> <p>T_s = Temperatura de la inactivación enzimática °C T_e = Temperatura del ambiente °C</p>	<p style="text-align: center;">Calor en tanque reactor</p> $Q_{metal} = k * A * \Delta T$ $Q_{metal} = 16,28 * 6,46 * 72$ $Q_{metal} = 7572,1536 \text{ W} \cong 6510,88 \text{ Kcal/h}$ <p>Dónde:</p> <p>k = Coeficiente de transferencia del material</p>

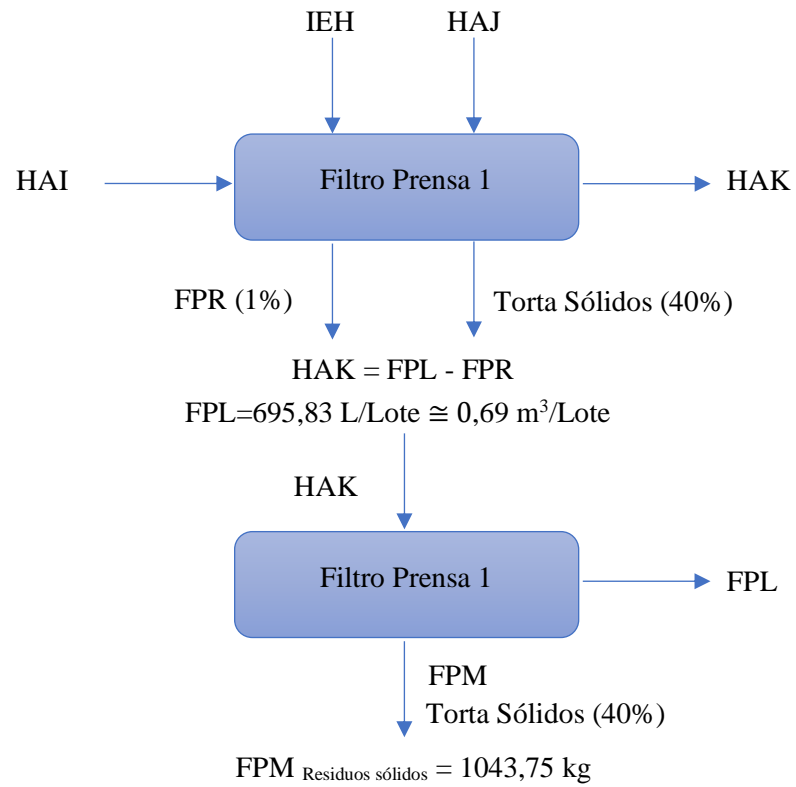
	$(16,28 \text{ W/m}^2\text{°C})$
<p style="text-align: center;">Calor del Agua</p> $Q_{\text{agua}} = m * C_p * \Delta T$ $Q_{\text{agua}} = 0,5 * 4,18 * 30$ $Q_{\text{agua}} = 62,7 \text{ Kcal/h}$ <p>Dónde:</p> <p>C_p = Capacidad calorífica del agua (4,18 Kcal/kg.°K)</p>	<p style="text-align: center;">Coefficiente global de transferencia de calor</p> $U = \frac{Q}{A * \Delta T}$ $U = \frac{6573,58}{6,46 * 72}$ $U = 14,13 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2} \cdot \text{h} \cdot \text{°C}$ $U = 14,13 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2} \cdot \text{h} \cdot \text{°C} * 1,163 \times 10^{-3} \frac{\text{KJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{°C}}$ $U = 0,0164 \frac{\text{KJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{°C}}$ <p>Dónde:</p> <p>U = Coeficiente global de transferencia de calor $\left(\frac{\text{KJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{°C}} \right)$</p>

Fuente: (Arcos y Cauja, 2017; citado en Toapanta, 2018, p.60).

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

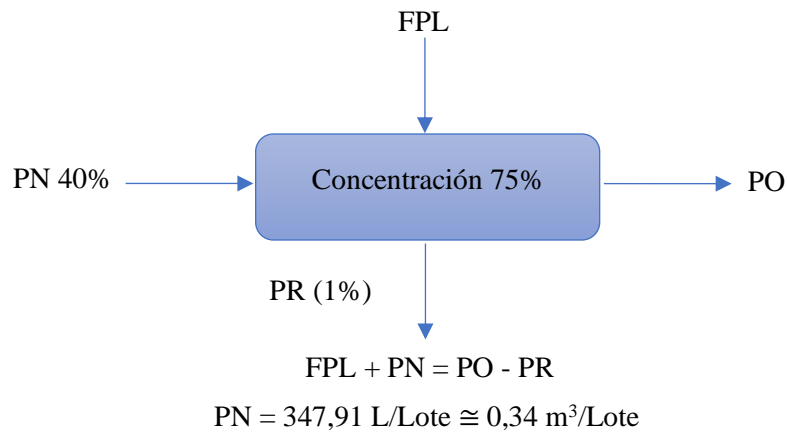
3.2.12.5. *Filtro Prensa 1*

Balace de masa en el filtro prensa 1

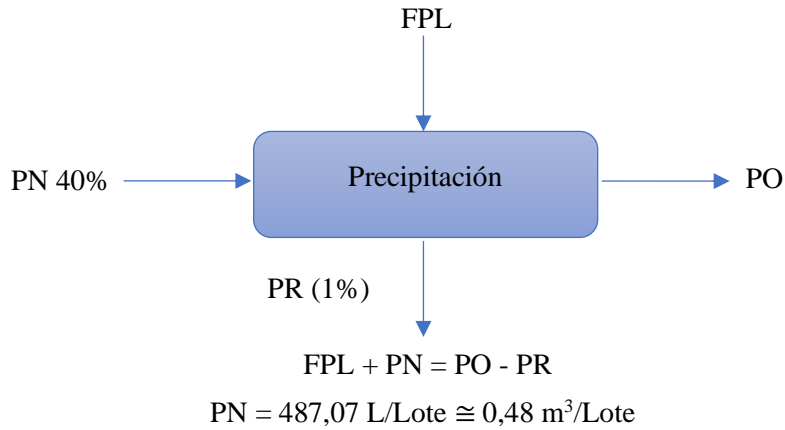


3.2.12.6. *Concentración y precipitación*

- *Balace de masa en la concentración*



- *Balance de masa en la precipitación*

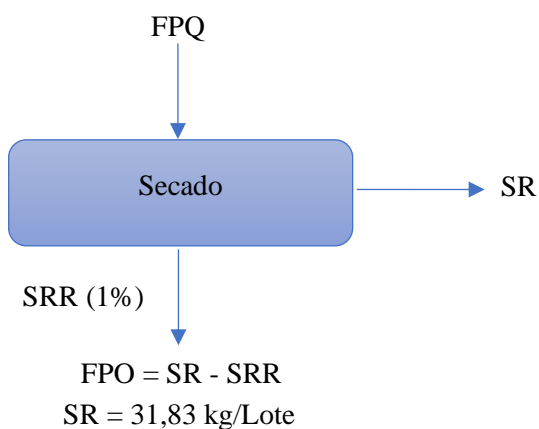


- *Balance de energía en el tanque de concentración y precipitación*

Tabla 22-3: Balance de energía en el tanque de concentración y precipitación

$\Delta U = Q$	
<p>Dónde:</p> <ul style="list-style-type: none"> • $\Delta U = \text{Variación de Energía interna (J)}$ • $Q = \text{Flujo de calor (Kcal/h)}$ 	
<p style="text-align: center;">Flujo de valor ganado</p> $Q_{ganado} = Q_{agua} + Q_{metal}$ $Q_{ganado} = 62,7 + 2122,13$ $Q_{ganado} = 2184,83 \text{ (Kcal/h)}$ <p>Dónde:</p> <p>Q_{ganado} = Flujo de calor ganado (Kcal/h) Q_{agua} = Flujo de calor del agua (Kcal/h) Q_{metal} = Flujo de calor del metal (Kcal/h)</p>	<p style="text-align: center;">Área de transferencia de calor</p> $A = 2 * \pi * r * h$ $A = 2\pi * r * h = 2\pi * \left(\frac{1,42}{2}\right) * 1,70 = 7,58 \text{ m}^2$
<p style="text-align: center;">Gradiente de temperatura</p> $\Delta T = T_s - T_e$ $\Delta T = 90 - 70$ $\Delta T = 20^\circ\text{C}$ <p>Dónde:</p> <p>T_s = Temperatura de la inactivación enzimática °C T_e = Temperatura del ambiente °C</p>	<p style="text-align: center;">Calor en tanque reactor</p> $Q_{metal} = k * A * \Delta T$ $Q_{metal} = 16,28 * 7,58 * 20$ $Q_{metal} = 2468,04 \text{ W} \approx 2122,13 \text{ Kcal/h}$ <p>Dónde:</p> <p>k = Coeficiente de transferencia del material (16,28 W/m²°C)</p>

Balance de masa en el secado



3.3. Requerimiento de equipos, maquinaria y costos

3.3.1. Costos variables

Tabla 23-3: Materia prima directa

Rubros	Cantidad	Unidad	Precio Unitario (\$)	Total
Cáscara de <i>Aloe vera</i>	900	kg	0,00	0
Ácido Clohídrico	70,2	l	1,32	92,66
Alcohol-Etanol	800	l	0,55	440,00
Agua	11500	l	0,01	225,00
Fundas de polietileno	129	unidad	0,02	2,58
Etiquetas	129	unidad	0,02	2,58
total				762,82
Costo variable unitario (costo venta unitario) en el mercado				11

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

Tabla 24-3: Materia prima directa mensualizada

Rubros	Cantidad	Total
Fundas de 1Kg	2580	15256,48

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

Tabla 25-3: Mano de obra directa mensualizada

Variable	Cantidad	Total
Operario	1	380
Operario	1	700
Jefe De Administración	1	700
Técnico	1	700
Subtotal		2480

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

Tabla 26-3: Producción

Detalle	Diario	Días Trabajados	Producción Mensual Esperada
Fundas de 1kg	129,00	20	2580

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

3.3.2. Costos fijos

Tabla 27-3: Costos fijos

Materia Prima Indirecta	
Rubros	Valores Por Mes
Combustible	180
Subtotal	180

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

Tabla 28-3: Mano de prima indirecta

Secretaria	380
Subtotal	380

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

Tabla 29-3: Otros gastos fijos

Servicios Básicos (Agua, Luz, Teléfono)	600
Publicidad	100
Suministro De Oficina (Papel Esferos, Etc)	50
Subtotal	750
Total	1310

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

3.7.3 Costo total

Tabla 30-3: Costo total

Costo Total	11,51
--------------------	-------

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

3.3.3. Precio de venta

Tabla 31-3: Precio de venta

Producto	Costo Total (\$)	Utilidad	Margen de contribución (\$)	Precios de venta (\$)
kg Pectina	11,51	20	2,30	13,81

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

3.3.4. Punto de equilibrio

Tabla 32-3: Punto de equilibrio

Parámetro	Cantidad
CF (Costos Fijos)	1310
PV (Precio de venta)	13.10
CV (Costos variables)	11
PE (Punto de equilibrio)	-
PE Mensual	466,31
PE Anual	5595,70

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

3.3.5. Maquinaria y equipos

Tabla 33-3: Maquinaria y equipos

Maquinaria y equipos	VALOR
Área de producción	
Filtro de prensa	15000
Secador	4000
Molino de bolas	850
Tanque de lavado y desinfección	1000
Máquina de cortado	850
Tanque de inactivación enzimática	2000
Tanque de hidrolisis ácida	20000
Tanque de precipitación	15000
Maquina selladora y enfundadora de polvo	15000
Columna de destilación	16000
Caldera	1600
Total	91300

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

3.3.5.1. Mantenimiento y seguros

Tabla 34-3: Mantenimiento y seguros

Equipos y maquinaria	Valor	Mantenimiento 5%	Seguros 3%
Filtro De Prensa	15000	750	450
Secador	4000	200	120
Molino de bolas	850	42,5	25,5
Tanque de lavado y desinfección	1000	50	30
Máquina de cortado	850	42,5	25,5
tanque de inactivación enzimática	2000	100	60
Tanque de hidrolisis ácida	20000	1000	600
Tanque de precipitación	15000	750	450
Maquina selladora y enfundadora de polvo	15000	750	450
Columna de destilación	16000	800	480
Caldera	16000	800	480
Total	91300	5285	3115,5

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

3.3.6. Muebles y enseres

Tabla 35-3: Muebles y enseres

Área de producción	Cantidad	Valor Unitario (\$)	Valor Total (\$)
Mesas de trabajo	1	100	100
Estanterías	1	100	100
Subtotal			200
Área Administrativa	Cantidad	Valor Unitario (\$)	Valor Total (\$)
Escritorio	1	150	150
Silla	1	50	50
Subtotal			200
Área de ventas	Cantidad	Valor Unitario \$	Valor Total (\$)
Escritorio	1	140	140
Silla	1	50	50
Subtotal			190
Total			590

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

3.3.7. Depreciación

Tabla 36-3: Depreciación de maquinaria

Activos fijos operativos/producción	Vida útil (años)	Inversiones	
		Depreciación (%)	Valor USD (\$)
Filtro de prensa	5	20,00%	3000
Secador	5	20,00%	800
Molino de bolar	5	20,00%	170
Tanque de lavado y desinfección	5	20,00%	200
Máquina de cortado	5	20,00%	170
Tanque de inactivación enzimática	5	20,00%	400
Tanque de hidrolisis ácida	5	20,00%	4000
Tanque de precipitación	5	20,00%	3000
Máquina selladora y enfundadora de polvo	5	20,00%	3000
Columna de destilación	5	20,00%	3200
Caldera	5	20,00%	320
Total			18260

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

3.3.8. Presupuesto de ventas

Tabla 37-3: Presupuesto de Ventas

Artículo	Kg de pectina
Precio de venta (USD)	13,81

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

Tabla 38-3: Tasa de crecimiento poblacional

Detalle	Diario	Mensual	Anual
Kilogramos a producir	129,00	2580	30960

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

Tabla 39-3: Proyección de demanda

Tiempo (Años)	1	2	3	4	5
Cantidad de pectina (Kg)	30960	32179,21	32806,71	33446,44	34098,64

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

3.3.9. Presupuesto de Costos

Tabla 40-3: Presupuesto de Costos

Detalle/Partida Presupuestaria	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
COSTO DE PRODUCCIÓN					
Materia prima directa	183077,76	185988,6964	188945,92	191950,16	195002,16
Mano de obra directa	29760	30233,184	30713,89	31202,24	31698,36
Mantenimiento y seguros	104	1085,6536	107,33	109,04	110,77
Depreciación	18030	36060	54090	72120	90150
Subtotal	230971,76	252387,534	273857,14	295381,44	316961,30
GASTOS ADMINISTRATIVOS					
Sueldos	24800	25194,32	25594,91	26001,87	26415,30
Arriendo	12000	12190,8	12384,63	12581,55	12781,60
Suministros de oficina	600	609,54	619,23	629,08	639,08
Servicios básicos	7200	7314,48	7430,78	7548,93	7668,96
Impuestos/permisos de funcionamiento	146,4	148,73	151,09	153,49	155,94
Subtotal	44746,40	45457,87	46180,92	46914,92	47660,87
GASTOS DE VENTAS					
Transporte	600	609,54	619,23	629,08	639,08
Publicidad	100	101,59	103,21	104,85	106,51
Subtotal	700	711,13	722,44	733,92	745,59
COSTOS FINANCIEROS					
Intereses Bancarios	100	100	100	100	100
Subtotal	100	100	100	100	100
Total	276518,16	298656,53	320860,23	343130,28	365467,76

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

3.3.10. Flujo de caja

Tabla 41-3: Flujo de Caja

RUBROS		AÑOS					
		0	1	2	3	4	5
+	Ventas netas		427557,60	444394,93	453060,63	461895,31	470909,27
-	Costos de producción		230971,76	252387,53	273857,14	295381,44	316961,30
-	Costos administrativos		32746,40	33267,07	33796,01	34333,37	34879,27
-	Costos de ventas		700,00	711,13	722,44	733,92	745,59
-	Costos financieros		100	100	100	100	100
=	Utilidad. antes de Rep. utilidad e impuestos		\$264.518,16	\$286465,73	\$308475,59	\$330548,73	\$352686,16
-	Inversión en máquinas y equipos	-91750					
-	Muebles y enseres	-590					
-	Inv. terreno y obra física	-70000					
-	Vehículo	-30000					
-	Imprevistos	13000					
+	Capital socio/préstamo	20000					
	Flujo de caja	-159340,00	\$163039,44	\$157929,19	\$144585,03	\$131346,57	\$118216,11
	Flujo Acumulado	-159340,00					
	Tasa de rendimiento del mercado	12,00%		Periodo anterior al cambio de signo			0
	VAN	\$ 684.276,0		Valor absoluto del flujo acumulado			\$159340
	TIR	94%		Flujo de caja en siguiente periodo			\$163039,44
				Periodo de playback			0,977309539
				1,97	Años se recupera lo invertido		
	Suma Ingresos	\$1.619.241,79					
	Suma Egresos	\$1.094.305,79					
	Costos de Inversión	\$934.965,79					
	Relación Costo Beneficio	1,731872773					

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

3.4. Resultados

3.4.1. Caracterización de la pectina.

Los análisis de la materia prima se realizaron en el Laboratorio SAQMIC, los mismos que se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 42-3: Análisis Microbiológico de la pectina

Componentes	Método	Cáscara de <i>Aloe vera</i>
Coliformes Totales UFC/g	INEN 1529-7	10
Mohos y Levaduras UFC/g	INEN 1529-10	10

Fuente: Laboratorios SAQMIC

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

3.4.2. Obtención de la pectina a escala laboratorio

Tabla 43-3: Pectina obtenida a escala laboratorio

Condiciones	
Ácido: HCl pH: 1,75 Temperatura: 80°C Tiempo de extracción: 60 min	

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

3.4.3. Caracterización de la pectina

Se eligió la muestra 1 porque tuvo un mayor rendimiento a diferencia de los demás experimentos, para poder realizar los ensayos de caracterización de pureza de pectina.

Tabla 44-3: Datos caracterización de la Pectina

Parámetro (%)	Valor
Rendimiento	4,36
Humedad	7,37
Cenizas	6,70
Contenido de Metoxilos	6,95
Ácido Anhidro Galacturónico	35,07
Grado de Esterificación	54,56

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

3.4.4. Dimensionamiento de la Planta

Tabla 45-3: Resultados dimensionamiento de los equipos

Parámetro	Valor	Unidades
Tanque de Lavado		
Volumen Total	1.66	m ³
Diámetro interno	1.11	m
Altura del Tanque	1.33	m
Material	Acero inoxidable (AISI 304)	
Máquina de Cortado		
Capacidad	250 - 500	kg/h
Potencia	0.75	kW
L	1000	mm
W	610	mm
H	1000	mm
Material	Acero Inoxidable (AISI 304)	
Tanque de Inactivación Enzimática		
Volumen Total	1.66	m ³
Diámetro interno	1.11	m
Altura del Tanque	1.33	m
Altura de chaqueta de calentamiento	1.21	m
Espesor de chaqueta de calentamiento	0.11	m
Material	Acero Inoxidable (AISI 304)	
Tanque de Hidrolisis ácida		
Volumen Total	2,43	m ³
Diámetro interno	1,31	m
Altura del Tanque	1,57	m
Altura de chaqueta de calentamiento	1,43	m
Espesor de chaqueta de calentamiento	0,13	m
Material	Acero Inoxidable (AISI 304)	
Sistema de Agitación		
Diámetro del rodete	0.98	m
Longitud del brazo	0.82	m
Espesor del Rodete	0.082	m
Distancia entre el rodete y el fondo	0.75	m
Agitador		
Altura de llenado del tanque	1.80	m
Diámetro interno	1.31	m
Diámetro del impulsor	0.44	m
Altura del agitador respecto a la base del tanque	0.60	m
Paletas		
Longitud	0.33	m
Altura	0.26	m

Distancia entre paletas	0.87	m
Potencia del impulsor		
Número de Reynolds	5574.5	Adimensional
Número de Potencia	4	Adimensional
Potencia	5	HP
Filtro Prensa		
Capacidad	7.6	m ³
Potencia	11	kW
l	11260	mm
a	2200	mm
h	1820	Mm
Número de placas	99	
Presión	0.8	MPa
Material	Acero Inoxidable (AISI 304)	
Tanque de Concentración y Precipitación		
Volumen Total	3.45	m ³
Diámetro interno	1.42	m
Altura del Tanque	1.70	m
Sistema de Agitación		
Diámetro del rodete	1.06	m
Longitud del brazo	0.88	m
Espesor del Rodete	0.088	m
Distancia entre el rodete y el fondo	0.84	m
Agitador		
Altura de llenado del tanque	1.98	m
Ancho de la paleta	0.28	m
Diámetro del impulsor	0.35	m
Potencia del impulsor		
Número de Reynolds	8342.29	Adimensional
Número de Potencia	6	Adimensional
Potencia	3.66	kW
Secador		
Capacidad	250	Kg
Potencia	9	kW
L	2500	mm
A	1200	mm
H	2200	mm
Rango de control de temperatura °C	40-200	°C
Número de Bandejas	24	
Material	Acero Inoxidable (AISI 304)	
Molino de Bolas		
Capacidad	200	kg
Potencia	2.23	kW

L	107	cm
H	117	cm
Número de Cuchillas	4	
Diámetro de Producto	0.22 a 0.50	um
Material	Acero Inoxidable (AISI 304)	
Equipos Adicionales		
Columna de Rectificación de Alcohol		
Capacidad	1.5	m ³
Potencia	5.5	kW
Dimensiones (D x a)	2100*900*9000	mm
Condensador	25	(m ²)
Evaporador	15	(m ²)
Material	Acero inoxidable (AISI 304)	
Tanque de Almacenamiento de Alcohol Etanol		
Volumen Total	1.23	m ³
Diámetro interno	1.00	m
Altura del Tanque	1.2	m
Material	Cloruro de Polivinilo (PVC)	
Tanque de Almacenamiento de Ácido Clorhídrico		
Volumen Total	0.07	m ³
Diámetro	0.38	m
Altura del Tanque	0.45	m
Material	Cloruro de Polivinilo (PVC)	

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

3.5. Análisis y discusión de resultados

Con relación a la hipótesis general, con un valor p de 0.021 se identifica que el pH es el factor que influye directamente en la cantidad de pectina obtenida a diferencia de la temperatura (p: 0.67), según el ajuste del modelo y la optimización de la ecuación de rendimiento:

$$R = -69.94 - 11.3267(pH) + 2.00717(T) - 1.36(pH)^2 + 0.23(pH)(T) - 0.01475 (T)^2$$

el máximo rendimiento obtenido de pectina a partir de la hoja de sábila (*Aloe barbadensis miller*) por el método de hidrólisis ácida variando los valores de pH de 1.25, 1.5, 1.75 y los valores de temperatura de 70°C, 80°C y 90°C es de 4.36% lo que equivale a 1.835g de pectina por cada 50 g en promedio de materia prima aplicando la hidrólisis ácida en condiciones de 1,75 pH, temperatura de 80°C por 60 minutos. Por su parte Hernández et al. (2017) estudió la hidrólisis ácida como método de extracción de pectina a partir del bagazo de sábila aplicando valores de pH de 0.5; 1.0 y 1.5 con diferentes tiempos de hidrólisis (30, 60, 90 minutos) y temperaturas de extracción (60, 75 y 90°C) obteniendo un rendimiento máximo de pectina (11.45%) en condiciones de pH de 1,5, temperatura de 90°C, y 60 minutos.

Teniendo en cuenta las condiciones en las que se obtuvieron máximos rendimientos de la pectina a partir de la cáscara de Aloe vera se puede inferir que utilizando como método de extracción a la hidrólisis ácida y aplicando condiciones de operación con valores de pH entre 1.5 y 1.75 a temperaturas entre 80 y 90 °C por 60 minutos se obtiene el máximo rendimiento de pectina de la cáscara de Aloe vera. Por otro lado, aplicando el método de hidrólisis ácida con diferentes materias primas, Nizama (2015) también logró elaborar pectina a base de cáscara de cacao aplicando el método de hidrólisis ácida, variando los valores de pH en 2 y 3, los tiempos de hidrólisis de 60 min y 90 min dando un rendimiento promedio de 7.311%. Barreto et al. (2017) también lograron obtener pectina a partir del mango de azúcar utilizando el método de hidrólisis ácida en su investigación manipuló el pH tomando valores de 1, 2, 3 y también manipuló la temperatura tomando valores de 80°C, 90°C y 100°C dando un rendimiento promedio de 12.87%. Teniendo en cuenta los valores de los rendimientos promedio se puede apreciar que la cáscara de sábila (*Aloe barbadensis miller*) tiene el menor valor, esto hace pensar que la cantidad de sustancias pécticas presente en la hoja de sábila en estado natural es baja con respecto a las frutas.

En la primera hipótesis específica se buscaba realizar la caracterización fisicoquímica y microbiológica de la pectina obtenida a partir de la hoja de sábila (*Aloe barbadensis miller*), lo cual se cumplió al realizarle el análisis de laboratorio de los 5 indicadores (Humedad, Cenizas, Metoxilo, Grado de esterificación y ácido anhídrido galacturónico) a los 9 tratamientos de cada bloque (27 tratamientos) donde en el indicador humedad el T₅ del bloque II con 3.5% es el menor valor y el T₂ del bloque I (12.12%) es el mayor; En cuanto a Cenizas el T₈ del bloque I obtuvo 2.98% siendo el menor y el T₇ del bloque I (8.53%) el mayor de los 27 tratamientos; en el indicador A. galacturónico el T₆ del bloque I obtuvo 39.59% siendo el mayor y el T₅ del bloque I con 33.31% se considera como el menor; En el indicador G. de esterificación el T₂ del bloque I obtuvo 48.60% es el menor de los 27 tratamientos y el T₉ del bloque I es el mayor con 71.88%; En cuando al contenido de Metóxilos el T₇ del bloque I obtuvo 8.48% es el mayor y el T₆ del bloque I obtuvo 0.73% es el menor de los 27 tratamientos realizados. Esto demuestra fehacientemente la influencia que han tenido los diferentes niveles de pH y temperatura en el producto final de cada tratamiento. De los 27 tratamiento, el tratamiento seleccionado presentó un grado de esterificación del 54,56%, 6,95% en contenido de metoxilo y 35,07% de ácido anhídrido galacturónico. En cuanto al grado de esterificación, el obtenido del Aloe vera se encuentra por debajo al reportado para otras materias primas (ver Tabla 15.3) sin embargo está por encima del valor mínimo para pectinas comerciales, y es cercano el valor al reportado para la cáscara de maracuyá, el valor obtenido de 54,56% del grado de esterificación califica a la pectina de Aloe vera como una pectina de gelificación rápida según Moreno et al (2017). Para el contenido de metoxilo este es superior incluso que el exigido para las pectinas comerciales, el valor es superado por el valor reportado para el bagazo de melocotón; estos resultados indican que la

pectina extraída posee un grado de esterificación relativamente alto, por lo que según Hernández et al. (2017) esta pectina es soluble en agua y es de rápida gelificación. En cuanto al contenido de metoxilo, la pectina obtenida puede ser soluble con iones calcio y poco soluble en presencia de azúcar y ácidos. Sin embargo, en cuanto al porcentaje de ácido anhídrido galacturónico, aunque es superior al reportado para la cáscara de mango resulta inferior al requerido para pectinas comerciales y según Moreno et al (2017) esto indicaría que es una pectina de baja pureza. El porcentaje de ácido anhídrido galacturónico es un indicador de la pureza; es decir, que la pectina extraída del bagazo de sábila aún requiere de una purificación para cumplir con el parámetro de la pectina comercial. Finalmente, en cuanto a la caracterización microbiológica de la muestra seleccionada se obtuvieron los siguientes resultados: en el indicador aerobios mesófilos viables < 10 UFC/g, al igual que en el indicador Mohos y levaduras < 10 UFC/g. Los datos muestran que la pectina de cáscara de sábila obtenida en la presente investigación cumple con los valores establecidos en la norma E-440 en ambos indicadores.

Tabla 46-3: Características fisicoquímicas de las pectinas de diferentes materias primas

Materia prima	Rendimiento (%)	Grado de esterificación (%)	Contenido de metoxilo (%)	Porcentaje de ácido anhídrido galacturónico (%)	Referencia
Cáscara de Aloe vera	4.36	54.56	6.95	35.07	Autor
Cáscara de melocotón	5.40	-	74.00	55.00	(Pagán, 1995)
Cáscara de manzana	25.00	-	11.59	76.30	(Untiveros, 2003)
Cáscara de maracuyá	11.11	69.75	8.62	70.43	(D´Addosio et al., 2006)
Cáscara de mango	1.24	90.2	4.82	1.80	(Ferreira et al., 1995)
Cáscara de naranja	49.70	72.42	1.80	37.11	(Cerón y Cardona, 2010)
Pectina comercial	-	Min 50.00	Min 6.70	Min 65.00	(Herbstrein & Fox, 2015)

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

Tabla 47-3: Parámetros físico químicos y microbiológicos de pectinas (Norma E-440)

Parámetros	Pectina de cáscara de Aloe ver	Valores de la Norma E-440
Humedad	7.37	Max. 12%
Cenizas totales	6.70	Max 10%
Ácido galacturónico	35.07	Min 65%
Grado de metoxilos	6.95	Min 6.7%
Grado de esterificación	54.56	50% Min (HM)
Aerobios mesófilos viables	< 10	Max 5x10 ² UFC/g
Mohos, levaduras	< 10	Max 1x10 ² UFC/g

Realizado por: Pilco, Jessica, 2021.

Fuente: (Herbstrein & Fox, 2015, p.12).

Con respecto a la segunda hipótesis específica, se logró evaluar la pectina comercial con la pectina extraída de la hoja de sábila mediante espectroscopía de infrarrojo (FTIR). En la pectina obtenida a partir de la cáscara de Aloe vera y la pectina comercial presentan espectros con un pico ancho representativo en 3338,18 y 3378,67 cm^{-1} respectivamente y esto se debe a las vibraciones de tensión del grupo O-H. La banda de 2943.8 y en 2962.13 cm^{-1} en cada IR corresponde a la tensión del C-H de los grupos CH_2 . De acuerdo con Silva, Benites y Gomero (2018) las bandas que permiten determinar del grado de esterificación son aquellas que aparecen aproximadamente entre 1630 cm^{-1} y 1750 cm^{-1} y pertenecen a los grupos de carboxilos libres, permitiendo la identificación de pectinas de alto o bajo contenido de metoxilo, mientras que entre 1000 y 1250 cm^{-1} se presentan las bandas de vibración de tensión asimétrica del grupo C-O-C identificando el grado de esterificación e indican la abundancia de los grupos metoxilos (C-O-C). Los espectros obtenidos presentan un alargamiento acentuado en 1734.66 y 1731.76 cm^{-1} que representan a los grupos carbonilos de los grupos COOH y de los grupos acetilos (COOCH_3) de la pectina. La presencia de ambas bandas confirma el alto grado de esterificación y por lo tanto se consideraría como pectina de alto metoxilo. Se manifiestan unos picos en 1012.45 y 1020.16 cm^{-1} respectivamente que confirma un alto grado de esterificación en la pectina de cáscara de Aloe vera y la pectina comercial. Comparando con los resultados reportados con Hernández et al. (2017) igualmente el espectro IR de la pectina extraída del bagazo de sábila presenta bandas de particular importancia para la determinación del grado de esterificación, las cuales aparecen alrededor de 1581 cm^{-1} y 1712 cm^{-1} y son indicadoras grupos carboxilos libres y esterificados provenientes de la pectina. También se presenta una banda ancha a 3100 cm^{-1} debido a las vibraciones de tensión del OH^- , lo cual indica que existen muchos grupos OH^- en la estructura de la pectina. La banda de 2930 cm^{-1} corresponde a la tensión del C – H de los grupos CH_2 .

En la tercera hipótesis específica, se logró diseñar un proceso para la extracción de pectina a partir de la hoja de sábila (*Aloe barbadensis miller*) mediante hidrólisis ácida para ello se describió la línea de producción y se dimensionaron los equipos a escala industrial en función del proceso a nivel de laboratorio, para ello fue necesario elaborar un diagrama de operaciones en el cual se plasmó el orden cronológico de las actividades de la investigación, se establecieron 14 actividades de las cuales 7 fueron operaciones, 6 mixtas y 1 almacenamiento, el proceso a nivel industrial requiere un costo total de 11,51 USD por cada kilogramo de pectina producida, el precio de venta será de 13,81 USD por un kilo de pectina obteniendo un margen de contribución de 2,30 USD en cada venta (20% de utilidad). Debido al color de la pectina obtenida, no cumple con las características demandadas para la elaboración de productos donde el color es una exigencia, como en las industrias lácteas. Se recomienda el uso de esta pectina para mermeladas y compotas de frutas y vegetales, así como también para pulpas de frutas, conservas y algunos productos de panadería y postres. Si los clientes requieran pectina de color claro, se realizaría un proceso de

filtrado con carbón activado de la pectina líquida antes de agregar el alcohol para precipitar. De esta manera el color será menor, y la acidez también bajaría, dejando finalmente un producto útil para procesos lácteos, por tanto, el precio de venta al público de la pectina purificada deberá ser mayor.

CONCLUSIONES

- El proceso de obtención de pectina se efectuó en laboratorio utilizando como medio de extracción el ácido clorhídrico 37%; para la precipitación se utilizó etanol al 96°, el secado se realizó a una temperatura de 45 °C, logrando obtener 1.835g de pectina por cada 50 g en promedio de materia prima (R: 4.36%) aplicando la hidrólisis ácida en condiciones de 1.75 pH, temperatura de 80°C por 60 minutos.
- Se realizó la caracterización fisicoquímica y microbiológica de la pectina, dónde se obtuvieron los siguientes valores: Humedad 7,37%, Cenizas 6,270%, Ácido galacturónico 35,07%, Metoxilos 6,95%, Esterificación 54,56%, Aerobios mesófilos viables < 10 UFC/g y Mohos, levaduras < 10 UFC/g. Estos resultados cumplen con las especificaciones de la Norma Europea E-440 para pectinas comerciales.
- Se comparó la pectina obtenida a partir de la cáscara de Aloe vera con la pectina comercial mediante espectroscopia infrarroja, en este caso ambas pectinas presentaron espectros con un pico ancho representativo en 3338,18 y 3378,67 cm^{-1} respectivamente y esto se debe a las vibraciones de tensión del grupo O-H. La banda de 2943.8 y en 2962.13 cm^{-1} en cada IR corresponde a la tensión del C-H de los grupos CH_2 . Los espectros obtenidos presentan un alargamiento acentuado en 1734.66 y 1731.76 cm^{-1} que representan a los grupos carbonilos de los grupos COOH y de los grupos acetilos (COOCH_3) de la pectina. La presencia de ambas bandas confirma el alto grado de esterificación y por lo tanto se considera como pectina de alto metoxilo; también se observan picos en 1012.45 y 1020.16 cm^{-1} respectivamente que confirma un alto grado de esterificación en la pectina obtenida de la cáscara de Aloe vera y la pectina comercial.
- A escala laboratorio, las condiciones óptimas para la extracción de la pectina fueron de pH 1.75, temperatura de 80°C por 60 minutos con las cuales se obtuvo un rendimiento del 4,36%. Para la extracción fue necesario realizar un pre tratamiento de la materia prima (inactivación enzimática), además se utilizó como medio de extracción el ácido clorhídrico 37%, la relación de agua-cáscara fue de 1/25 y para la precipitación se utilizó alcohol etanol al 96° con una relación del 40 % del líquido de hidrólisis. Con los datos obtenidos a escala laboratorio se diseñó el proceso para la extracción de pectina, el cual permite procesar 222 kg de cáscara de Aloe vera, el mismo que implica: cálculos técnicos, dimensionamiento, tipo de materiales y presupuesto. Se diseñó lo siguientes equipos: tanque de lavado y desinfección (1.66 m^3) tanque de inactivación enzimática (1.66 m^3), tanque de hidrólisis ácida (2.43 m^3), filtros prensa (7.6 m^3), tanque de concentración y precipitación (3.45 m^3), secador (cap. 250 Kg) y finalmente el molino de bolas (Cap. 200 Kg); equipos necesarios para la línea de producción de pectina, además como se trata de un producto de uso alimentario el material de los equipos seleccionado es acero inoxidable (AISI 304).

RECOMENDACIONES

- Para realizar la inactivación enzimática debe asegurarse que se llegue a la temperatura de ebullición del agua, así se podrá inhibir la actividad de las enzimas pectinasas y será más eficiente el proceso de extracción.
- Para evitar una calidad indeseada de la pectina que puede ser producida por un proceso de caramelización durante el secado es recomendable no usar temperaturas mayores de 75°C.
- Se recomienda en la etapa de filtración, realizar un proceso de destilación para la recuperación del etanol a presión reducida y control de temperatura entre 40-70° C.
- Se recomienda el uso de la pectina obtenida para la elaboración de mermeladas y compotas de frutas y vegetales, así como también para pulpas de frutas, conservas y algunos productos de panadería y postres. Si se desea una pectina de color claro, se recomienda realizar un proceso de filtrado con carbón activado de la pectina líquida antes de agregar el alcohol para precipitar. De esta manera el color será menor, y la acidez también bajaría.

BIBLIOGRAFÍA

ADETUNJI, L.; et al. "Advances in the pectin production process using novel extraction techniques: A review" *Food Hydrocolloids* [en línea], 2017, 62(1), pp. 239-250. [Consulta: 27 julio 2021]. ISSN 0268005X. Disponible en: [10.1016/j.foodhyd.2016.08.015](https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.08.015)

ALFA, E. & ABILASHA, D. "Extraction and characterization of pectin from lemon peel". *International Journal of Advanced Science and Research* [en línea], 2016, 1(12), pp. 12-15. [Consulta: 23 julio 2021]. Disponible en: www.allsciencejournal.com

ALIBABA. *Pelador Industrial pequeño de Aloe Vera, máquina peladora* [Blog], 2021. [Consulta: 16 agosto 2021]. Disponible en: <https://bit.ly/3oPOkIZ>

ALMEIDA, C. & CARRILLO, I. Diseño de un proceso piloto de extracción de pectina como gelificante a partir de residuos de la naranja (*Citrus Sinensis*) [en línea]. (Trabajo de Integración Curricular). (Pregrado) Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador, 2017. pp. 1- 67. [Consulta: 9 agosto 2021]. Disponible en: <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/2715>

AVEDAÑO, D. & SUÁREZ, S. Análisis de factibilidad de exportación de Aloe Vera desde la provincia de Santa Elena hacia el mercado Suizo y su impacto económico [en línea]. (Trabajo de Integración Curricular). (Pregrado) Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador, 2018. pp. 1-85. [Consulta: 15 mayo 2021]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/30315>

BOZZINI, S., et al. "Aloe vera pectin: from extraction to matrices for regenerative medicine". *Society For Biomaterials* [en línea], 2004, 25 (2), pp. 112-123. [Consulta: 7 julio 2021]. Disponible en: <http://abstracts.biomaterials.org/data/papers/2011/900.pdf>

BRAVO, A. & CONDO, E. Comparación de la pectina obtenida a partir del aprovechamiento de las cáscaras de banano y cacao por el método de hidrólisis ácida [en línea]. (Trabajo de Integración Curricular). (Pregrado) Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil, 2015. pp. 1-119. [Consulta: 5 abril 2021]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/8938>

BRICEÑO, S. & COBOS, S. "Escalamiento del proceso de mezclado de emulsiones O/W concentradas". *Ciencia e Ingeniería* [en línea], 2004, 25 (3), pp. 125-133. [Consulta: 18 agosto 2021]. ISSN 2244-8780. Disponible en: <http://revistas.saber.ula.ve/index.php/cienciaingenieria/article/view/351>

BRUMMER, Y. & CUI, S. "Detection and determination of polysaccharides in foods". *Food Polysaccharides and Their Applications: Second Edition* [en línea], 2016, pp. 675-712. [Consulta: 20 julio 2021]. DOI 10.1201/9781420015164-25. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/300038881_Detection_and_Determination_of_Polysaccharides_in_Foods

CALDERÓN, C. & CONCUÁ, C. Extracción de pectina de *Malus domestica* (manzana) y *Daucus carota* (zanahoria) para la utilización en suspensiones y emulsiones cosméticas [en línea] (Trabajo de Integración Curricular). (Pregrado) Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. 2015. pp. 1-90. [Consulta: 7 junio 2021]. Disponible en: <https://biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/Tesis/QF1385.pdf>

CEDEÑO, L. Evaluación del uso de la pectina obtenida de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la elaboración de mermelada [en línea] (Trabajo de Integración Curricular). (Pregrado) Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador. 2019. [Consulta: 5 mayo 2021]. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/12713/1/T-UCSG-PRE-TEC-CIA-50.pdf>

CHASQUIBOL, N., et al. "Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana". *Ingeniería Industrial* [en línea], 2008, 26, pp. 175-199. [Consulta: 3 abril 2021]. ISSN 1025-9929. DOI 10.26439/ing.ind2008.n026.640. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=337428492010>

CHEN, K.; et al. "Extraction and characterization of pectin from the peel powder of *Aloe barbadensis*". *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* [en línea], 2018, 185(1), pp. 123- 134. ISSN 17551315. DOI 10.1088/1755-1315/185/1/012028

DRANCA, F. & OROIAN, M. "Extraction, purification and characterization of pectin from alternative sources with potential technological applications". *Food Research International* [en línea], 2018, 113, pp. 327-350. [Consulta: 20 julio 2021]. ISSN 18737145. DOI 10.1016/j.foodres.2018.06.065. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.065>

EL TELÉGRAFO. *La sábila tiene beneficios curativos ancestrales que continúan vigentes.* [Blog]. 2021. [Consulta: 3 abril 2021]. Disponible en: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/sociedad/6/sabila-beneficios-curativos-ancestrales>

EL UNIVERSO. *Pectina ecuatoriana: Dos estudiantes le dan un nuevo uso a la cáscara de Cacao.* [Blog]. 2020. [Consulta: 10 mayo 2021]. Disponible en: <https://www.eluniverso.com/noticias/2020/01/29/nota/7714701/dos-estudiantes-espol-elaboraron-pectina-base-cáscaras-cacao/>

FELLAH, A., et al. "Determining the degree of methylesterification of pectin by ATR/FT-IR: Methodology optimisation and comparison with theoretical calculations". *Carbohydrate Polymers* [en línea], 2009, 78 (4), pp. 847-853. [Consulta: 10 mayo 2021]. ISSN 01448617. DOI 10.1016/j.carbpol.2009.07.003

FERREIRA, S. *Pectinas: aislamiento, caracterización y producción a partir de frutas tropicales y de los residuos de su procesamiento industrial.* Bogotá, Colombia: Departamento de Farmacia. ISBN 9789587018622, 2007, pp. 12-34.

FLORAMATIC. *El poder del Aloe Vera.* [Blog]. 2020. [Consulta: 3 junio 2021]. Disponible en: <https://www.floramatic.cl/el-poder-del-aloe-vera/>

FOREVER LIVING. *Aloe Vera.* [Blog]. 2019. [Consulta: 3 abril 2021]. Disponible en: <https://foreverliving.com/ecu/es-ec/home>

GALEAS, Lusiana. Diseño para un proceso para la obtención de la corteza del limón de la variedad Tahití (*Citrus latifolia Tan.*). [en línea]. (Trabajo de Integración Curricular). (Pregrado) Escuela Politécnica Nacional Quito, Ecuador. 2015. pp. 1-214. [Consulta: 15 agosto 2021]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11184/1/CD-6413.pdf>

GALKOWSKA, D.; et al. "Chemistry of Pectin and Its Pharmaceutical Uses : A Review". *Silpakorn University Open Journal Systems* [en línea], 2003, 3 (4), pp. 206-228. [Consulta: 15 abril 2021]. ISSN 1344-7882. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/215872059_Chemistry_of_pectin_and_its_pharmaceutical_uses_A_review

GRUMEZESCU, A. *Food Packaging - Nanotechnology in the Agri-Food Industry* [en línea]. Elsevier. 2017. [Consulta: 18 mayo 2021]. Disponible en: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00CRUDG1/food-packaging-nanotechnology/pectin-sources-extraction>

HERBSTREIN & FOX. "The Specialists for pectin". *KG Pekin Fabriken* [en línea], 2015. pp. 1-36. [Consulta: 5 septiembre 2021]. Disponible en: <https://www.yumpu.com/en/document/read/8381024/the-specialists-for-pectin-herbstreith-fox>

HERNANDEZ, C. et al. "Hidrólisis ácida del bagazo de aloe vera (sábila) para la obtención de pectina. *Centro azucar* [en línea], 2017, 44 (2), pp. 18-26. ISSN: 2223- 4861. [Consulta: 5 septiembre 2021]. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v44n2/caz03217.pdf>

HOSSEINIAN, F., et al. "Aloe vera". *Dietary Fiber Functionality in Food and Nutraceuticals* [en línea]. 2017. pp. 263-264. [Consulta: 3 junio 2021]. Disponible en: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011B79F5/dietary-fiber-functionality/aloe-vera>

INECC. *Sábila (Aloe vera)*. [Blog]. 1994. [Consulta: 3 junio 2021]. Disponible en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/74/sabila.html>

INEN 1842. *Norma Técnica Ecuatoriana: Productos vegetales y de frutas, determinación de pH*. [en línea], 2013. [Consulta: 12 mayo 2021]. Disponible en: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_iso_1842_extracto.pdf

KYOMUGASHO, C.; et al. "FT-IR spectroscopy, a reliable method for routine analysis of the degree of methylesterification of pectin in different fruit- and vegetable-based matrices". *Food Chemistry* [en línea], 2015, 176, pp. 82-90. ISSN 18737072. [Consulta: 23 mayo 2021]. Disponible en: [10.1016/j.foodchem.2014.12.033](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.12.033)

LIU, C.; et al. "Extraction, purification, structural characteristics, biological activities and pharmacological applications of acemannan, a polysaccharide from aloe vera: A review". *Molecules* [en línea], 2019, 24 (8). ISSN 14203049. [Consulta: 15 mayo 2021]. Disponible en: [10.3390/molecules24081554](https://doi.org/10.3390/molecules24081554)

LLIUYACC, R. Efecto de la temperatura, tiempo y pH en el rendimiento de extracción de pectina en cáscara de Tumbo Serrano (*Passiflora tripartita L.*) [en línea]. (Trabajo de Integración Curricular). (Pregrado) Universidad Nacional de Huancavelica, Acobamba, Perú. 2018. pp. [Consulta: 12 mayo 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2621>

MCCABE, W., et al. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. 7a. México: McGraw-Hill. ISBN 978-970-10-6174-9. 2007. pp. 1-1211.

METHACANON, P.; et al. "Pomelo (*Citrus maxima*) pectin: Effects of extraction parameters and its properties". *Food Hydrocolloids* [en línea], 2014, 35, pp. 383-391. [Consulta: 17 julio 2021]. ISSN 0268005X. DOI 10.1016/j.foodhyd.2013.06.018. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.06.018>

MORLEY, J. Análisis de factibilidad para la creación de una fábrica de pectina [en línea] (Trabajo de Integración Curricular). (Maestría) Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador. 2015. [Consulta: 3 abril 2021]. Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/669/1/T-UIDE-0614.pdf>

MORRIS, G., & BINHAMAD, H. "Pectin: Technological and Physiological Properties". *Pectin: Technological and Physiological Properties* [en línea], 2020. pp. 61-82. [Consulta: 3 abril 2021]. Disponible en: 10.1007/978-3-030-53421-9

MUHAMMAD, K., et al. "High methoxyl pectin from dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peel". *Food Hydrocolloids* [en línea], 2014, 42 (2), pp. 289-297. [Consulta: 12 abril 2021]. ISSN 0268005X. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.03.021>

NIZAMA, K. Obtención y caracterización de pectina a partir de cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.) [en línea] (Trabajo de Integración Curricular). (Pregrado) Universidad Nacional de Piura, Piura, Perú. 2015. [Consulta: 4 abril 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/382>

OCHOA, M. Extracción de pectina en dos estados de maduración de achotillo (*Nephelium lappaceum*) para la elaboración de mermeladas [en línea] (Trabajo de Integración Curricular). (Pregrado) Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador. 2013. [Consulta: 9 mayo 2021]. Disponible en: <http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/242>

OROIAN, M. & ESCRICHE, I. "Antioxidants: Characterization, natural sources, extraction and analysis". *FRIN* [en línea], 2015, 74, pp. 10-36. [Consulta: 21 julio 2021]. ISSN 0963-9969. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2015.04.018>

RAMÍNEZ, C. Obtención de pectina a partir de cáscara de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) y zanahoria amarilla (*Daucus carota*) [en línea] (Trabajo de Integración Curricular). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2019. [Consulta: 2 abril 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13098>

RENTERIA, J. Procesamiento de frutas de maracuyá (*Pasiflora edulis*) para obtención de pectina, en Machala, 2013 [en línea] (Trabajo de Integración Curricular). (Pregrado) Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador. 2014. [Consulta: 5 mayo 2021]. Disponible en: http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/1045/7/CD309_TESIS.pdf

SAAVEDRA, L.A. Uso integral del maracuyá (*Passiflora Edulis Flavicarpa*) en la extracción de pectina y formulación de mermeladas [en línea] (Trabajo de Integración Curricular). (Pregrado) Universidad Central del Ecuador Quito, Ecuador. 2015. [Consulta: 3 mayo 2021]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/4774>

SCHIERBAUM, F. "Gum Technology in the Food Industry". *Starch - Stärke* [en línea], 1971. 23 (10), pp. 372-373. [Consulta: 3 junio 2021]. ISSN 00389056. DOI 10.1002/star.19710231010. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/star.19710231010>

SERRAT, M. "Extracción y caracterización de pectina de pulpa de café de la variedad Robusta Extraction and characterization of coffee pulp pectin from Robusta variety". *Rev. Cubana Quím* [en línea], 2018, 30 (3), pp. 522-538. [Consulta: 2 mayo 2021]. ISSN 2224-5421. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/ind/v30n3/ind11318.pdf>

SHARMA, S., & MUDHOO, A. "Handbook of Applied Biopolymer Technology - Synthesis, Degradation and Applications" *Londres, England: Royal Society of Chemistry.* [en línea], 2011., [Consulta: 14 junio 2021]. ISBN 978-1-62198-141-1. Disponible en: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00A9ZH9D/handbook-applied-biopolymer/ft-ir>

SHARMA, S., & MUDHOO, A. *A Handbook of Applied Biopolymer Technology Synthesis, Degradation and Applications* [en línea], 2011. [Consulta: 2 abril 2021]. ISBN 978-1-84973-151-5. Disponible en: <https://pubs.rsc.org/en/content/ebook/978-1-84973-151-5>

SILA, D.; et al. "Pectins in Processed Fruits and Vegetables : Part II — Structure – Function Relationships". *Comprehensive reviews in food science and food safety* [en línea], 2009, 8, pp. 86-104. [Consulta: 22 julio 2021]. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1541-4337.2009.00071.x>

SILVA, N.; et al. "Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana". *Ingeniería Industrial* [en línea], 2018, 26, pp. 175-199. [Consulta: 6 septiembre 2021]. ISSN 1025-9929. Disponible en: <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=337428492010>

SINGH, P. & HELDMAN, D. *Introduction to food engineering*. 4a. Burlington, USA: Elsevier. ISBN 978-0-12-370900-4, 2009, pp.45-88.

TOAPANTA, E. Diseño de un proceso para la obtención de pectina en medio ácido a partir de la cáscara de papa (*solanum tuberosum*) [en línea] (Trabajo de Integración Curricular). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2018. [Consulta: 4 mayo 2021]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/10498>

TOMADONI, B. & ALVAREZ, A. "Fabricación y caracterización de materiales verdes a base de pectina". *Advanced Green Materials* [en línea], 2020, 5 (4), pp. 123-156. [Consulta: 3 mayo 2021]. DOI 10.1016 / B978-0-12-819988-6.00010-0. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/346245510_Fabrication_and_characterization_of_pectin-based_green_materials

UNITED STATES PHARMACOPEIAL CONVENTION. *Food Chemicals Codex*. 11a. S.l.: s.n. ISBN 978-376927212, 2018, pp. 124-158.

VARGAS, F. Extracción de pectina a partir de las cáscaras de dos variedades de pitahayas [en línea] (Trabajo de Integración Curricular). (Pregrado) Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador. 2019. [Consulta: 5 mayo 2021]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/19812/1/T-UCE-0008-CQU-177.pdf>

VEGA, A.; et al. "El Aloe vera (*Aloe barbadensis miller*) como componente de alimentos funcionales". *Revista de Nutrición Chilena* [en línea], 2005, 32 (3), pp. 1-12. [Consulta: 3 junio 2021]. ISSN 0716-1549. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182005000300005

VIVAR, M. Estudio de factibilidad para la creación de una planta productora y comercializadora de pulpa de tamarindo ubicada en el cantón Arenillas, provincia de El Oro [en línea] (Trabajo de Integración Curricular). (Pregrado) Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador. 2020. [Consulta: 4 abril 2021]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/9876>

YAM, K. *Wiley Encyclopedia of Packaging Technology*. 3a. S.l.: John Wiley & Sons. ISBN 978-0-470-08704-6, 2009, pp. 234-355.

ZEGADA, V. "Pectin Extraction From Orange Peels Waste By Microwave Assisted Acid". *Centro de Investigaciones de Procesos Industriales (CIPI)* [en línea], 2015, 1 (15), pp. 65-76. [Consulta: 23 mayo 2021]. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2518-44312015000100007

ZHANG, Y. *Processing and Development of Polysaccharide-Based Biopolymers for Packaging Applications* [en línea]. Cambridge, Estados Unidos: Elsevier. 2020. [Consulta: 5 junio 2021]. ISBN 978-0-12-818795-1. Disponible en: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt012H2VZ1/processing-development/moisture-permeability>

ANEXOS

ANEXO A: ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE LA PECTINA

Bloque	Tratamiento	Humedad (%)	Cenizas (%)	Contenido de Metoxilo (%)	Grado de esterificación (%)	Porcentaje de ácido anhídrido galacturónico (AAG)
I	T ₁	9.44	4.69	6.20	50.50	33.81
	T ₂	12.12	6.30	5.20	48.60	30.93
	T ₃	9.88	7.38	6.20	52.04	33.83
	T ₄	9.58	8.21	6.19	52.31	33.77
	T ₅	7.67	8.43	7.96	50.16	28.63
	T ₆	6.08	4.42	0.73	50.00	34.36
	T ₇	6.24	8.53	8.48	59.32	46.03
	T ₈	7.35	2.98	0.93	51.72	35.10
	T ₉	8.33	7.58	1.38	71.88	34.07
II	T ₁	6.53	5.03	6.45	55.34	33.45
	T ₂	5.45	4.34	6.23	55.32	35.67
	T ₃	4.65	3.4	5.45	52.33	32.65
	T ₄	5.36	4.32	6.21	50.44	35.69
	T ₅	7.4	5.01	7.54	53.76	35.87
	T ₆	5.23	4.42	5.34	55.62	36.75
	T ₇	6.02	4.32	5.34	61.54	38.54
	T ₈	5.34	5.31	5.23	55.78	34.65
	T ₉	3.5	4.65	6.48	50.34	33.31
III	T ₁	5.43	5.23	6.34	63.74	35.42
	T ₂	4.67	4.78	5.98	50.69	36.12
	T ₃	5.04	5.06	4.76	49.53	39.76
	T ₄	6.54	5.64	7.47	55.87	40.64
	T ₅	7.03	6.65	5.34	59.76	35.42
	T ₆	5.63	5.43	5.34	60.64	34.11
	T ₇	6.34	4.99	5.37	50.03	34.21
	T ₈	7.03	5.64	4.65	50.55	36.58
	T ₉	6.07	4.23	4.56	68.4	39.69
	Prom	6.66	5.44	5.46	55.04	35.52
	Min	3.50	2.98	0.73	48.60	28.63
	Max	12.12	8.53	8.48	71.88	46.03

ANEXO B: ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE LA PECTINA



saqmic

LABORATORIO DE SERVICIOS ANALÍTICOS
QUÍMICOS Y MICROBIOS EN AGUA Y ALIMENTOS

INFORME DE ANÁLISIS BACTEREOLÓGICOS

CLIENTE: Jessica Paola Pilco Rojas
UBICACION: Riobamba
TIPO DE MUESTRA: Pectina a partir de la hoja de Aloe Vera
FECHA DE ENTREGA: 28 de julio del 2021

Examen Físico

COLOR: Blanquecino
OLOR: Inolora
ASPECTO: Polvo granular, fino, homogéneo

Examen Bacteriológico

Determinaciones	Unidades	*Valores de referencia	Resultados
Aerobios Mesófilos	UFC/g	5×10^2	< 10
Mohos y Levaduras	UFC/g	1×10^2	< 10

*Valores de referencia para pectina de Aditivos Alimentarios E-440 (I)

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.

RESPONSABLE TECNICO LABORATORIO

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

Avenida 9 de Octubre # 12 y Madrid
Contáctanos: ☎0998580374 ☎032 942 322
Saqmic Laboratorio
Riobamba - Ecuador

saqmic

ANEXO C: OBTENCIÓN DE LAS HOJAS DE SÁBILA



a.



b.



c.



d.

NOTAS

- a. Eliminación de impurezas.
- b. Lavado de las hojas de sábila.
- c. Corte de las hojas de sábila.
- d. Extracción del del de *Aloe vera*.

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Aprobado | <input type="checkbox"/> Preliminar |
| <input type="checkbox"/> Certificado | <input type="checkbox"/> Por aprobar |
| <input checked="" type="checkbox"/> Información | <input type="checkbox"/> Por calificar |

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

REALIZADO POR:
Jessica Pilco

PROCESO EXPERIMENTAL

LÁMINA	ESCALA	FECHA
1	1:10	30/08/2021

ANEXO D: PRETRATAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA



a.



b.



c.



d.

NOTAS

- a. Determinación del total de las hojas de sábila
- b. Inactivación enzimática.
- c. Secado de las hojas de sábila.
- d. Almacenamiento y pesaje de las hojas de sábila secas.

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

- Aprobado
- Preliminar
- Certificado
- Por aprobar
- Información
- Por calificar

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

REALIZADO POR:
 Jessica Pilco

PROCESO EXPERIMENTAL

LÁMINA	ESCALA	FECHA
1	1:10	30/08/2021

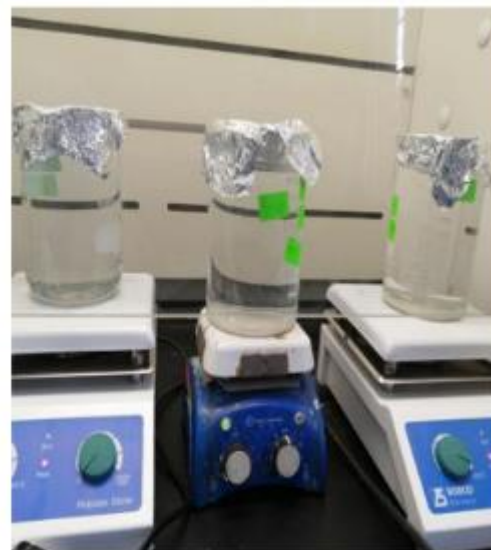
ANEXO E: HIDRÓLISIS ÁCIDA



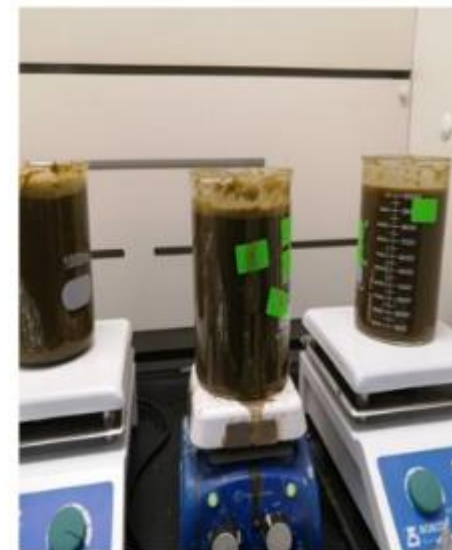
a.



b.



c.



d.

NOTAS

- a. Almacenamiento de las hojas pulverizadas
- b. Pesaje
- c. Agua acidificada
- d. Proceso de hidrólisis

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

- Aprobado
- Preliminar
- Certificado
- Por aprobar
- Información
- Por calificar

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

REALIZADO POR:
Jessica Pilco

PROCESO EXPERIMENTAL

LÁMINA	ESCALA	FECHA
1	1:10	30/08/2021

ANEXO F: OBTENCIÓN DE LA PECTINA



a.



b.



c.



d.

NOTAS

- a. Agua hidrolizada al ambiente.
- b. Proceso de filtrado 1 y 2.
- c. Pectina líquida.
- d. Proceso de precipitación.

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Aprobado | <input type="checkbox"/> Preliminar |
| <input type="checkbox"/> Certificado | <input type="checkbox"/> Por aprobar |
| <input checked="" type="checkbox"/> Informació | <input type="checkbox"/> Por calificar |

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

REALIZADO POR:
Jessica Pileo

PROCESO EXPERIMENTAL

LÁMINA	ESCALA	FECHA
1	1:10	30/08/2021

ANEXO G: CARACTERIZACIÓN DE LA PECTINA



a.



b.



c.



d.

NOTAS

- a. Preparación de la solución.
- b. Proceso para la determinación del peso equivalente y acidez
- c. Proceso para la determinación del grado de esterificación y contenido de metoxilo.
- d. Proceso para la determinación del porcentaje de ácido.

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Aprobado | <input type="checkbox"/> Preliminar |
| <input type="checkbox"/> Certificado | <input type="checkbox"/> Por aprobar |
| <input checked="" type="checkbox"/> Información | <input type="checkbox"/> Por calificar |

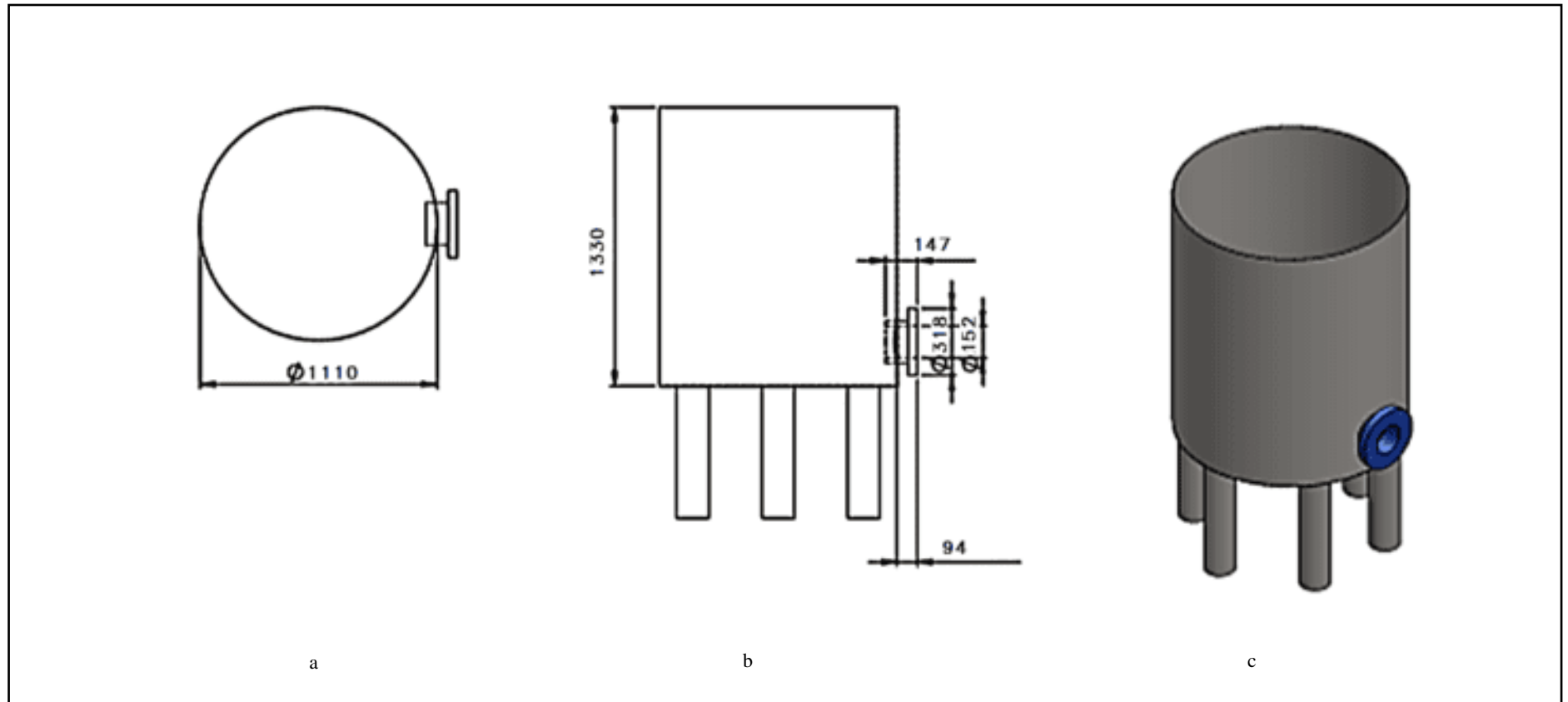
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

REALIZADO POR:
Jessica Pilco

PROCESO EXPERIMENTAL

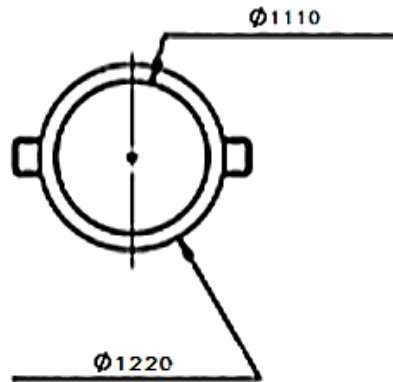
LÁMINA	ESCALA	FECHA
1	1:10	30/08/2021

ANEXO H: TANQUE DE LAVADO Y DESINFECCIÓN

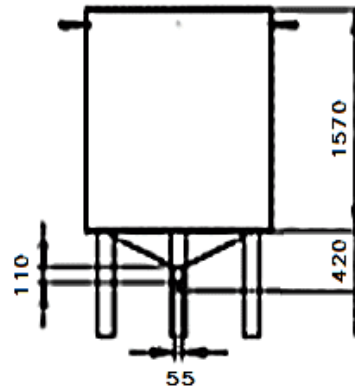


<p>NOTAS</p> <p>a. Vista superior del tanque de lavado</p> <p>b. Vista lateral del tanque de lavado</p> <p>c. Tanque de lavado y dedinfección</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</p> <p><input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar</p> <p><input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>REALIZADO POR:</p> <p>Jessica Pilco</p>	DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1	1:10	30/08/2021

ANEXO I: TANQUE DE INACTIVACIÓN ENZIMÁTICA



a



b



c

NOTAS

- a. Vista superior del tanque de inactivación enzimática
- b. Vista lateral del tanque de inactivación enzimática
- d. Tanque de inactivación enzimática

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

- Aprobado
- Preliminar
- Certificado
- Por aprobar
- Informació
- Por calificar

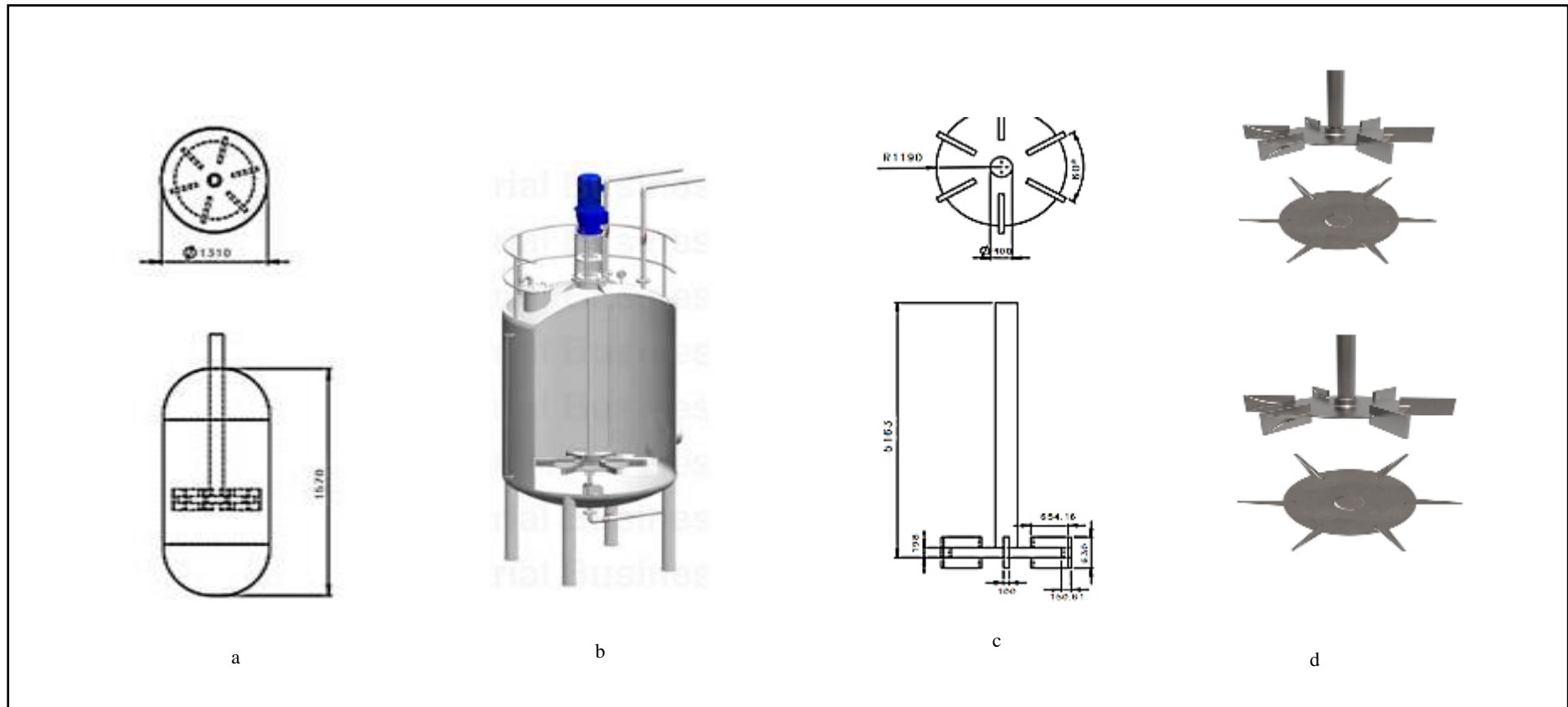
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

REALIZADO POR:
Jessica Pileo

DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS

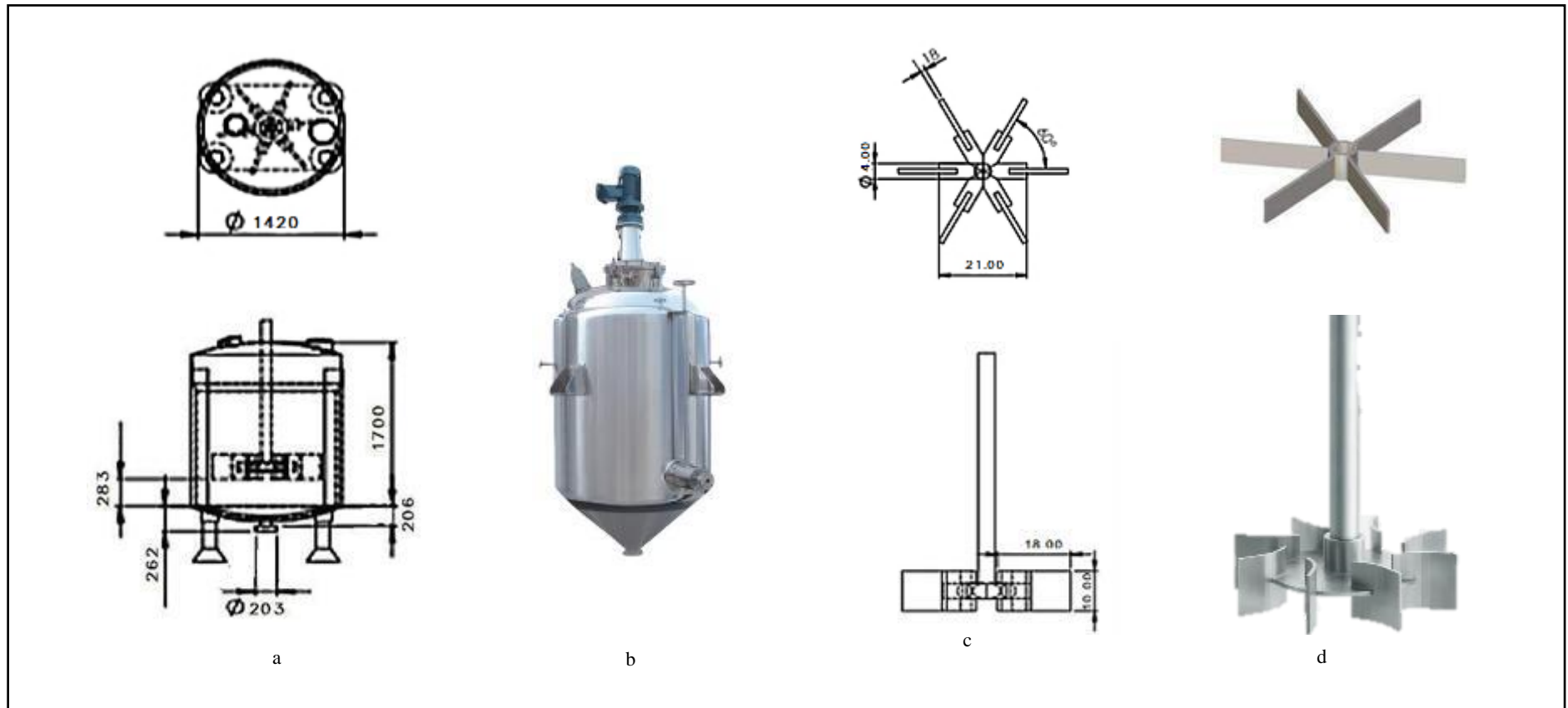
LÁMINA	ESCALA	FECHA
1	1:10	30/08/2021

ANEXO J: TANQUE DE HIDRÓLISIS ÁCIDA



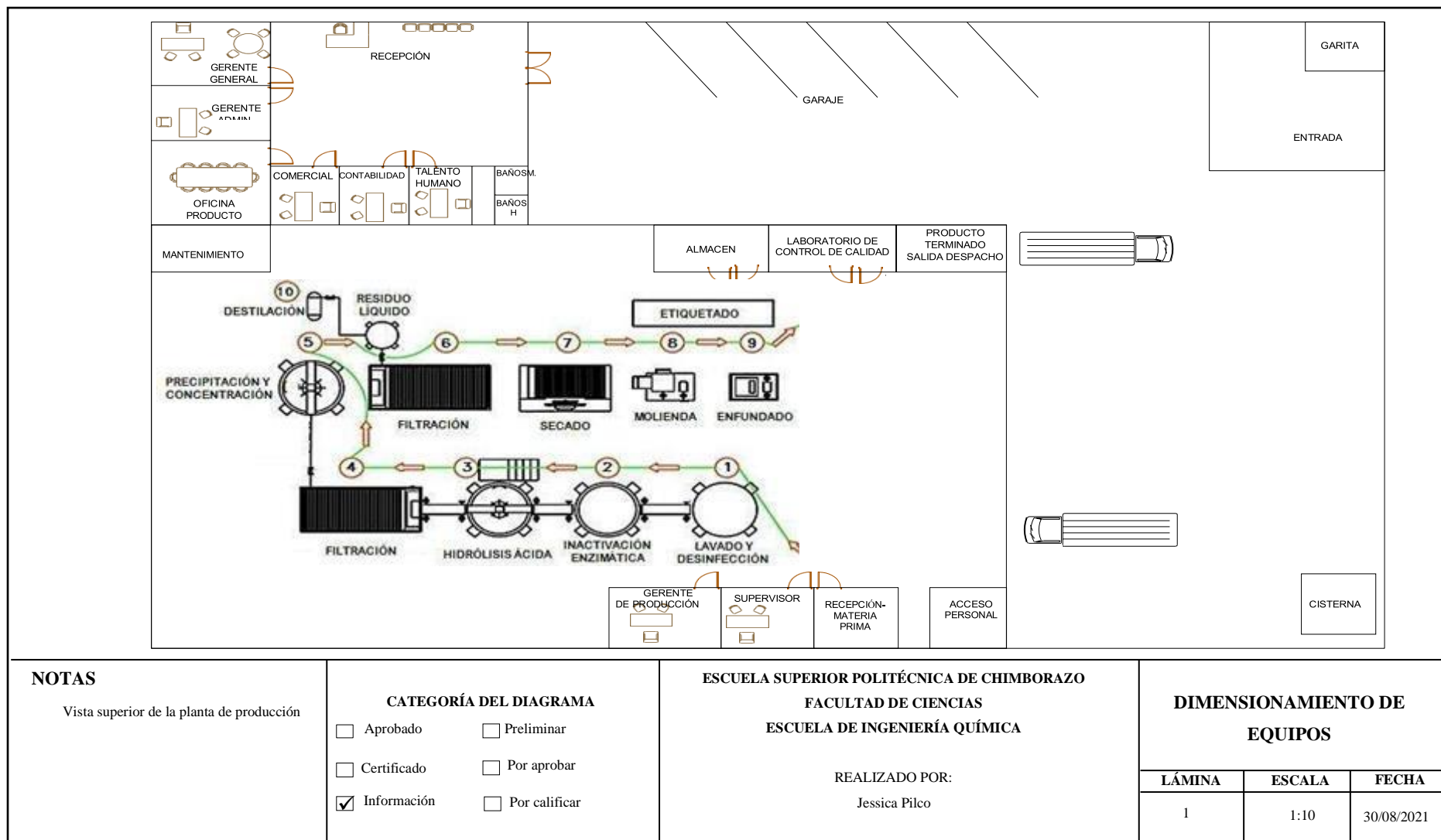
<p>NOTAS</p> <p>a. Vista superior y lateral del tanque de hidrólisis ácida</p> <p>b. Tanque de hidrólisis ácida</p> <p>c. Vista superior y lateral del agitador para el tanque de hidrólisis ácida</p> <p>d. Agitador del tanque de hidrólisis ácida</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</p> <p><input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar</p> <p><input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>REALIZADO POR:</p> <p>Jessica Pilco</p>	<p>DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>LÁMINA</th> <th>ESCALA</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1:10</td> <td>30/08/2021</td> </tr> </tbody> </table>	LÁMINA	ESCALA	FECHA	1	1:10	30/08/2021
LÁMINA	ESCALA	FECHA							
1	1:10	30/08/2021							

ANEXO K: TANQUE DE CONCENTRACIÓN Y PRECIPITACIÓN



<p>NOTAS</p> <p>a. Vista superior y lateral del tanque de concentración y precipitación</p> <p>b. Tanque de del tanque de concentración y precipitación</p> <p>c. Vista superior y lateral del agitador para el del tanque de concentración y precipitación</p> <p>d. Agitador del tanque de precipitación</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</p> <p><input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar</p> <p><input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>REALIZADO POR:</p> <p>Jessica Pilco</p>	DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1	1:10	30/08/2021

ANEXO L: DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA PROCESADORA DE PECTINA



NOTAS

Vista superior de la planta de producción

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Aprobado | <input type="checkbox"/> Preliminar |
| <input type="checkbox"/> Certificado | <input type="checkbox"/> Por aprobar |
| <input checked="" type="checkbox"/> Información | <input type="checkbox"/> Por calificar |

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
 FACULTAD DE CIENCIAS
 ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

REALIZADO POR:
 Jessica Pilco

DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS

LÁMINA	ESCALA	FECHA
1	1:10	30/08/2021



esPOCH

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

*UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL*

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 07 / 03 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: <i>Jessica Paola Pilco Rojas</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: <i>Ciencias</i>
Carrera: <i>Ingeniería Química</i>
Título a optar: <i>Ingeniera Química</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.</i>

LEONARDO
FABIO MEDINA
NUSTE

Firmado digitalmente por LEONARDO FABIO
MEDINA NUSTE
Nombre de reconocimiento (DN): c=EC, o=BANCO
CENTRAL DEL ECUADOR, ou=ENTIDAD DE
CERTIFICACION DE INFORMACION-ECIRCE, l=QUITO,
serialNumber=0000621485, cn=LEONARDO FABIO
MEDINA NUSTE
Fecha: 2022.03.07 08:37:31 -05'00'



0336-DBRA-UTP-2022