



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN AGROINDUSTRIA

“DISEÑO DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN A ESCALA PILOTO DE
EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS CÍTRICOS”

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Línea de investigación: Gestión, producción, productividad, innovación y desarrollo
socioeconómico.

AUTOR:

LENIN HERNÁN CHILES LÓPEZ

DIRECTOR:

ING. JUAN CARLOS DE LA VEGA QUINTERO MSc.

Ibarra – Ecuador

2026



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0401918917		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Chiles López Lenin Hernán		
DIRECCIÓN:	Tufiño		
EMAIL:	lhchilesl@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	x	TELÉFONO MÓVIL:	0984317601

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Diseño de una línea de producción a escala piloto de extracción de pectina a partir de residuos cítricos
AUTOR (ES):	Chiles López Lenin Hernán
FECHA: DD/MM/AAAA	24/02/2026
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	☒ PREGRADO ☐ POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería Agroindustrial
DIRECTOR:	Ing. Juan Carlos de la Vega Quintero MSc.

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 24 días del mes de febrero del 2026

EL AUTOR:

.....

Chiles López Lenin Hernán

C.I: 0401918917

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TRABAJO EN INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 24 de febrero del 2026

Ing. Juan Carlos de la Vega Quintero MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normativas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f).....

Ing. Juan Carlos de la Vega Quintero MSc.

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificador del trabajo de integración Curricular titulado “Diseño de una línea de producción a escala piloto de extracción de pectina a partir de residuos cítricos”, elaborado por Chiles López Lenin Hernán, como requisito previo a la obtención del título de Ingeniera Agroindustrial, aprueba el presente informe de investigación, en virtud de que cumple con los requisitos académicos y metodológicos establecidos, en representación de la Universidad Técnica del Norte.

(f).....

Ing. Juan Carlos de la Vega Quintero MSc.

C.I: 1002958856

(f).....

Dr.C Marco Lara Fiallos PhD.

C.I: 1717227761

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a mi padre celestial por su misericordia, su infinito amor y por la fortaleza brindada en cada etapa de mi vida.

A mi familia, por cada granito de arena depositado en mi desarrollo profesional, gracias por su inmenso cariño y su constante motivación.

A mi novia, Yuleimi, por su bonita manera de amarme, por su apoyo incondicional y por no soltar mi mano en ningún instante.

A mi director de tesis, por su paciencia, orientación y profesionalismo, que permitieron el desarrollo correcto en cada etapa de esta investigación.

Finalmente, agradezco a todas las personas quienes me han rodeado en esta etapa universitaria, tanto docentes como compañeros, por los momentos vividos que me han permitido mejorar como persona y como profesional.

DEDICATORIA

A Dios, que toda la gloria y la honra sea para él.

A mi madre, Gelmer, mi hermana, mi sobrino, mi padre, mis abuelitas y demás familia, este logro es para ustedes por siempre acompañarme y guiarme en mis pasos.

A mi amada, solamente su existencia es mi mayor motivación (Cantares 4:9).

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I	1
Introducción	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Problema de investigación y justificación	2
1.2.1. Justificación	3
1.3. Preguntas de investigación.....	4
1.4. Objetivos de la investigación	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos	4
CAPÍTULO II.....	6
Marco teórico	6
2.1. Generalidades del limón.....	6
2.1.1. Limón meyer (<i>Citrus x Meyeri</i>)	6
2.1.2. Cáscaras del limón	7
2.2. Pectina	7
2.2.1. Clasificación de la pectina	8
2.2.2. Aplicación de la pectina en la industria alimentaria	9
2.3. Tecnologías para la extracción de pectina	10
2.4. Fases de la ingeniería de un proyecto	11
2.4.1 Ingeniería conceptual.....	11
2.4.2 Ingeniería básica	12
2.4.3 Ingeniería de detalle.....	12
2.5. Localización de la planta.....	12
2.6. Distribución de la planta	13
2.6.1. SLP (Sistematic Layout Planning)	14
CAPÍTULO III	15
Materiales y métodos	15
3.1. Enfoque y tipo de la investigación	15
3.2. Procedimiento de las fases de investigación	15

3.2.1. Fase 1: Identificación de Características Fisicoquímicas de la Cáscara de Limón.....	15
3.2.2. Fase 2: Análisis de las Diferentes Tecnologías de Extracción de Pectina para la Selección de Tecnología	18
3.2.3. Fase 3: Definición de la Ingeniería Conceptual de la Planta de Producción de Pectina a Partir de Residuos Cítricos.....	23
CAPÍTULO IV	27
Resultados y discusión	27
4.1. Datos obtenidos de los análisis fisicoquímicos realizados a la cáscara de limón de la variedad <i>Citrus x Meyeri</i>	27
4.2. Tecnologías para la extracción de pectina.....	29
4.2.1. Métodos y Tiempo de Extracción	29
4.2.2. Soluciones extraentes	31
4.2.3. Temperatura y pH.....	31
4.2.4. Calidad de la pectina	32
4.2.5. Selección de tecnología.....	32
4.3. Desarrollo de la ingeniería conceptual de la línea de producción de pectina.....	33
4.3.1. Estudio del producto.....	33
4.3.2. Capacidad del Diseño de la Planta	34
4.3.3. Localización	36
4.3.4. Proceso productivo	38
4.3.5. Distribución de la planta.....	45
CAPÍTULO V	48
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	48
5.1. Conclusiones	48
5.2. Recomendaciones.....	49
REFERENCIAS.....	50
ANEXOS	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Aplicación de la pectina en la industria alimentaria	9
Tabla 2 Propiedades fisicoquímicas evaluadas	17
Tabla 3 Cuadro informativo de tecnologías para la extracción de pectina.	19
Tabla 4 Escala de calificación para la complejidad del parámetro de extracción de pectina.....	20
Tabla 5 Escala de calificación del rendimiento de extracción	21
Tabla 6 Criterios de evaluación de la calidad de la pectina según el grado metoxilo	22
Tabla 7 Resultados de análisis fisicoquímicos de la cáscara de limón	27
Tabla 8 Matriz informativa de tecnologías	30
Tabla 9 Matriz decisional de tecnología	32
Tabla 10 Ficha técnica de la pectina cítrica	33
Tabla 11 Demanda proyectada de la pectina.....	35
Tabla 12 Matriz de selección de coordenadas.....	36
Tabla 13 Matriz decisional de localización mediante ponderación	38
Tabla 14 Especificaciones de equipos.....	44
Tabla 15 Método Guerchet	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Representación gráfica del limón Meyer.....	7
Figura 2	Modelo molecular general de la pectina.....	8
Figura 3	Clasificación de la pectina.....	9
Figura 4	Factores evaluables para la selección de la localización	13
Figura 5	Índice de colorimetría del limón.....	16
Figura 6	Representación gráfica de la demanda mediante la regresión lineal	34
Figura 7	Representación gráfica de la macro localización	37
Figura 8	Flujograma del acondicionamiento de la materia prima.....	39
Figura 9	Flujograma del proceso de extracción	40
Figura 10	Balance de masa del proceso de extracción de pectina	43
Figura 11	Distribución general de la planta.....	47

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1	Análisis de características fisicoquímicas de las cáscaras de limón	61
Anexo 2	Extracción de pectina a escala laboratorio	62
Anexo 3	Análisis del grado metoxilo de la pectina	63
Anexo 4	Reporte de turnitin	64

RESUMEN

La inexistencia de una planta productora de pectina en el Ecuador y la generación de cáscaras de cítricos, específicamente del limón de la variedad Meyer en la provincia de Imbabura han sido motivos que reflejaron la necesidad del diseño de una línea de producción de pectina a partir de las cáscaras de limón. Mediante el estudio de las características fisicoquímicas de las cáscaras de limón que comúnmente son consideradas como residuos agroindustriales permitieron demostrar tener un potencial para la extracción de pectina con un rendimiento del 26,6 %, asimismo se determinó en base al contenido de humedad (79,14 %) la importancia de un proceso de acondicionamiento de la materia prima que permitirá la prevención de desarrollo de moho y la inactivación enzimática. Además, se consideró el pH y cenizas como propiedades relevantes para la extracción de pectina, con valores de 4,41 y 2,58 respectivamente cumpliendo con los estándares establecidos. Por otro lado, este biopolímero protagoniza un rol importante en la industria alimentaria actuando como gelificante, espesante, emulsionante y estabilizante. En este contexto, el estudio analiza las diferentes tecnologías existentes para la extracción de pectina estableciendo criterios de decisión que permitieron la comparación entre ellas con el objetivo de seleccionar aquella que resulte ser más viable para una escala piloto. Pese a que la extracción por microondas presentó mayor ventaja en cuanto a calidad del producto, el método químico de hidrólisis ácida resultó ser la opción más adecuada para este objetivo debido a la simplicidad del proceso y el buen rendimiento del proceso. Una vez seleccionada la tecnología fue llevado a cabo el desarrollo de la ingeniería conceptual que incluyó el estudio del producto, capacidad del diseño de la planta, localización, proceso productivo, balance de masa, equipos/maquinaria y el layout de la planta.

Palabras clave: Pectina, residuos agroindustriales, características fisicoquímicas, ingeniería conceptual, tecnologías de extracción, hidrólisis ácida, layout de planta.

ABSTRACT

The lack of a pectin production plant in Ecuador and the generation of citrus peels, specifically from Meyer lemons in the Imbabura province, highlighted the need for a pectin production line using lemon peels. A study of the physicochemical characteristics of lemon peels, commonly considered agro-industrial waste, demonstrated their potential for pectin extraction, yielding 26.6%. Furthermore, the moisture content (79.14%) determined the importance of a raw material conditioning process to prevent mold growth and enzyme inactivation. pH and ash content were also considered relevant properties for pectin extraction, with values of 4.41 and 2.58, respectively, meeting established standards. Pectin plays a vital role in the food industry, acting as a gelling, thickening, emulsifying, and stabilizing agent. In this context, the study analyzes the different existing technologies for pectin extraction, establishing decision criteria that allowed for comparison between them in order to select the most viable one for a pilot scale. Although microwave extraction presented a greater advantage in terms of product quality, the chemical method of acid hydrolysis proved to be the most suitable option for this purpose due to the simplicity of the process and its good yield. Once the technology was selected, the conceptual engineering was developed, which included the study of the product, plant design capacity, location, production process, mass balance, equipment/machinery, and plant layout.

Keywords: Pectin, agro-industrial waste, physicochemical characteristics, conceptual engineering, extraction technologies, acid hydrolysis, plant design.

CAPÍTULO I

Introducción

1.1. Antecedentes

Moslemi (2021) señala que la pectina, un biopolímero natural, se obtiene de diversas fuentes vegetales, específicamente de sus paredes celulares. Este polisacárido, cuyo funcionamiento depende de sus grupos funcionales, puede ser aislado de subproductos de la industria alimentaria, lo que incrementa el valor de la materia prima.

Las cáscaras de cítricos, consideradas como residuos agroindustriales han tomado protagonismo en la actualidad al ser consideradas como fuentes para la extracción de pectina. Según Castiblanco Urrego & Yáñez (2020), en el ámbito industrial, la obtención de pectina se centra mayormente en las cáscaras de cítricos, las cuales poseen alrededor de un 25% de componentes pépticos.

Estudios anteriores han investigado diferentes métodos de extracción, incluyendo la hidrólisis ácida, la cual ha mostrado resultados prometedores en el aumento del rendimiento de pectina, Vaez et al. (2021) en su investigación titulada “An optimal biorefinery development for pectin and biofuels production from orange wastes without enzyme consumption” explica que el rendimiento máximo de pectina obtenido por este método fue de 24,7% usando residuos de naranja (cáscara y pulpa). Sin embargo, Karbuz & Tugrul (2021) en su publicación titulada “Microwave and ultrasound assisted extraction of pectin from various fruits peel” concluyen que todas las cáscaras de frutas contenían pectina y que la extracción asistida por microondas ofreció un mejor rendimiento en comparación con la extracción asistida por ultrasonido. No obstante, Rajulapati et al. (2021) en su investigación denominada “Enzymatically produced pectic-oligosaccharides from fruit waste of Citrus reticulata (mandarin) peels display cytotoxicity against colon cancer cells” obtuvo un rendimiento máximo del 21,3 % aprovechando las cáscaras de mandarina como materia prima haciendo uso del método de extracción asistida por ultrasonido.

En lo que respecta al escalonamiento de procesos. De acuerdo a Jirasaranporn et al. (2022) en la publicación “A pilot-scale anaerobic moving-bed biofilm reactor with PVA gel beads as media for the treatment of fish canning industry wastewater”, la principal observación que impulsó la realización del proceso a escala piloto fue la necesidad de

supervisar la estabilidad del proceso frente a las fluctuaciones naturales. Asimismo, Van Renterghem et al. (2019) señalan que, es fundamental tener en cuenta las limitaciones de la ley de escalamiento volumétrico y prestar especial atención al control de parámetros críticos.

1.2. Problema de investigación y justificación

La prominencia global de los cítricos como el cultivo frutal más extenso oculta una realidad preocupante. Se estima una producción anual que supera los 124 millones de toneladas, de las cuales, un porcentaje considerablemente alto, entre el 40% y el 60%, termina siendo desechado. Esta práctica insostenible da como resultado la alarmante cifra de entre 110 y 120 millones de toneladas de desperdicios cítricos que, año tras año, las industrias procesadoras de cítricos arrojan al planeta (Mahato et al., 2020). De acuerdo a Romero Sáez (2022), la mala disposición de estos residuos puede ocasionar problemas graves, como emisiones de CO₂ por quema incontrolada, contaminación de cuerpos de agua por lixiviados y proliferación de vectores de enfermedades.

En Ecuador, la ausencia de generación de productos con valor añadido y la evidente dependencia tecnológica son factores que logran asfixiar la innovación, especialmente en productos específicos como la extracción de pectina. Palacios Cabrera et al. (2019), afirma que, la ausencia de industrias productoras de pectina en el territorio nacional impone al mercado local a recurrir de importaciones que reflejan considerables pérdidas económicas. Esta dependencia es la causante de la inflación en los costos de producción y expone la vulnerabilidad del sector industrial nacional ante las fluctuaciones del mercado internacional.

La capacidad que poseen los residuos cítricos permanece lamentablemente sub utilizada, disipando posibilidades económicas y agravando problemas ambientales con la mala disposición de estos residuos. La extracción de pectina en Ecuador solamente ha sido realizada en laboratorio mediante diferentes metodologías y parámetros de extracción. Sin embargo, la transición a escala piloto se enfrenta a una serie de diversas dificultades, como la verificación de procesos, el manejo de riesgos, el control de calidad y la factibilidad financiera. Según Vasconcellos et al. (2021), estos factores pueden representar mayores costos de producción afectando al escalonamiento industrial de tecnologías desarrolladas de en el laboratorio.

La carencia de investigaciones enfocadas en diseñar una línea de producción a escala piloto que permita la extracción de pectina mediante una tecnología eficiente representa un impedimento para optimizar el uso de los residuos cítricos, estableciendo su característica de desecho y estancando el potencial de desarrollo tecnológico y económico.

1.2.1. Justificación

En busca de contribuir con la sostenibilidad ambiental y dar un apropiado manejo a residuos agroindustriales se ha optado por implementar alternativas que den un valor agregado a lo que comúnmente son considerados desechos, por ejemplo, las cáscaras de cítricos. En este contexto, la industria enfocada en el procesamiento de cítricos produce una significativa cantidad de residuos que, en su mayoría, no tienen ningún tipo de aprovechamiento. La extracción de pectina a partir de residuos cítricos, considerando la elevada demanda de este biopolímero en la industria alimentaria, ofrece una posibilidad estratégica en el territorio nacional que busque fomentar la economía circular, contribuir a la disminución del impacto ambiental y satisfacer las necesidades del mercado local.

En la actualidad, Ecuador satisface su demanda de pectina únicamente mediante importaciones, específicamente de Colombia, México, Argentina y China, con un costo promedio de 34 dólares por kilogramo (Palacios Cabrera et al., 2019). En 2015, el mercado nacional importó aproximadamente 44,88 toneladas métricas de pectina, generando un egreso estimado de \$ 762.960 (Soria Ilvay, 2022). Este escenario afecta la competitividad de las industrias locales y limita el desarrollo de capacidades nacionales en la producción de insumos indispensables en la industria a partir de residuos de la industria.

El diseño de una línea de producción a escala piloto para la extracción de pectina a partir de cáscaras de limón, pretende aprovechar las características fisicoquímicas de las cáscaras de este cítrico y seleccionar las metodologías de extracción más viables, estableciendo la ingeniería necesaria para implementar un modelo de planta eficiente y sostenible. Además, el uso de tecnologías adecuadas para el procesamiento de residuos a escala piloto promueve la innovación agroindustrial a nivel nacional y se fomenta la capacitación técnica en el sector agroindustrial.

De acuerdo a Moslemi (2021), las diferentes propiedades que atribuye la pectina,

actuando como gelificante, espesante y emulsionante, es considerado un insumo indispensable en la industria alimentaria, además de ser aplicada como recubrimiento comestible que favorece al aumento de la vida útil de los alimentos, minimizando el desperdicio y optimizando la conservación. Su producción local no solo pretende satisfacer la demanda interna, sino que también se busca optar por oportunidades para la exportación, incrementando la competitividad del sector agroindustrial en mercados internacionales.

En base a lo expuesto, el presente estudio no solo se enfoca en implementar alternativas para la reducción de problemas ambientales y económicos en relación a la gestión de residuos cítricos, sino que también tiene como propósito impulsar el desarrollo tecnológico en el país, la disminución de importaciones y la generación de subproductos a partir de residuos. En busca de un Ecuador con una industria consolidada como sostenible e innovadora es necesario considerar como fundamentales los criterios mencionados.

1.3. Preguntas de investigación

- ¿Cuáles son los requisitos de espacio y distribución de áreas para una planta de producción de pectina a partir de residuos cítricos?
- ¿Qué método de extracción resulta más eficiente para obtener pectina de alta calidad a escala piloto considerando las condiciones locales?

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

- Diseñar una línea de producción a escala piloto de extracción de pectina a partir de residuos cítricos

1.4.2. Objetivos específicos

- Identificar las características fisicoquímicas de las cáscaras de limón de la variedad Meyer.
- Analizar las diferentes tecnologías de extracción de pectina para la selección de tecnología.

- Definir la ingeniería conceptual de la planta de producción de pectina a partir de residuos cítricos.

CAPÍTULO II

Marco teórico

2.1. Generalidades del limón

La importancia económica del limón como cultivo frutal es innegable, especialmente en la gastronomía asiática y sudamericana, su adaptabilidad ha permitido su cultivo en diversas regiones tropicales y subtropicales a nivel mundial (Donkersley et al., 2018).

La producción de limón en Ecuador se centra en diversas variedades, entre las que destacan el limón sutil, el criollo, la lima limón y la variedad Meyer, cuyo destino principal es el consumo nacional, a diferencia de estas, el híbrido Tahití se cultiva con el objetivo principal de la exportación (Venegas Rivadeneira, 2021). Asimismo, la producción anual de limón en territorio nacional se sitúa en un promedio de 28,000 toneladas métricas, cultivadas en una superficie de aproximadamente 6,300 hectáreas (Satama, 2021).

Según Alcolea (2020), el elevado contenido de vitaminas C y A, fibra, y minerales como calcio, fósforo, magnesio y potasio caracterizan al limón como un fruto rico nutricionalmente. Además, los componentes funcionales, específicamente flavonoides y ácido cítrico, conocidos por sus propiedades antioxidantes presentes en la estructura del limón favorecen a la prevención de diversas enfermedades.

2.1.1. Limón meyer (*Citrus x Meyeri*)

El limón Meyer, originario de China, es un híbrido resultante del cruce entre el limón (*Citrus limón*) y la mandarina (*Citrus reticulata*). Sus frutos se caracterizan por su coloración amarilla, forma redondeada y tamaño variable (Figura 1), con respecto a su sabor es agradable, presentando una acidez moderada (Miranda Quitiaquez et al., 2023).

Figura 1

Representación gráfica del limón Meyer



Nota: La figura representa parte del árbol y del cítrico en diferentes estados de madurez. Tomado de “Regeneration and micropropagation of Meyer lemon (*Citrus x meyeri*) supported by polymorphism analysis via molecular markers” (p. 6), por Haradzi et al. (2021), *Scientia Horticulturae*.286.

2.1.2. Cáscaras del limón

Si bien la cáscara de cítricos representa entre el 40 % y el 50 % del peso total del fruto, frecuentemente se le considera un subproducto de desecho, no obstante, se ha demostrado que estas cáscaras constituyen una valiosa fuente de componentes bioactivos, incluyendo compuestos fenólicos, aceites esenciales, carotenoides y ácido ascórbico (Singh et al., 2020). Asimismo, Russo et al. (2021) mencionan que, las cáscaras de cítricos se distinguen por tener propiedades antioxidantes, efectos antiinflamatorios, actividad citotóxica y antibacteriana, por lo que representan una fuente de pectina, fibras dietéticas y extracción de aceites esenciales. En la industria, la pectina se extrae principalmente de las cáscaras de cítricos, las cuales presentan una concentración significativa de sustancias pécticas, representando aproximadamente el 30% de su composición (Chan et al., 2017).

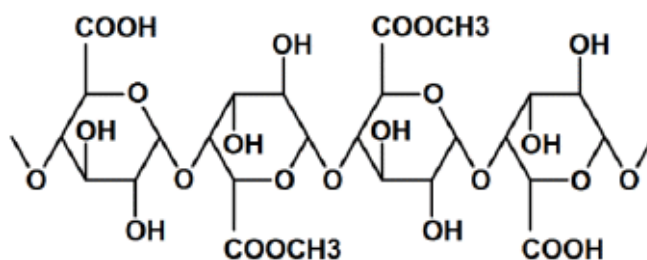
2.2. Pectina

Moslemi (2021) señala que, la pectina es un biopolímero natural, que puede extraerse de los subproductos alimentarios, añadiendo valor a la materia prima, con una estructura más compleja que la de otros polisacáridos. Este polisacárido de gran complejidad, presenta una estructura compuesta por tres dominios principales unidos mediante enlaces covalentes: homogalacturonano, ramnogalacturonano I y ramnogalacturonano II. El dominio de homogalacturonano, también denominado región lisa de la pectina, se caracteriza por ser una cadena lineal de unidades de ácido D-galacturónico con enlaces α -(1,4) y constituye el rasgo estructural predominante de este polisacárido (Ropartz & Ralet, 2020).

Según De los Ángeles Rodríguez Pontón et al. (2025), la cadena de pectina está compuesta por anillos, cada uno con un grupo carboxilo que puede presentarse en dos formas: esterificado con metanol, formando ésteres metílicos, o neutralizado por una base, como se ilustra en la figura 2.

Figura 2

Modelo molecular general de la pectina

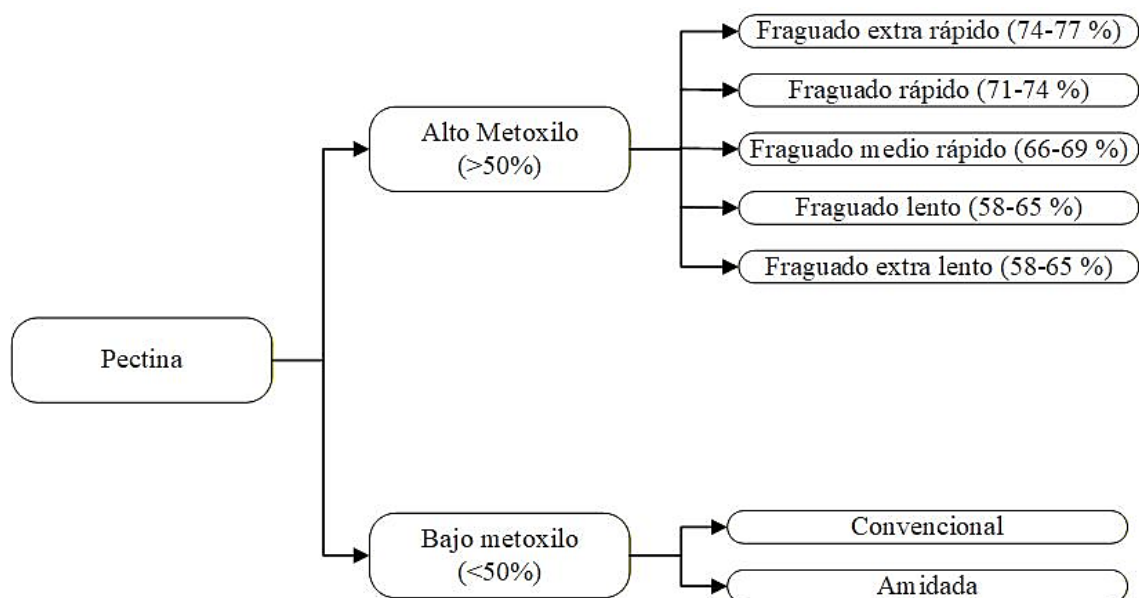


Nota: La figura representa la estructura básica de la pectina, puesto que su estructura verdadera es considerablemente compleja. Adaptado de “*Extracción de pectina de residuos de cáscara de naranja por hidrólisis ácida asistida por microondas (HMO)*” (p. 67), por Zegada Franco, 2015, SciELO, 1(15).

2.2.1. Clasificación de la pectina

De acuerdo a Panahirad et al. (2021), las pectinas se clasifican en alto y bajo metoxilo según su grado de esterificación (DM), utilizando un umbral del 50 % tal como se ilustra en la figura 3. Este parámetro determina directamente las propiedades de solubilidad y gelificación características de cada tipo de pectina. Las pectinas con un alto metoxilo (>50 %) tienen la capacidad de formar geles bajo condiciones de elevada concentración de acidez y de concentración de azúcares, tomando un protagonismo ideal en la elaboración de conservas de frutas como mermeladas y jaleas. En contraste, las pectinas con un DM bajo (inferior al 50 %) requieren la presencia de cationes divalentes, típicamente iones calcio, para inducir la gelificación, por ende, esta característica las hace idóneas para su empleo en productos lácteos y bebidas, donde contribuyen a la estabilidad y textura requerida (González Niño et al., 2024).

Figura 3
Clasificación de la pectina



Nota: El diagrama representa la clasificación de la pectina en cuanto al grado de esterificación. Adaptado de “Extracción de pectina de residuos de cáscara de naranja por hidrólisis ácida asistida por microondas (HMO)” (p. 67), por Zegada Franco, 2015, SciELO, 1(15).

2.2.2. Aplicación de la pectina en la industria alimentaria

De acuerdo con Moslemi (2021), la pectina es ampliamente utilizada en el sector agroindustrial como gelificante, espesante, emulsionante y estabilizante, además, exhibe un efecto beneficioso en la promoción de la cicatrización de heridas. Adicionalmente, ha demostrado un potencial sinérgico al combinarse con fármacos específicos en el tratamiento oncológico, en la tabla 1 se muestra algunas aplicaciones de la pectina en la industria alimentaria.

Tabla 1
Aplicación de la pectina en la industria alimentaria

Tipo de pectina	Uso	Cantidad aproximada. (%) en producto final	Factores importantes
Pectina (HM) de alto metoxilo (grado 150 °)	Jaleas, compotas, conservas	0.1 – 0.8	Solidos solubles para jaleas 65 %, pH 2.8 – 3.2

Pectinas (LM) de bajo metoxil	Piezas de confitería	0.85 – 1.25	Sólidos solubles 80-82 %; necesita sal buferada pH 3.4-3.7; igual peso de fructosa y sucrosa.
	Jaleas caseras	1 - 2	Mezclas de dextrosa, pectina, fruta. Ácida, cerca de 10 °
	Emulsiones saborizadas, ensaladas, postres	2-3 de fase acuosa	Mejor para contenidos de aceites 15-20 % y superiores.
	Jugo de frutas y vegetales (geles enlatados)	1.0-1.8	CaCl ₂ .2H ₂ O, 6-14 % peso de pectina pH 3.6 - 3.8; pectina en solución antes de adherir sal de calcio.
	Geles de leche y budines	0.8-1.5	No necesita sal de calcio
	Geles de fruta y fresa usados en helados	0.8-1.5	40 % - 50 % de azúcar; ácido de fruta algunas veces sal de calcio

Nota: Este cuadro muestra las diferentes aplicaciones de la pectina en la industria alimentaria. Adaptado de “Evaluación del efecto de la adición de la pectina como estabilizante en las propiedades físicas, químicas, tecnológicas y sensoriales del yogur batido” (p.27), por Torres Ortiz, 2017.

2.3. Tecnologías para la extracción de pectina

La extracción de pectina a partir de residuos frutales es considerada un área activa de investigación. No obstante, los estudios existentes enfocados a una escala laboratorio revelan una considerable diversidad en los protocolos de extracción empleados. Esta heterogeneidad metodológica, incluso dentro de una misma tecnología, impacta considerablemente tanto en el rendimiento del proceso como en las propiedades fisicoquímicas de la pectina obtenida (García-García et al., 2023).

Los estudios realizados por Cayambe Criollo (2022), Azzouzi et al. (2023), Vaez et al. (2021) y Soria-Ilvay (2022) realizan la extracción de pectina mediante la hidrólisis ácida, esta consiste en utilizar unas disoluciones ácidas fuertes, como pueden ser ácido clorhídrico, ácido sulfúrico o ácidos orgánicos (ácido cítrico o acético) para romper las paredes celulares y liberar la pectina (Diez-Carrión, 2021). Por otro lado, Diez-Carrión (2021), Şen et al. (2024) y Mao et al. (2023) han optado por extraer pectina mediante el método de extracción asistida por microondas (MAE), estas investigaciones se enfocan en el entendimiento de los mecanismos de calentamientos únicos de las microondas, que incluyen la rotación dipolar y la conducción

iónica, asimismo, las ondas electromagnéticas penetran en el material e interactúan con las moléculas, que absorben la energía y la convierten al calor (Mao et al., 2023).

Polanco-Lugo et al. (2019), Reyes Melinao et al. (2021) y Fajardo-Contreras et al. (2022) son algunos de los autores que han extraído pectina mediante la tecnología de extracción asistida por ultrasonido (EAU), la misma que consiste en el principio de cavitación generado por ondas de ultrasonido, este fenómeno implica la formación, crecimiento y colapso de microburbujas en el medio líquido, lo que causa ruptura de las paredes celulares de la materia (Fajardo-Contreras et al., 2022). Finalmente, González Niño et al. (2024), Fustamante-Nunez & Valdera-Santamaria (2019) y Danovich (2019) proporcionan información sobre la extracción enzimática de pectina, los métodos enzimáticos utilizan condiciones de extracción más suaves en comparación con los métodos químicos, lo que reduce la degradación del producto, mediante el uso de enzimas producidas por microorganismos, como levaduras y hongos (Danovich, 2019).

Dada la diversidad de tecnologías disponibles para la extracción de pectina mencionadas anteriormente, la implementación industrial requiere un enfoque estructurado basado en la ingeniería de proyectos. Para asegurar la viabilidad técnica y económica, la selección e integración de estas tecnologías debe llevarse a cabo mediante las fases de ingeniería conceptual, básica y de detalle, por ende, seguir la estructura de un proyecto ingenieril permite obtener un adecuado diseño de la planta, previsión y reducción de riesgos desde la etapa inicial hasta la implementación del proyecto. Uno de los aspectos fundamentales es la distribución en planta la misma que implica la ordenación física de los componentes partícipes en la industria. Esta distribución incluye tanto los espacios necesarios para el movimiento del material, almacenamiento, trabajadores, como todas las otras actividades o servicios, incluido mantenimiento” (Casp, 2004, p. 68).

2.4. Fases de la ingeniería de un proyecto

Álvarez et al. (2020) mencionan que, las fases que generalmente se cubren en el desarrollo de un proyecto ingenieril de manera secuencial son: ingeniería conceptual, ingeniería básica e ingeniería de detalle.

2.4.1 Ingeniería conceptual

La ingeniería conceptual, fundamentada en un análisis que permite obtener una noción de viabilidad, establece los lineamientos primordiales para el desarrollo de la ingeniería básica y de detalle. En esencia, esta fase se centra en la definición precisa de los requerimientos del proyecto (Atahuaman-Ricaldi, 2021).

Asimismo, Jara-Collantes et al. (2016) afirma que, la ingeniería conceptual se enfoca primordialmente en la evaluación integral del proyecto y en la obtención de la aprobación del cliente. Asimismo, una definición exhaustiva de la ingeniería conceptual en las etapas iniciales resulta fundamental para el desarrollo eficaz de la ingeniería de detalle.

2.4.2 Ingeniería básica

La ingeniería básica constituye una profundización del análisis llevado a cabo durante la fase de ingeniería conceptual, cuyos resultados sirven como datos de entrada para la etapa de diseño subsecuente (Muñoz-Zamarripa & Ojeda-Escoto, 2019). Esta fase provee la información necesaria para la selección, el diseño y la construcción de máquinas y equipos, así como también permite establecer de las condiciones operativas de la planta (Moreda, 2020).

2.4.3 Ingeniería de detalle

Esta fase del desarrollo de proyectos ingenieriles se caracteriza por la elaboración de un análisis exhaustivo de cada componente del diseño mediante la elaboración de dibujos de fabricación detallados (Muñoz-Zamarripa & Ojeda Escoto, 2019). Implica el desarrollo de planos de taller, la especificación de los requerimientos de materiales y la preparación de estos en base a datos obtenidos en fases anteriores del proyecto. Asimismo, se establecen metodologías constructivas que aseguren el cumplimiento del cronograma y los costos proyectados. En última instancia, estos elementos críticos determinan la viabilidad del proyecto y el grado de satisfacción del cliente (Atahuaman-Ricaldi, 2021).

2.5. Localización de la planta

Diversos criterios se consideran fundamentales para asegurar el éxito del proyecto, entre ellos, la ubicación, la distribución de la planta, el dimensionamiento de la maquinaria y los equipos. Con respecto a la ubicación, es indispensable analizar a detalle los factores zonales

que puedan impactar, tanto positiva como negativamente, la instalación del proyecto (Chacón & Carvajal, 2022). La decisión de la localización de la planta se enfoca en base a la ponderación de los aspectos más relevantes que contribuyan al crecimiento exponencial de la planta y la optimización de costos asociados al transporte y otras consideraciones logísticas (Pérez-Agualongo et al., 2022).

De acuerdo a Chacón & Carvajal (2022), para seleccionar una localización para la instalación de una planta es necesario considerar y evaluar cuantitativamente diferentes factores que permitirán tomar una decisión apropiada acorde a las necesidades del proyecto, tal como se muestra en la figura 4.

Figura 4
Factores evaluables para la selección de la localización



Nota: La figura representa los criterios clave que son evaluados cuantitativamente para la selección de la localización de la planta. Adaptado de “*Estudio técnico: localización y diseño de plantas agroindustriales*” (p. 1954), por Chacón & Carvajal, 2022, Brazilian Journals of Business).

2.6. Distribución de la planta

La distribución de planta consiste en la organización física componentes que participan en el proceso productivo de una industria, así como a la ubicación estratégica de los diversos

departamentos dentro de las instalaciones fabriles (García-Sabater, 2020). Una distribución idónea de la planta o edificio contribuye a la ejecución segura y eficiente de las actividades, minimizando los tiempos de ciclo, optimizando el uso de espacios y mejorando la circulación de flujos internos. La metodología Systematic Layout Planning (SLP), propuesta por Richard Muther en 1968, proporciona un enfoque estructurado para abordar dificultades en la distribución de planta, empleando criterios cuantitativos para diseñar un modelo que potencie la productividad y reduzca los costos operativos (Álvarez-Arias et al., 2022).

2.6.1. SLP (Sistematic Layout Planning)

Torres Soto et al. (2020) argumenta que, esta herramienta facilita no solo la organización de las áreas de trabajo y los equipos en entornos industriales, sino también la optimización de la utilización de recursos, la mejora de la eficiencia de los procesos y el aumento de la competitividad, promoviendo así un ciclo de mejoramiento continuo.

Se trata de un procedimiento de planificación secuencial que permite a los usuarios identificar, visualizar y evaluar las diversas actividades, interrelaciones y alternativas inherentes a un proyecto de diseño, fundamentándose en datos de entrada, el análisis del flujo de materiales, la evaluación de la intensidad de las relaciones y la representación gráfica de las mismas (Suhardini et al., 2017).

CAPÍTULO III

Materiales y métodos

3.1. Enfoque y tipo de la investigación

La presente investigación se considera de enfoque cualitativa, ya que no contó con variables de estudio, lo que significa que; no se trata de un diseño experimental. Por ende, el estudio tuvo un carácter exploratorio, ya que se centró en investigar varias metodologías para la extracción de pectina y posteriormente se diseñó una línea de producción a escala piloto partiendo de una metodología base, este tipo de investigación permitió estructurar mejor el proceso de investigación, recogiendo información que facilitó sentar las bases para una futura producción a mayor escala.

3.2. Procedimiento de las fases de investigación

La presente investigación ha sido desarrollada en tres fases, las cuales consisten en identificar la capacidad potencial de la materia prima para la extracción de pectina mediante la caracterización fisicoquímica de las cáscaras, la selección de tecnología conveniente que permita llevar el proceso a escala piloto considerando varios criterios importantes de acuerdo a los objetivos de la investigación y la definición de la ingeniería conceptual de la planta de producción de pectina a partir de los residuos cítricos.

3.2.1. Fase 1: Identificación de Características Fisicoquímicas de la Cáscara de Limón

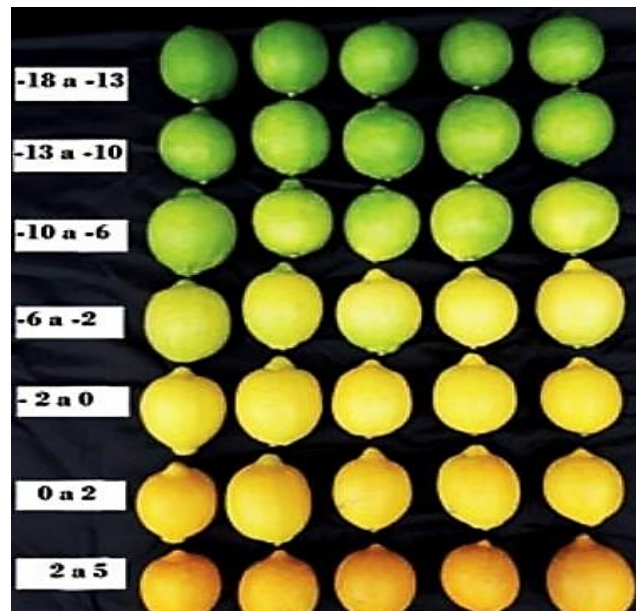
El desarrollo de la primera fase se llevó a cabo en la ciudad de Ibarra, Ecuador, con el uso del laboratorio de análisis microbiológico situado en el Campus Antiguo Hospital San Vicente de Paul – UTN, cuyas coordenadas GPS son: 0.362214, -78.118347, asimismo, para llevar a cabo esta fase se estableció el siguiente orden.

3.2.1.1. Obtención de la Materia Prima

Inicialmente la materia prima provino de los residuos cítricos generados por la empresa CITRONSAFT S.A.S, así como también las cáscaras fueron seleccionadas bajo criterios generales tales como color y ausencia de mohos. En lo que respecta al color se seleccionó la

cáscara de limón que se encuentren en el rango de -13 a -2, según la figura 5. Esto se debe a que la pectina se encuentra distribuida en mayor proporción en las cáscaras que no han alcanzado su madurez (Púa et al., 2015)

Figura 5
Índice de colorimetría del limón



Nota: El gráfico representa el índice de color en cítricos. Tomado de *Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC)*, por Aranda Nelson & Valdez (2019)

3.2.1.2. Análisis Fisicoquímicos de las Cáscaras de Limón

Las propiedades fisicoquímicas detalladas en la tabla 2, son aquellas que se consideraron relevantes para la extracción de pectina, dado su influencia tanto en el rendimiento como en la calidad del producto final, así mismo se considera el contenido de pectina que presentan las cáscaras del limón de la variedad Meyer para conocer su potencial para la extracción de pectina, además se recurrió a fuentes bibliográficas relacionadas al estudio de las características fisicoquímicas del limón.

Tabla 2
Propiedades fisicoquímicas evaluadas

Propiedad fisicoquímica	Método de ensayo
Humedad	AOAC 930.15
Cenizas	NTE INEN 0401
pH	AOAC 981.12
Contenido de pectina	Hidrólisis ácida

- Determinación de porcentaje de humedad

De acuerdo con Chasquibol-Silva et al. (2008), el control del contenido de humedad (<11%), es crucial para la manipulación y el procesamiento eficientes de las cáscaras. Un nivel de humedad adecuado previene la degradación microbiana y optimiza el rendimiento de la extracción. El porcentaje de humedad se define mediante la ecuación (1).

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(p_1 - p_2)}{p_1} * 100 \quad (1)$$

Donde:

p_1 = Peso de la muestra húmeda (g)

p_2 = Peso de la muestra seca (g)

- Determinación del contenido de cenizas

Un elevado contenido de cenizas en las cáscaras de limón (>5%) pueden reaccionar con los ácidos usados en la extracción de pectina afectando negativamente en el proceso de extracción de pectina (Azzouzi et al., 2023). Análogamente, el contenido de cenizas se lo determinó mediante la ecuación 2, en donde también se incluyó el porcentaje de humedad previamente obtenido debido a que la muestra fue en base húmeda.

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{m_3 - m_1}{(m_2 - m_1)(1 - (\frac{\% \text{ Humedad}}{100}))} * 100 \quad (2)$$

Donde:

m_1 = Peso del crisol vacío en gramos
 m_2 = Peso del crisol con la muestra en gramos
 m_3 = Peso del crisol con las cenizas en gramos

- Determinación de pH

El pH de las cáscaras de cítricos es un factor determinante en la extracción de pectina, un pH ácido (entre 1.5 y 3.0) es ideal para la extracción, ya que favorece a la solubilización de la pectina e influye positivamente en el rendimiento (García-García et al., 2023). Para la toma de estos datos se hizo el uso de un medidor de pH (potenciómetro), previamente limpiado con agua destilada después de cada medición con la finalidad de evitar errores en las mediciones.

- Contenido de pectina

El proceso de la determinación del contenido de pectina fue llevado a cabo mediante la metodología usada por Chasquibol-Silva et al. (2008). Se inició con la selección de la materia prima, se sometió a un lavado con temperatura promedio entre 60 a 65 °C por 10 minutos con el objetivo de eliminar sustancias solubles en agua caliente que puedan afectar la calidad de la pectina, la inactivación enzimática se realizó a temperatura de ebullición del agua durante tres minutos. Una vez que se enfríe la materia prima se procede a triturar, obteniendo una pasta, la cual se procedió a filtrar. La hidrólisis ácida, se inició con regulación del pH con ácido cítrico mediante un potenciómetro; seguidamente la sustancia se somete a baño María controlando las condiciones de tiempo y temperatura especificadas y se realizó la filtración de la sustancia en caliente. La sustancia obtenida de la segunda filtración, se dejó enfriar a temperatura ambiente hasta una temperatura aproximada de 20 °C, se añadió alcohol al 96 % y se filtró por gravedad. La pectina precipitada en esta etapa fue recolectada del papel filtro y posteriormente lavada con alcohol etílico frío al 96 % con el objetivo de eliminar impurezas solubles; luego se transfirió a un recipiente previamente tarado y se colocó en una estufa a 60–70 °C hasta alcanzar peso constante en un intervalo de tiempo determinado. Finalmente, se cuantificó la pectina seca mediante diferencia de peso, en referencia al peso inicial de la muestra, expresando el resultado en porcentaje.

3.2.2. Fase 2: Análisis de las Diferentes Tecnologías de Extracción de Pectina para la Selección de Tecnología

Con el fin de alcanzar este objetivo se estableció el siguiente orden:

3.2.2.1. Investigación Bibliográfica y Evaluación

Se llevó a cabo una revisión bibliográfica de las tecnologías existentes para la extracción de pectina, posteriormente se procedió a evaluar las diferentes tecnologías teniendo en cuenta criterios fundamentales como el rendimiento y la calidad.

3.2.2.2. Comparación Detallada de las Tecnologías

Para poder desarrollar una comparación objetiva entre las diferentes tecnologías existentes en el mercado, se establecieron variables de decisión específicas como el rendimiento, calidad del producto y parámetros de extracción, que permitieron la comparación de diversas tecnologías las cuales están reflejadas en la tabla 3 junto con las referencias de donde se recuperó la información.

Tabla 3
Cuadro informativo de tecnologías para la extracción de pectina.

Tecnología	Referencias
Hidrólisis ácida	Cayambe Criollo (2022), Brito-Ayora (2024), Azzouzi et al. (2023), Soria Ilvay (2022), Toyo-Diaz et al. (2023), Dalgo-Flores et al. (2024), Rodríguez Mora et al. (2023).
Extracción asistida por ultrasonido	Rajulapati <i>et al.</i> (2021), Karbuz & Tugrul (2021), Shivamathi <i>et al.</i> (2019).
Extracción asistida por microondas	Karbuz & Tugrul (2021), Higuera-Tarazona (2019), Kute et al. (2020)
Método enzimático	Mendoza-Vargas et al. (2017)

Los criterios de decisión se trabajaron en función de una escala numérica del 1 al 5 en base a lo establecido por Rey Avila (2022), la cual recurre a la matriz Pugh, que es una herramienta

cuantitativa en donde se establecen criterios evaluativos con el objetivo de lograr mayor objetividad en la toma de decisión. El valor 5 se considera como el criterio con mayor importancia de decisión, mientras que el valor 1 es el criterio con menor importancia o relevancia.

- **Parámetros de extracción**

Los parámetros de extracción han sido analizados en cuanto al nivel de complejidad de cada metodología. Un control adecuado de estos factores puede maximizar la cantidad de pectina extraída y asegurar que esta obtenga las propiedades adecuadas. La medición utilizada para este parámetro fue una escala de 1 a 5 de acuerdo a la tabla 4.

Tabla 4

Escala de calificación para la complejidad del parámetro de extracción de pectina

Valor	Representación	Rangos
1	Muy complejo	Requiere equipos altamente especializados y costosos; uso intensivo de reactivos peligrosos o costosos; condiciones operativas exigentes (temperatura, presión); procesos con múltiples etapas críticas o difícil control.
2	Complejo	Necesita equipos semiespecializados; uso de algunos reactivos peligrosos o de alto costo; requiere condiciones controladas específicas; procesos con más de una etapa compleja.
3	Medio	Implican equipos accesibles; uso de reactivos moderadamente costosos o comunes; proceso con control moderado de parámetros.
4	Sencillo	Uso de equipos básicos o económicos; reactivos seguros y de bajo costo; procesos con mínima intervención técnica; con condiciones replicables.
5	Muy sencillo	No requiere de maquinaria especializada ni reactivos complejos; implican procesos sencillos con una sola etapa o directos; condiciones de operación simples; fácil escalabilidad industrial.

- Rendimiento

El rendimiento se refiere a la cantidad de pectina obtenida con relación a la cantidad de materia prima utilizada. Según Devi et al. (2014), en condiciones ideales es posible obtener un rendimiento superior al 40 %. El rendimiento es fundamental para determinar la viabilidad económica del proceso y optimizar los recursos a empleados. La medición de este parámetro se hizo en base a la tabla 5.

Tabla 5

Escala de calificación del rendimiento de extracción

Valor	Representación	Rangos
1	Muy bajo	0 – 10 %
2	Bajo	10 – 20%
3	Medio	20 – 30 %
4	Alto	30 – 40 %
5	Muy alto	> 40 %

- Caracterización de la calidad

Es considerado un factor importante ya que la pectina debe cumplir con los estándares del mercado y a la vez satisfacer las expectativas del consumidor. Según Pagan (1999), el análisis del grado metoxilo tiene una relación directa con los grupos metoxilados y los ácidos libres titulables en la estructura de la pectina, permitiendo identificar la capacidad gelificante que se consigue en el producto final mediante la clasificación en pectinas de alto metoxilo o de bajo metoxilo, su evaluación fue llevada a cabo de acuerdo a la tabla 6.

Tabla 6
Criterios de evaluación de la calidad de la pectina según el grado metoxilo

Valor	Representación	Rangos
1	Muy bajo metoxilo	<3 %
2	Bajo metoxilo	3 – 7%
3	Intermedia	7,1 – 10 %
4	Alto metoxilo	10,1 – 12 %
5	Muy alto metoxilo	>12 %

Finalmente, en la columna de calificación se realizó la sumatoria de todos criterios establecidos para cada opción, en base a eso se hizo la selección de la tecnología más adecuada.

3.2.2.3. Replicación en Laboratorio de la Tecnología Seleccionada

Una vez seleccionada la tecnología más adecuada para el diseño de producción a escala piloto se replicó esta metodología a escala laboratorio con el objetivo de validar la información teórica recopilada en el capítulo anterior, así como también permitió establecer una relación con respecto a los parámetros de extracción y manejo de reactivos. Además, se cuantificó el grado metoxilo de la pectina mediante el método propuesto por Cabarcas Henao et al. (2012), ya que esta propiedad influye directamente en la capacidad gelificante de la pectina.

Para la determinación del contenido de metoxilo, se preparó una solución 0.25 N de hidróxido de sodio y 0,25 N de ácido clorhídrico, se agregó 1 gramo de pasta de pectina a un matraz Erlenmeyer y 25 ml de la solución de hidróxido de sodio 0,25 N, se agitó por un minuto, se tapó el matraz y se dejó que la solución repose por 30 minutos a temperatura ambiente, pasado el tiempo de reposo, se añadió 25 ml de ácido clorhídrico 0,25 N el cual sirvió para neutralizar el hidróxido, agitar y llevar a la titulación con hidróxido de sodio 0,1 N. Como punto final de la titulación se tomó el viraje que presenta la solución, color rojizo y con un potenciómetro se midió el pH, se tomó el valor de volumen gastado y con

la ecuación 3 se procedió a calcular el porcentaje de metoxilo de la muestra (Chasquibol-Silva et al., 2008).

$$\% \text{ Metoxilo} = \frac{\text{meq. de NaOH} * \text{PM del metoxilo}}{\text{peso de la muestra en mg}} * 100 \quad (3)$$

3.2.3. Fase 3: Definición de la Ingeniería Conceptual de la Planta de Producción de Pectina a Partir de Residuos Cítricos.

El desarrollo del objetivo final consistió en el estudio económico de la pectina en los últimos años, seguido de un análisis estadístico que permite obtener la capacidad que tendrá la planta. Por otro lado, se determinó la localización de la planta, se realizó el diagrama de flujo de acuerdo a la metodología seleccionada, balance de masa y el layout.

3.2.3.1. Análisis de Demanda y Oferta

La recolección de datos para el análisis de la demanda se basó en la data histórica obtenida en la base de datos de la página “web Trade map”, en dónde se incluirá los datos históricos durante el período (2020-2025), a partir de estos datos se pronosticó la demanda para 5 años mediante el modelo de pronóstico asociativo cuantitativo regresión lineal, esto permitió determinar la capacidad de diseño que tendrá la planta, considerando que la oferta nacional es nula, por lo tanto, se consolidó como demanda insatisfecha a la demanda proyectada.

3.2.3.2. Capacidad del Diseño de la Planta

La capacidad del diseño de la planta está dada por la demanda insatisfecha pronosticada para el año 2030, de acuerdo a Heizer & Render (1996) el pronóstico a largo plazo (mayor a 3 años) permiten la planificación de diseño de nuevos productos, gastos de capital, ubicación de instalaciones y también favorece a la toma de decisiones administrativas en relación a la capacidad de plantas y procesos. Por ende, una vez conocida la demanda se recurrió a la ecuación 4 en donde se obtuvo la producción esperada, considerando un porcentaje de preferencia a cubrir la demanda insatisfecha y,

además, teniendo en cuenta que el presente estudio se enfoca en un diseño de producción a escala piloto.

$$\textbf{Producción esperada} = \% \textbf{ de Preferencia} * \textbf{Demanda insatisfecha} \quad (4)$$

Una vez obtenido el dato se procedió a calcular la capacidad de producción de la planta mediante la ecuación 5.

$$\textbf{Capacidad de la planta} = \frac{\textbf{kg/año}}{\textbf{\#de días} \times \textbf{\#de semanas}} \quad (5)$$

3.2.3.3. Macro localización y Micro localización

El análisis de macro localización implica la identificación y evaluación en una zona global del emplazamiento óptimo para el proyecto, considerando tanto factores a nivel nacional como las características específicas de ubicaciones rurales o urbanas dentro de una región (Machicado & Quiroga, 2016). Esta etapa se desarrolló mediante la técnica de centro de gravedad, según Ordóñez-Santos (2001) esta técnica consiste en colocar las posibles localizaciones en un sistema de coordenadas, en donde su origen y la escala utilizada son arbitrarios, sin embargo, las distancias relativas deben estar representadas adecuadamente, el centro de gravedad está reflejado en las ecuaciones 6 y 7. Además, en este estudio se considera principalmente como referencia las industrias que generen residuos cítricos.

$$C_x = \frac{\sum_i d_{ix} W_i}{\sum_i W_i} \quad (6)$$

$$C_y = \frac{\sum_i d_{iy} W_i}{\sum_i W_i} \quad (7)$$

Donde:

C_x = Coordenada X del centro de gravedad

C_y = Coordenada Y del centro de gravedad

D_{ix} = Coordenada X de la localidad i

D_{iy} = Coordenada Y de la localidad i

W_i = Volúmenes de bienes transferidos, o desde la localidad i.

Finalmente, la localización más adecuada es aquella que tenga la menor distancia de la planta con relación a las industrias generadoras de residuos cítricos, que serían las abastecedoras de materia prima.

Por otro lado, la micro localización se llevó a cabo mediante la técnica de ponderación de factores, se seleccionó la ubicación que ofrece las mejores condiciones para la implementación de una planta en base a lo propuesto por Pérez-Agualongo et al. (2022), la misma que consiste en definir factores cuantificables importantes para la toma de decisión de la localización, donde se asigna un valor relativo de peso ponderativo a cada criterio. En este estudio, se ha considerado como determinantes a los siguientes factores: la disponibilidad de materia prima, cercanía al mercado, disponibilidad de mano de obra, accesibilidad vial, accesibilidad a los servicios básicos y seguridad.

Se asignó un valor distinto a cada criterio mediante una escala de valores numéricos del 1 al 10; análogamente se asignó un peso para cada criterio que transmite su importancia en cuanto a los objetivos del presente estudio, posteriormente se multiplicó la calificación por los pesos de cada criterio y se realizó la sumatoria del puntaje para cada localización.

3.2.3.4. Diagrama de flujo

Se elaboró un diagrama de flujo del proceso para la planta piloto, que exponga las diferentes fases del proceso y las conexiones entre ellas. Asimismo, se realizó el balance de masa con el fin de determinar las cantidades de materia prima, producto final y subproductos en relación a la capacidad de producción de la planta establecida anteriormente.

3.2.3.5. Distribución de la Planta

Se utilizó el Systematic Layout Planning (SLP) para el diseño de la línea de producción. Este es un software que permite no sólo organizar las áreas de trabajo y

equipos de la industria, sino también generar una eficiente utilización de los recursos, optimización de los procesos, mayor nivel de competitividad y por ende desarrollar un mejoramiento continuo (Torres Soto et al., 2020). La aplicación de este software se llevó a cabo de acuerdo con la metodología propuesta por Casp (2004) y Alpala et al. (2018); la misma que consistió en: Análisis de producto (cantidades), análisis del proceso de producción, análisis de factores y limitaciones, análisis de las relaciones entre áreas, análisis de la relación de espacios, generación del diseño.

CAPÍTULO IV

Resultados y discusión

4.1. Datos obtenidos de los análisis fisicoquímicos realizados a la cáscara de limón de la variedad *Citrus x Meyeri*

Estos análisis fueron realizados con el objeto de conocer su influencia en el proceso de extracción de pectina y, además, conocer el potencial de este residuo para la extracción de pectina tal como se refleja en la tabla 7. Además, se hizo una discusión de los parámetros fisicoquímicos analizados en comparación con diferentes investigaciones que fueron realizadas en la cáscara de limón, considerando también los estándares establecidos en el punto 3.2.1 adecuados para la extracción de pectina.

Tabla 7
Resultados de análisis fisicoquímicos de la cáscara de limón

	Humedad (%)	Cenizas (%)	pH	Contenido de pectina (%)
Muestra	79,14 ± 0,26	2,58 ± 0,22	4,41 ± 0,24	28,60
(Pham et al., 2020)	60,96 ± 1,34	1,78 ± 0,01	4,51 ± 0,01	-
(Ahmad et al., 2016)	75,39 ± 1,11	4,57 ± 0,30	-	-
(Gómez et al., 2018)	78,85 ± 0,10	-	4,26 ± 0,02	-
(Dávila-Guerrero, 2009)	69,50 ± 0,10	1,23 ± 0,06	-	-
(Catillo-Ramos, 2020)	-	-	3,43 ± 0,10	-
(Azzouzi et al., 2023)	-	-	-	26,60
(Karbus & Tugrul, 2021)	-	-	-	18,00
(Karbus & Tugrul, 2021)	-	-	-	17,30

Las investigaciones citadas son aquellas que estudiaron las características fisicoquímicas de las cáscaras de limón, sin embargo, cada referencia optó por una variedad específica, es decir, Pham et al. (2020) estudiaron el limón sin semilla variedad *Citrus Latifolia*, Ahmad et al. (2016) se inclinaron por el limón Eureka (*Citrus Limon*), Gómez et al. (2018) se enfocaron

en el limón Tahití (*Citrus Latifolia*), Dávila-Guerrero (2009) realizó su estudio en base a la variedad de limón (*Citrus Limón L.*) y finalmente Castillo-Ramos (2020) utilizó el limón comúnmente conocido como criollo o sutil (*Citrus Aurantifolia Swingle*). Es por esta principal razón que se ven algunas diferencias en los valores de las variables reflejadas.

En lo que respecta a la humedad se refleja una considerable discrepancia entre los diferentes resultados que es un reflejo de variación climática, el tipo de suelo, las prácticas culturales, la estación, las condiciones de madurez, maduración de la fruta y la variedad genética que pueden implicar en las demás propiedades como el porcentaje de cenizas y el pH (Ahmad et al., 2016). Los resultados obtenidos en la presente investigación realizada en el limón de la variedad Meyer, en comparación con las referencias muestran una relación cercana con la variedad Tahití con un porcentaje de humedad cercano al 80 %. Sin embargo, el alto porcentaje de humedad presente en estos cítricos implica diferentes desafíos, como desarrollo de mohos o el incumplimiento de parámetros de procesamiento, por ende, la cáscara debe ser sometida a un procesamiento o un pretratamiento para adecuar la materia prima, en base al objetivo de esta investigación se ha fijado un porcentaje menor al 11%.

De acuerdo con Dávila-Guerrero (2009), se ha destacado que las cáscaras de limón son ricas en micronutrientes y macronutrientes, con una alta concentración de potasio y calcio. El porcentaje de cenizas obtenido en el presente estudio se encuentra en un rango intermedio en comparación a los datos comparados, deduciendo que el resultado obtenido es plausible y consistente con la composición mineral de las cáscaras de cítricos, además el porcentaje de cenizas de la variedad Meyer cumple con el requerimiento establecido ($< 5 \%$) para la extracción de pectina.

La consistencia del valor de pH obtenido en este estudio con la variedad Tahití (*Citrus Latifolia*) y la diferencia entre las demás pudo ser causado por el grado de madurez del fruto al momento de su cosecha, o incluso las condiciones de postcosecha y el manejo de la cáscara, además, los frutos más maduros o condiciones de estrés podrían alterar la concentración de ácidos orgánicos, afectando el pH, ya que esta es una medida que expresa la acidez o basicidad de una sustancia (Castillo-Ramos, 2020).

Asimismo, se ha considerado el contenido de pectina dentro de las características fisicoquímicas, con el objetivo de conocer el potencial de las cáscaras de limón para la extracción de pectina, se evidencia una diferencia entre los estudios que pueden ser el resultado

de diferentes razones como la tecnología empleada para la extracción, la materia prima usada y los diferentes tratamientos empleados.

En base a los datos obtenidos se considera necesario realizar un pretratamiento para acondicionar la materia prima e inactivar las enzimas pectinesterasas, ya que según Chasquibol-Silva et al. (2008) estas enzimas son las causantes de la desmetilación de pectina, es decir que los grupos metilo se convierten en ácido pectínico y metanol, por ende, disminuye el grado de metoxilación afectando negativamente la capacidad de gelificación de la pectina y afectando considerablemente al rendimiento.

4.2. Tecnologías para la extracción de pectina

Las tecnologías de extracción de pectina comúnmente utilizadas a nivel de laboratorio incluyen la hidrólisis ácida (considerada como la tecnología más tradicional representando el 50 % de las referencias citadas) así como técnicas emergentes como la extracción asistida por ultrasonido (21 %), la extracción asistida por microondas (21 %) y la metodología extracción enzimática correspondiente al 7 % de las investigaciones.

4.2.1. Métodos y Tiempo de Extracción

En lo que respecta al método de extracción, se ha evidenciado una similitud en varias etapas de procesamiento. Todas las investigaciones concuerdan en el acondicionamiento o pretratamiento de la materia prima, misma que consiste en un lavado inicial exhaustivo para retirar cualquier tipo de impurezas, asimismo, el 14% de las investigaciones optan por realizar una desinfección de las cáscaras con hipoclorito al 5%, seguido de un troceado de las cáscaras. Posteriormente, llevan el material vegetal a un escaldado considerando esta etapa como crucial en la extracción de pectina, ya que esto permite la inactivación de enzimas responsables de la desmetilación de pectina, finalmente la cáscara es sometida a un proceso de secado y molienda. En lo que corresponde a la precipitación, el agente precipitante comúnmente usado es el alcohol etílico o también denominado como etanol diferenciando únicamente en la concentración de pureza, en donde se evidenció que el 93% de los estudios optó por una concentración de 96% mientras que el restante de los estudios trabajó con una concentración del 99%.

El tiempo de extracción óptimo para la hidrólisis ácida de pectina de cáscara de limón se determinó en 60 minutos, dentro de un rango general de 30 a 90 minutos. Por otro lado, la

extracción asistida por microondas conlleva un tiempo considerablemente menor en comparación con la hidrólisis ácida con un estimado de 7 minutos, representando un importante ahorro en cuanto a la energía y tiempo. En este sentido la extracción asistida por ultrasonido también implica un menor tiempo de extracción de pectina con tiempos que oscilan entre 10 a 45 minutos. Sin embargo, la implicación de microondas puede generar efectos potencialmente negativos, en el estudio realizado por Zhongdong et al. (2006) una potencia de 1000 W durante 5 minutos, tuvo un efecto destructivo sobre la organización de la estructura del exocarpio del cítrico. Asimismo, un control inadecuado en la extracción ultrasónica puede llevar a la modificación y fragmentación de la estructura del polisacárido de la pectina, lo que reduce la recuperación de la pectina (Karbuz & Tugrul, 2021). En cuanto al método enzimático, se registra un tiempo promedio de 60 minutos, siendo un método menos contaminante en comparación con las demás tecnologías, sin embargo, la producción enzimática sigue siendo costosa y la reacción es difícil de controlar. Finalmente, este método puede conducir a la degradación de la pectina y la pérdida de sus propiedades (Munarin et al., 2012).

La etapa que caracteriza la diferenciación de cada tecnología es la hidrólisis, debido a que cada método implica soluciones extraentes diferentes que a la vez conllevan diferentes temperaturas y tiempos de extracción tal como se demuestra en la tabla 8.

Tabla 8
Matriz informativa de tecnologías

Tecnologías				
	Ácida	Asistida por microondas	Asistida por ultrasonido	Enzimática
Hidrólisis	Sometimiento de las cáscaras a un medio ácido en condiciones controladas	La absorción de la energía de microondas en el sistema de extracción conduce a una acumulación térmica en la solución de extracción y dentro del material vegetal	Combinación de efectos físicos generados por el ultrasonido con la acción de un solvente ácido	Uso de enzimas para descomponer las complejas estructuras de la pared celular vegetal y liberar la pectina
Agente extraente	Ácido clorhídrico o ácido cítrico	Ácido clorhídrico	Ácido clorhídrico o ácido nítrico	Complejos enzimáticos extraentes

Rendimiento (%)	26,6	18	17,3	13
----------------------------	------	----	------	----

4.2.2. Soluciones extraentes

García-García et al. (2023) argumenta que, la adición de ácido a la extracción química de pectina es fundamental, ya que funciona como un extraente logrando que, en solo dos fases, la pectina presente en los tejidos vegetales se solubilice y se difunda en el ácido. Esto justifica por qué el 93% de las investigaciones impliquen en su proceso de extracción un ácido extraente como puede ser el ácido clorhídrico, ácido cítrico y el ácido nítrico, en donde el más popular entre las investigaciones es el ácido clorhídrico debido a que es el causante de un mayor rendimiento. Sin embargo, el buen manejo de estos ácidos es fundamental debido a que no son recuperables, caso contrario la mala disposición de estos pueden acarrear problemas ambientales, por este motivo los estudios sugieren usar ácido cítrico a una escala mayor. En comparación con el método enzimático representa una vía más amigable con el medio ambiente pero aún sigue siendo poco estudiada debido a la complejidad del proceso.

4.2.3. Temperatura y pH

Según Karbuz & Tugrul (2021), la temperatura más adecuada en el proceso de extracción por ultrasonido es de 75 °C, de manera general consideran un rango de temperatura entre los 50 °C y 80 °C. Por otro lado, la hidrólisis ácida es llevada a cabo en un rango de temperatura entre 60 °C a 100 °C, para la obtención de pectina a partir de cáscaras de limón se ha encontrado un óptimo a una temperatura de 80 °C. Por lo tanto, la temperatura ideal entre diferentes tecnologías no varía considerablemente, siendo un rango conveniente entre 75 °C a 80 °C, a excepción del método enzimático que fue llevada a cabo a una temperatura de 50 °C.

En base a las investigaciones que usan un medio ácido para la extracción de pectina concuerdan que valores de pH entre 2 y 3 son cruciales para una extracción eficiente de la pectina, ya que proporciona los mejores rendimientos al facilitar la solubilización de la pectina (Karbuz & Tugrul, 2021). Sin embargo, el método enzimático implica un pH más ácido, por lo que no se admite el uso de ácidos.

4.2.4. Calidad de la pectina

En lo que respecta a la calidad de pectina se ha evidenciado una diferencia significativa en cuando al contenido del metoxilo que puede deberse por las condiciones de la materia prima, la metodología aplicada y los parámetros de extracción. La extracción mediante microondas refleja un mayor peso significativo en cuanto a la calidad. Higuera-Tarazona (2019) quien optó por residuos de naranja (*Citrus sinensis*) como materia prima para la pectina obtuvo un contenido metoxilo de 11,3 % que la clasifica como pectina de alto metoxilo. Por otro lado, Soria Ilvay (2022) obtuvo un contenido metoxilo de 6,9 % mediante el método químico de hidrólisis ácida a partir de las cáscaras de limón, encontrándose en el límite entre pectina de alto y bajo metoxilo. En la caracterización de la pectina en el estudio de Sánchez-Valerio (2015) quien extrajo pectina a partir de residuos de guayaba mediante la metodología de ultrasonido se evidenció un contenido metoxilo menor (4,55 %) justificando este valor por un posible alto nivel de madurez del fruto. Finalmente, Mendoza-Vargas et al. (2017) se inclinó por la metodología enzimática para la extracción de pectina a partir de cáscaras del cacao en donde obtuvo una pectina clasificada como de bajo metoxilo con un valor de 1,58 %.

4.2.5. Selección de tecnología

La selección de la tecnología más conveniente para el escalado se ve reflejada en la tabla 9. En donde la hidrólisis ácida resulta la más adecuada por diversos motivos, entre ellos se destaca su elevado rendimiento en la obtención de pectina a partir de residuos agroindustriales. Asimismo, esta metodología implica un proceso bien establecido y controlable, lo que lo hace atractivo para la producción a gran escala.

Tabla 9
Matriz decisional de tecnología

Tecnología	Parámetros de extracción	Rendimiento	Calidad del producto	Total
Hidrólisis ácida	5	3	2	10
Extracción asistida por ultrasonido	1	2	2	5
Extracción asistida por microondas	1	2	4	7
Método enzimático	3	2	1	6

4.3. Desarrollo de la ingeniería conceptual de la línea de producción de pectina

Un diseño deficiente de la planta industrial genera pérdidas operativas continuas. La inversión en un diseño óptimo, comparable en costo a una instalación mal diseñada, se justifica por la mejora en la eficiencia y la reducción de costos a largo plazo (Casp, 2004).

4.3.1. Estudio del producto

La ficha técnica ilustrada en la tabla 10, constituye un instrumento que facilita la comprensión de los datos técnicos de la pectina cítrica, incluyendo la definición, la aplicación, características físicoquímicas y microbiológicas, información nutricional y las condiciones de almacenamiento.

Tabla 10
Ficha técnica de la pectina cítrica

FICHA TECNICA		
Pectina cítrica	Hoja	Fecha
Especificación general	1 de 1	29/10/2025
IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO		
Denominación comercial:	Pectina <i>Citrus</i>	
Denominación legal:	Pectina cítrica	
DEFINICIÓN DEL PRODUCTO		
La pectina cítrica es un agente texturizante, espesante y/o gelificante en presencia de un medio ácido y azúcar. Su presentación en el mercado es de polvo blanco y usado particularmente en la fabricación de mermeladas.		
APLICACIÓN DEL PRODUCTO		
Pectina Citrus se utiliza para la elaboración de toda clase de mermeladas, confituras pulpas o patés.		
MODO DE EMPLEO		

Su dosis típica es de 0,25%-0,50% según la sustancia soluble (debe ser mínimo 64%), de la formulación y de la textura requerida. Para dispersar mezclar primero en seco con los demás ingredientes sólidos y verter sobre el líquido con agitación, para disolver bien calentar hasta 85°C. También puede dispersarse en aceite, licores o jarabes espesos de azúcar (+ de 65° brix). Es posible que, según el pH de la fruta utilizada, sea necesario añadir ácido cítrico para reducir el pH lo suficiente para que la pectina gelifique correctamente.

LISTA DE INGREDIENTES

Pectina de alto metoxilo (E 440i), dextrosa.

DECLARACIÓN DE ALERGENOS

No aplica

ESPECIFICACIONES QUÍMICAS/FÍSICAS		VALORES NUTRICIONALES	
Apariencia:	Polvo crema	Sobre 100 gramos de producto	
Olor-Sabor:	Neutro	Valor energético: 970 kJ/ 240 kcal	
pH:	2,8-3,5	Grasas	0 g
ESPECIFICACIONES MICROBIOLÓGICAS		Hidratos de carbono	27 g
Recuento de placas (cfu/g):	Max. 1000	Fibra	59 g
Levaduras y moho (cfu/g):	Max. 100	Proteína	2 g
<i>Escherichia coli</i> (g):	Ausente	Sal	1,4 g
<i>Salmonella</i> (/25g):	Ausente		

VIDA ÚTIL Y CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO

Consumir preferentemente antes de los 12 meses posteriores a su fabricación. Conservar en un envase cerrado, en un lugar seco y fresco, fuera del alcance de la luz.

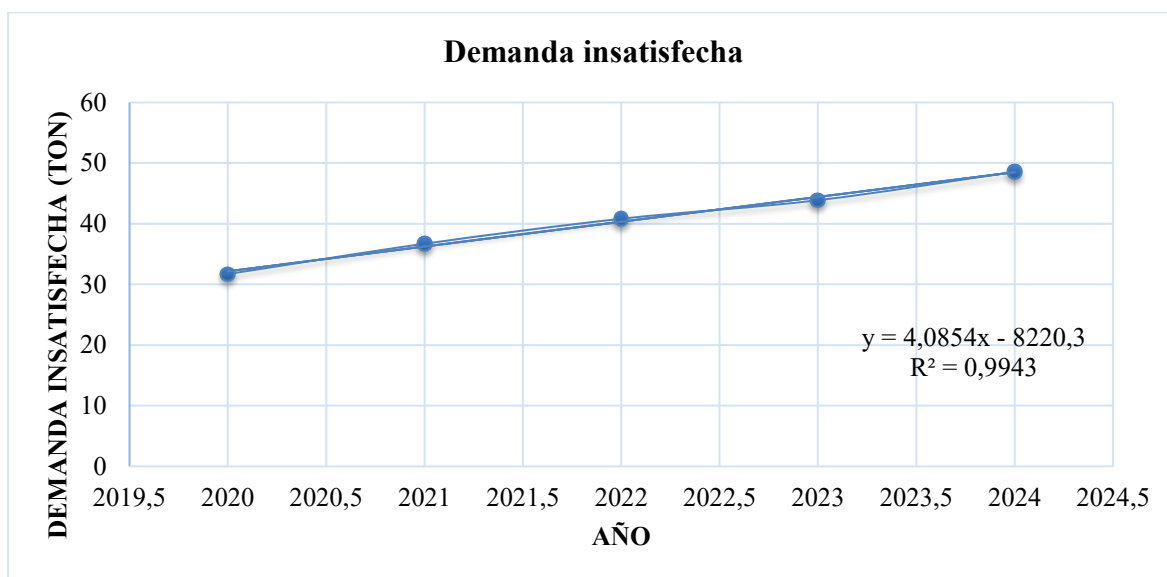
Nota: Mediante el presente cuadro se conoce los datos técnicos del producto que se consideran importantes para el desarrollo del diseño de la planta. Adaptado de *Ficha técnica de producto*, por Dayelet, 2025.

4.3.2. Capacidad del Diseño de la Planta

La capacidad del diseño de la planta es planteada en base a un porcentaje preferencial a cubrir de la demanda insatisfecha, en base a que en el territorio nacional no se registra oficialmente industrias dedicadas a la producción de pectina, por ende, la demanda proyectada reflejada en la figura 6 es la demanda insatisfecha.

Figura 6

Representación gráfica de la demanda mediante la regresión lineal



Por lo tanto, el diseño de producción pretende cubrir el 20% de la demanda con el uso de la ecuación 4 proyectada a 5 años mediante la herramienta de regresión lineal representada en la tabla 11.

Tabla 11
Demanda proyectada de la pectina

DEMANDA PROYECTADA	
Años	Demanda proyectada (Ton)
2025	52,64
2026	56,72
2027	60,81
2028	64,89
2029	68,98
2030	73,06

Por ende, la capacidad de diseño sería de 14,61 toneladas anuales de producción de pectina, correspondiente al 20% de la demanda insatisfecha proyecta a 2030 tal como se indica en la ecuación 4.

$$\text{Producción esperada} = 20 \% * 73,06 \text{ toneladas} \quad (4)$$

$$\text{Producción esperada} = 14,61 \text{ toneladas/ año}$$

Tomando en cuenta esta producción anual, se procede a calcular la capacidad diaria de la planta mediante la ecuación 5.

$$\text{Capacidad de la planta} = \frac{\text{kg/año}}{\text{\#de días} \times \text{\#de semanas}} \quad (5)$$

$$\text{Capacidad de la planta} = \frac{14610 \text{ kg/año}}{5 \text{ días} \times 48 \text{ semanas}}$$

$$\text{Capacidad de la planta} = 60,88 \text{ kg de pectina por día}$$

4.3.3. Localización

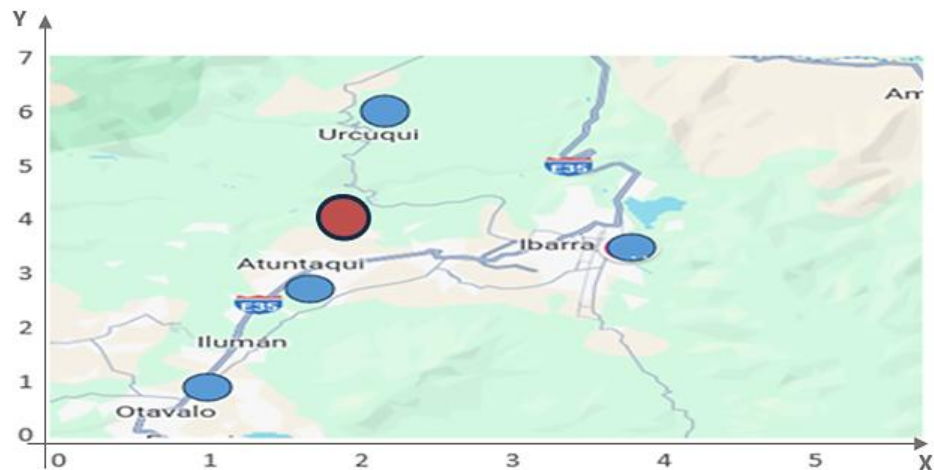
La elección de la localización se la ha subdividido en la macro localización y en la micro localización. La primera localización es realizada a una gran escala en función de las plantas generadoras de residuos cítricos específicamente las cáscaras de limón reflejadas en la tabla 12 y representados gráficamente en la figura 7 dando como la localización más conveniente en las coordenadas; x=2,01, y= 2,8.

Tabla 12
Matriz de selección de coordenadas

Lugar/ Ciudad	Coordenadas		Volumen de cáscaras de cítricos (kg)	Qx	Qy
	X	Y			
Atuntaqui	1,7	2,9	1500	2550	4350
Urcuquí	2,2	6	1000	2200	6000
Ibarra	3,9	3,2	1200	4680	3840
Otavalo	1	1	2000	2000	2000
TOTAL			5700	11430	16190

Figura 7

Representación gráfica de la macro localización



Para la micro localización, se evaluaron las siguientes ubicaciones cercanas a las coordenadas establecidas en la macro localización: San Antonio de Ibarra (A), Chaltura (B), Imbaya (C) y San Roque (D). La selección de la ubicación más adecuada para la planta se basó en la aplicación de una matriz de ponderación de factores, mediante la asignación de pesos relativos a los criterios fundamentales.

Se ha considerado relevante el suministro constante de la materia prima con el propósito de garantizar la continuidad de las operaciones. Además, la proximidad y el acceso a la materia prima se reflejan positivamente en la reducción de costos de logística y tiempos de transporte. Por lo tanto, se ha asignado un valor de 0,3 a la disponibilidad de materia prima.

Asimismo, la necesidad de la planta al contar con personal capacitado para los diferentes procesos operativos justifica un valor ponderativo del 0,25. Por otro lado, la cercanía al mercado favorece a la distribución del producto, favoreciendo su competitividad, por lo que se ha asignado a este criterio un valor del 0,15.

En busca de garantizar la integridad de la infraestructura y del personal de la planta se ha asignado al criterio de seguridad una ponderación del 0,15. La accesibilidad vial con un valor del 0,10 favorece la eficiencia logística tanto en la recepción de materia prima e insumos como en la distribución de productos terminados. Finalmente, asegurar la disponibilidad de

servicios básicos (0,05) garantiza el funcionamiento continuo de la planta.

En base a la matriz de ponderación de factores (Tabla 13) se determina que San Antonio de Ibarra con una calificación total de 8,30 se posiciona como la mejor localización para el desarrollo de la planta.

Tabla 13
Matriz decisional de localización mediante ponderación

Factores críticos	Ponderación	LOCALIZACIONES				PUNTUACIONES			
		A	B	C	D	A	B	C	D
Disponibilidad de la materia prima	0,30	7	8	8	8	2,10	2,40	2,40	2,40
Disponibilidad de mano de obra	0,25	9	9	8	8	2,25	2,25	2,00	2,00
Mercado	0,15	10	8	7	6	1,50	1,20	1,05	0,90
Seguridad	0,15	7	8	7	6	1,05	1,20	1,05	0,90
Accesibilidad vial	0,10	9	7	8	7	0,90	0,70	0,80	0,70
Servicios básicos	0,05	10	9	8	7	0,50	0,45	0,40	0,35
TOTAL						8,30	8,20	7,70	7,30

4.3.4. Proceso productivo

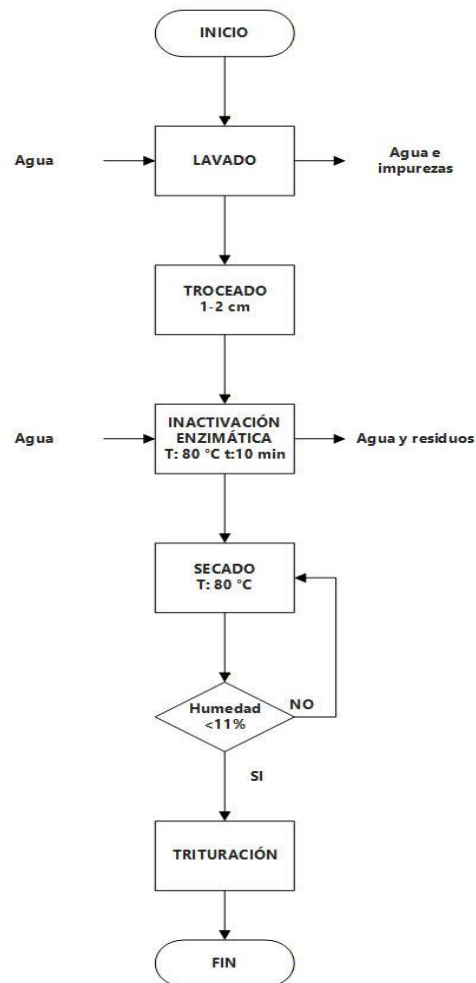
Es necesario representar gráficamente el proceso productivo mediante un diagrama de flujo que permite organizar de forma secuencial las operaciones unitarias del proceso, a la vez permite organizar la disposición de los equipos de producción y de los sistemas auxiliares e identificar alguna posible interrelación entre las distintas etapas del proceso (Casp, 2004). El proceso productivo se ha dividido en dos etapas, en el acondicionamiento de la materia prima y en el proceso de extracción de pectina.

4.3.4.1. Acondicionamiento de la materia prima

Las cáscaras del cítrico son sometidas a un proceso de acondicionamiento (Figura 8) con la finalidad de evitar la formación de mohos y levaduras debido al elevado contenido de humedad y la inactivación enzimática que tiene por objetivo evitar la degradación de la pectina.

Figura 8

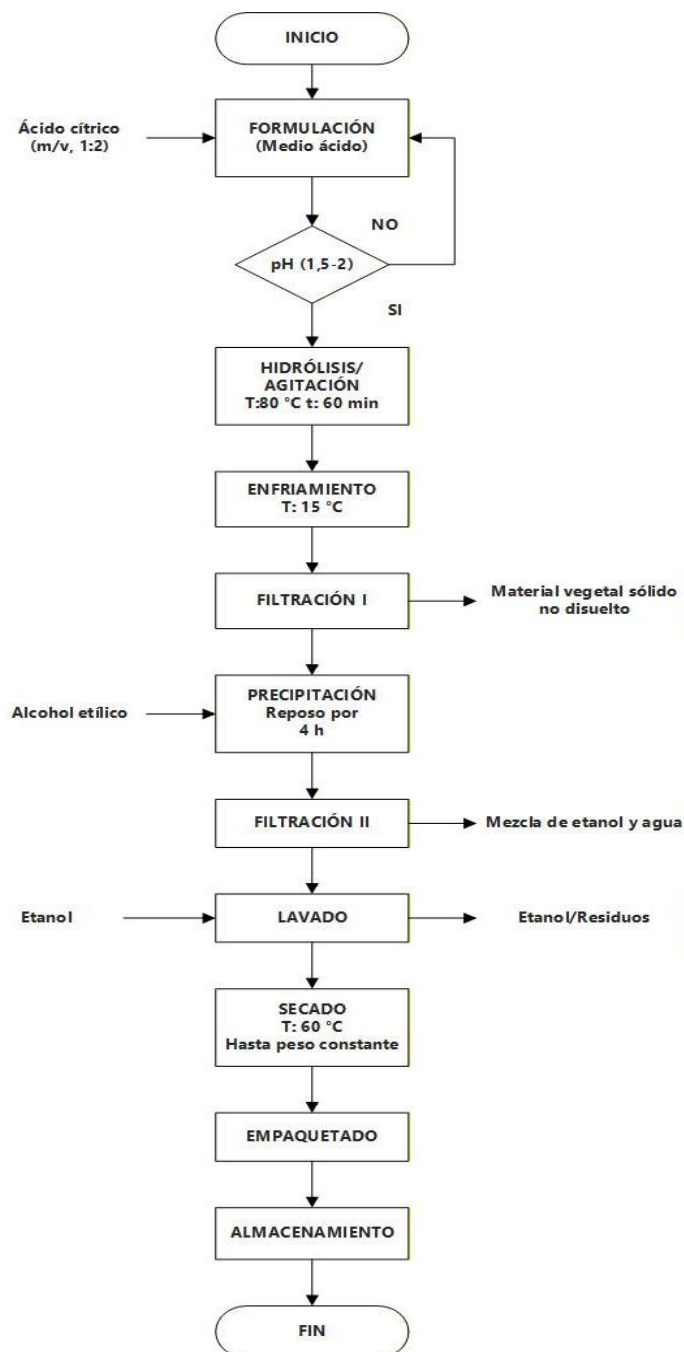
Flujograma del acondicionamiento de la materia prima



4.3.4.2. Extracción de pectina

Mediante el diagrama de flujo representado en la figura 9 se expone el proceso de producción de pectina a partir de la materia prima acondicionada tomando en cuenta los parámetros de extracción que han resultado beneficiosos en los diferentes estudios citados.

Figura 9
Flujograma del proceso de extracción



4.3.4.3. Descripción del proceso

- Lavado y troceado

Una vez asegurado el buen estado de la materia prima, las cáscaras de limón son lavadas exhaustivamente con agua potable para retirar partículas superficiales y polvo. Posteriormente

las cáscaras son troceadas o picadas con la finalidad de aumentar la superficie de contacto.

- Inactivación enzimática

Las cáscaras trituradas son calentadas a una temperatura de 80 °C durante 10 minutos, con una relación muestra-agua de 1:2. Esto con la finalidad de inactivar las enzimas que son las responsables de degradar la pectina.

- Secado y trituración

Las cáscaras son llevadas a un proceso de secado con el objetivo de reducir su humedad a un porcentaje menor al 11%, seguidamente el material vegetal es triturado permitiendo aumentar la superficie de exposición al agente de extracción.

- Formulación del medio ácido e Hidrólisis ácida

Se prepara la solución acidulada comúnmente de ácido cítrico con una relación 1:2 (kg/l). Posteriormente se calienta a una temperatura de 80 °C por 60 minutos con agitación constante.

- Enfriamiento y filtrado I

El enfriamiento debe ser rápido con la finalidad de pausar la hidrólisis y evitar la degradación de la pectina hasta una temperatura aproximada de 15 °C. Se filtra la mezcla para separar el extracto líquido (que contiene la pectina) del residuo sólido.

- Precipitación y filtrado II

En una proporción de 1:2 (extracto-etanol) se sumerge el extracto líquido con alcohol etílico, se somete a agitación por 5 minutos seguido de un reposo por 4 horas. Una vez formado el gel, se filtra nuevamente para separarlo de la mezcla alcohol-agua.

- Lavado y secado

Se realizan varios lavados del gel con etanol usando hasta dos veces su volumen. Respecto al etanol utilizado, se le somete a un proceso de recuperación que implica la limpieza del alcohol etílico resultante de la precipitación y lavado de la pectina para la eliminación de trazas ácidas y amargas mediante un filtro de carbón activado (Almeida Echeverría, 2017).

Seguidamente, la sustancia gelatinosa se lleva a un proceso de secado hasta tener un peso constante y textura firme que permita la molienda de la pectina seca para su posterior empaquetado.

- Empaquetado y almacenamiento

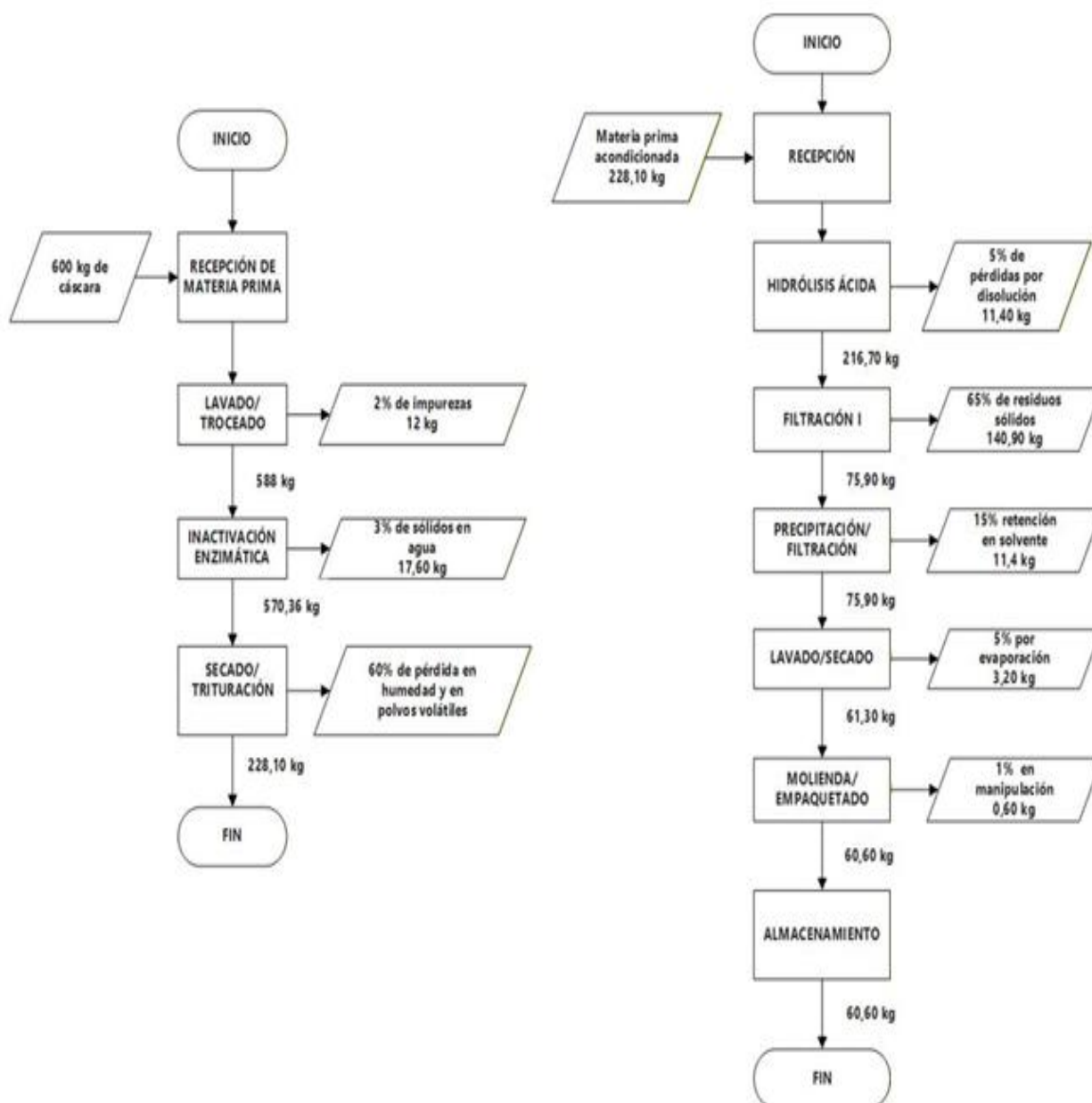
Se deposita el polvo de pectina en bolsas de polietileno de alta densidad empacadas al vacío y se almacenan en un lugar seco y fresco.

4.3.4.4. *Balance de masa*

Una vez identificada la cadena productiva para la extracción de pectina, se ha realizado el balance de masa por cada operación unitaria realizado mediante la herramienta Visio de Microsoft (Figura 10), que permitió identificar la capacidad de cada equipo en relación al volumen de la materia prima y las pérdidas ocurridas por cada etapa del proceso, además de identificar el rendimiento del proceso. Cabe recalcar que los porcentajes de pérdida del proceso son datos recopilados en base a una prueba de laboratorio.

Figura 10

Balance de masa del proceso de extracción de pectina



El cálculo porcentual del rendimiento del proceso productivo ha sido realizado mediante la fórmula 5, partiendo como dato inicial la cantidad de materia prima que ha sido previamente sometida a un proceso de acondicionamiento.

$$Re = \frac{PT}{MT} \quad (5)$$

Donde:

Re: Rendimiento

PT: Producto terminando

MT: Cantidad de cáscara seca

$$Re = \frac{60,6 \text{ kg}}{228,1 \text{ kg}} \times 100\%$$

$$Re = 26,6\%$$

4.3.4.5. Equipos y maquinaria

Las especificaciones del equipamiento incluyendo codificación, maquinaria y función se presentan en la tabla 14.

Tabla 14
Especificaciones de equipos

Código	Equipo	Función
Tam-1	Tambor rotatorio de acero inoxidable	Remueve polvo e impurezas con rociado y agitación rotatoria
Cor-1	Cortadora de cuchillas rotativas	Trocea las cáscaras que facilite la activación enzimática
Tal-1	Tanque de acero inoxidable	Inactivación de enzimas
Sec-1	Secador de bandejas	Reduce la humedad hasta que sean aptas para la trituración
Mol-1	Molino de martillos	Tritura las cáscaras secas
batch-1	Reactor batch con agitación	Extracción de pectina
Tal-2	Tanque de acero inoxidable	Mezcla extracto con etanol para precipitar pectina
Tal-3	Tanque con agitación lenta	Lava la pectina gelatinosa con etanol para purificación

Tal-4	Tanque de acero inoxidable	Tratamiento de etanol con filtros de carbón activado
Tal-5	Tanque de acero inoxidable	Almacenamiento de etanol
Sec-2	Estufa de bandejas	Elimina la humedad del gel
Mol-2	Molino de cuchillas	Muele la pectina seca hasta polvo fino
Sell-1	Selladora al vacío	Empaqueta la pectina seca

4.3.5. Distribución de la planta

La superficie total requerida por la planta ha sido calculada mediante el método Guerchet, que establece tres relaciones de superficies requeridas por maquinarias y áreas tal como se representa en la fórmula 6.

$$St = (Ss + Sg + Se) * n \quad (6)$$

$$Ss = Largo * Ancho$$

$$Sg = Ss * N$$

$$Se = (Ss + Sg) * k(\text{coeficiente de evolución})$$

Donde:

Ss: Superficie estática

Sg: Superficie de gravitación

Se: Superficie de evolución

N: Lados usables del equipo

n: Número de equipos

St: Área requerida aproximada

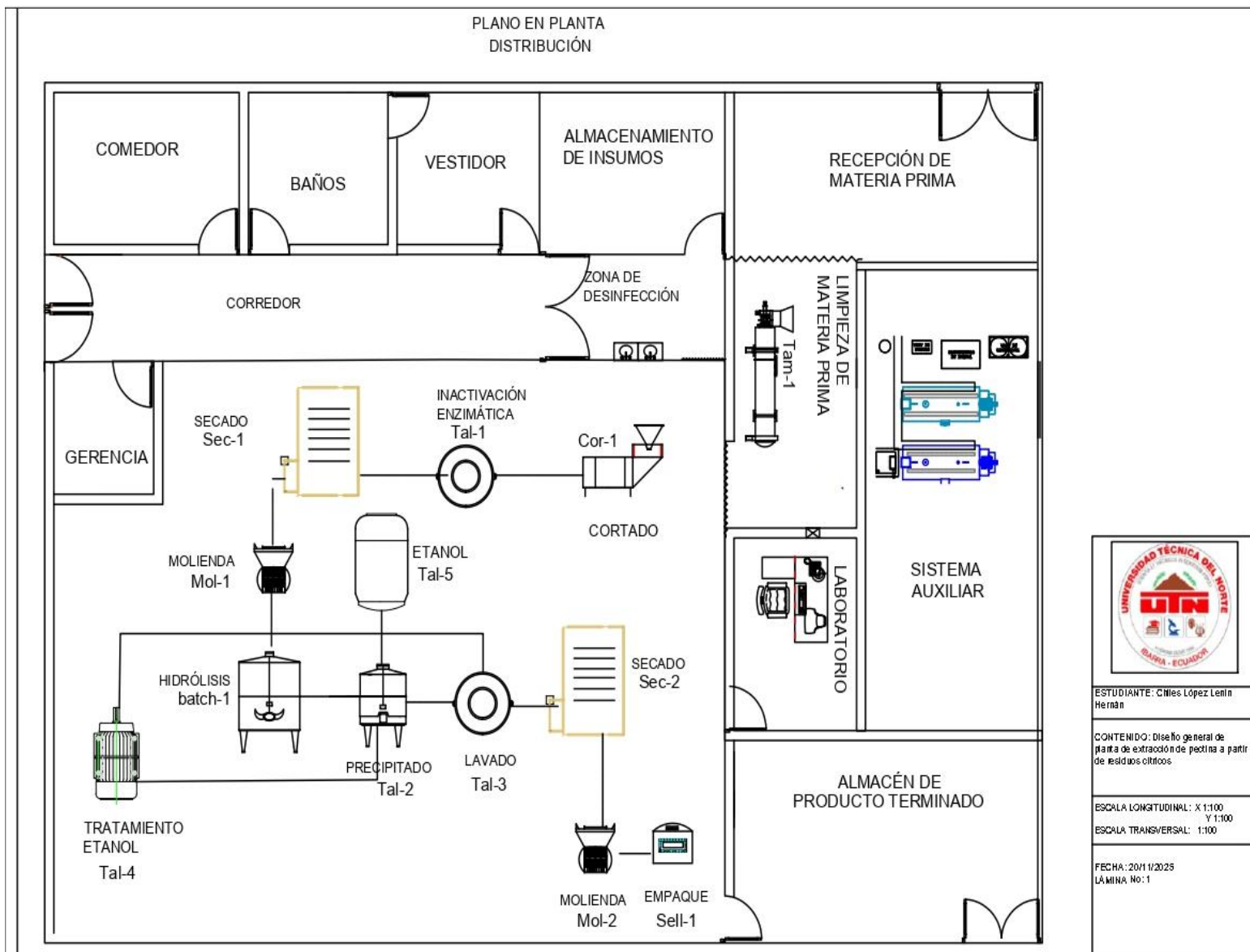
Dando en la tabla 15 un área aproximada de 157, 01 m² para la distribución de la planta.

Tabla 15
Método Guerchet

ACTIVIDAD	MAQUINARIA	n	N	LARGO	ANCHO	K	Ss	Sg	Se	St
Lavado	Tambor rotatorio de acero inoxidable	1	2	2,40	1,20	0,15	2,88	5,76	1,30	9,94
Troceado	Cortadora de cuchillas rotativas	1	3	1,50	0,80	0,15	1,20	3,60	0,72	5,52
Inactivación	Tanque de acero inoxidable	1	2	1,20	1,20	0,15	1,44	2,88	0,65	4,97
Secado	Secador de bandejas	1	1	2,00	1,40	0,15	2,80	2,80	0,84	6,44
Trituración	Molino de martillos	1	3	1,60	1,00	0,15	1,60	4,80	0,96	7,36
Hidrólisis	Reactor batch con agitación	1	2	1,50	1,50	0,15	2,25	4,50	1,01	7,76
Precipitación	Tanque de acero inoxidable	2	2	1,50	1,50	0,15	2,25	4,50	1,01	15,53
Lavado	Tanque con agitación lenta	1	2	1,20	1,20	0,15	1,44	2,88	0,65	4,97
Tratamiento etanol	Tanque de acero inoxidable	1	2	1,10	1,10	0,15	1,21	2,42	0,54	4,17
Secado	Estufa de bandejas	1	1	1,80	1,20	0,15	2,16	2,16	0,65	4,97
Molienda	Molino de cuchillas	1	3	1,20	0,80	0,15	0,96	2,88	0,58	4,42
Empaquetado	Selladora al vacío	1	2	1,50	0,90	0,15	1,35	2,70	0,61	4,66
Área de laboratorio	Mesones	2	3	1,80	0,80	0,15	1,44	4,32	0,86	13,25
Área administrativa	Oficinas	1	1	2,50	2,00	0,15	5,00	5,00	1,50	11,50
Bodega	Estantes	3	2	2,40	0,40	0,15	0,96	1,92	0,43	9,94
Baños	Inodoros y lavamanos	2	1	2,50	2,00	0,15	5,00	5,00	1,50	23,00
Duchas	Regaderas	2	1	1,50	1,00	0,15	1,50	1,50	0,45	6,90
Vestidores	Casilleros	2	1	1,50	0,80	0,15	1,20	1,20	0,36	5,52
Comedor	Mesas	2	1	1,50	0,90	0,15	1,35	1,35	0,41	6,21
TOTAL										157,01

Para el diseño arquitectónico de la distribución general de la planta se ha recurrido al software AutoCAD que permite representar gráficamente la cadena productiva y distribución de las principales áreas de la planta de producción de pectina (Figura 11).

Figura 11
Distribución general de la planta



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En base a los estudios realizados, la presente investigación permite concluir lo siguiente:

- Las características fisicoquímicas del limón de la variedad Meyer representan un potencial considerable como materia prima para la extracción de pectina con un rendimiento del 26%, siendo un valor aceptable en comparación a otros estudios citados. Sin embargo, el porcentaje de humedad de la cáscara (79,14 %) refleja la importancia de ser sometida inmediatamente a un proceso de secado.
- Se ha evidenciado la existencia de distintas tecnologías para la extracción de pectina a escala laboratorio, entre las cuales destacan la hidrólisis ácida, la extracción asistida por microondas y ultrasonido. Sin embargo, la matriz de decisión, que consideró criterios fundamentales, como los parámetros de extracción, rendimiento y calidad de producto, determinó que el método químico de hidrólisis ácida es el más adaptable a una escala piloto, con un rendimiento aceptable del 26 % y un contenido metoxilo del 6,7 % clasificándola como pectina de bajo metoxilo.
- La línea de producción de pectina a escala piloto, misma que ha sido diseñada para una capacidad de procesamiento de 600 kg de cáscara de limón diaria requiere de un área estimada de 157,01 m².

5.2. Recomendaciones

- Seguir con el desarrollo de la ingeniería básica que incluya una evaluación económica con diferentes indicadores con el objetivo de garantizar la viabilidad del proyecto y dar paso a la ingeniería a detalle.
- Analizar la viabilidad de optar por diferentes residuos agroindustriales como materia prima para la extracción de pectina y no limitarse solamente en cáscara de cítricos.

REFERENCIAS

- Ahmad, M., Rehman, S., Qureshi, T., Nadeem, M., & Asghar, M. (2016). Variabilidad en la composición de la cáscara y evaluación de la calidad de los aceites de cáscara de variedades cítricas. *Revista de Investigación Agrícola (JAR)*, 54(4), 747–756. https://www.researchgate.net/publication/329240019_VARIABILITY_IN_PEEL_COMPOSITION_AND_QUALITY_EVALUATION_OF_PEEL_OILS_OF_CITRUS_VARIETIES
- Alcolea, R. (2020, August 28). *Beneficios del limón: lo bueno de este fruto no solo está en su vitamina C*. https://www.abc.es/bienestar/alimentacion/recetas-saludables/abci-beneficios-limon-bueno-este-fruto-no-solo-esta-vitamina-202008250148_noticia.html#
- Almeida Echeverría, C. E. (2017). *DISEÑO DE UN PROCESO PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA COMO GELIFICANTE A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA (Citrus Sinensis)*. <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/2715>
- Alpala, L. O., Alemany, M. del M. E., Peluffo-Ordoñez, D. H., Bolaños, F., Rosero, A. M., & Torres, J. C. (2018). Methodology for the design and simulation of industrial facilities and production systems based on a modular approach in an “industry 4.0” context •. *Dyna*, 85(207), 243–252. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n207.68545>
- Álvarez Arias, D., De Ávila Moore, J., & Hurtado Rivera, J. (2022). Aplicación de Metodología SLP para Redistribución de Planta en Micro Empresa Colombiana del Sector Marroquino: Un Estudio de Caso. *Boletín de Innovación, Logística y Operaciones*, 4(1). <https://doi.org/10.17981/BILO.4.1.2022.11>
- Álvarez, J. G., Armero, J. M., & Urrutia, C. A. (2020). CONTROL DE TEMPERATURA EN INTERCAMBIADORES DE CALOR TIPO CORAZA-TUBO: UNA REVISIÓN REALIZADA A LA INDUSTRIA. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 41–49. <https://doi.org/10.31908/19098367.0005>

- Aranda Nelson, & Valdez, I. (2019). *El color del limón. Hormonas al servicio de exigencias de mercado*. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres .
<https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=el-color-del-limon-hormonas-al-servicio-de-exigencias-de-mercado>
- Atahuaman Ricaldi, S. M. (2021). Implementación de un procedimiento de ingeniería de detalle para reducir tiempos de entrega de planos de fabricación en la empresa metalmecánica MQ Metalúrgica S.A. *Repositorio Institucional - UTP*.
- Azzouzi, H., Elhajji, L., Achchoub, M., Salmaoui, S., Ammadi, A., Harrak, H., Touzani, R., Noutfia, Y., & Elfazazi, K. (2023). Moroccan Citrus clementina Peels: Optimization of Pectin Extraction and Determination of Chemical and Functional Properties. *Plants 2023, Vol. 12, Page 3417, 12(19)*, 3417.
<https://doi.org/10.3390/PLANTS12193417>
- Brito Ayora, L. J. (2024). *Extracción y caracterización de pectina a partir de manzana (Malus Domestica Royal Gala), mediante el método de hidrólisis ácida*.
<https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/45696>
- Cabarcas Henao, E., Guerra Benedetti, A. F., & Henao Balseiro, C. A. (2012). EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PECTINA APARTIR DE CÁSCARAS DE PLÁTANO PARA DESARROLLAR UN DISEÑO GENERAL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN. *Universidad de Cartagena*.
- Casp, A. (2004). *Diseño de industrias agroalimentarias* . Ediciones Mundi-Prensa.
- Castiblanco Urrego, O., & Yáñez, F. (2020). Estudio comparativo del comportamiento de algunas pectinas comerciales como inhibidores en la formación de hidratos de tetrahidrofurano . *INVENTUM, 15*.
<https://revistas.uniminuto.edu/index.php/Inventum/article/view/2340/3302>
- Catillo-Ramos, C. (2020). *Extracción de aceites esenciales de los residuos de las cáscaras de naranja (Citrus sinensis L.), mandarina (Citrus reticulata) y limón (Citrus aurantifolia Swingle) para su uso como aditivo en la elaboración de un jabón artesanal*.
- Cayambe Criollo, J. D. (2022). *Obtención de pectina a partir de residuos de naranja*

(*citrus sinensis*) por el método de hidrólisis ácida y su aplicación en la industria alimenticia.

Chacón, J. P. B., & Carvajal, V. R. A. (2022). Estudio técnico: localización y diseño de plantas agroindustriales. *Brazilian Journal of Business*, 4(4), 1951–1960.

<https://doi.org/10.34140/bjbv4n4-024>

Chan, S. Y., Choo, W. S., Young, D. J., & Loh, X. J. (2017). Pectin as a rheology modifier: Origin, structure, commercial production and rheology. *Carbohydrate Polymers*, 161, 118–139. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2016.12.033>

Chasquibol-Silva, N., Arroyo-Benites, E., & Morales-Gomero, J. C. (2008). Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana. *Ingeniería Industrial*, 0(026), 175–199.

<https://doi.org/10.26439/ING.IND2008.N026.640>

Dalgo-Flores, V. M., Cayambe-Criollo, J. D., Rodríguez-Vinueza, V. I., Tixi-Gallegos, K. G., & Quispillo-Moyota, J. M. (2024). Caracterización físico-química en la optimización de la producción de pectina a partir de residuos de naranja (CITRUS SINENSIS) mediante hidrólisis ácida: un enfoque eficiente para su potencial aplicación como agente estabilizante, emulsificante y gelific. *Polo Del Conocimiento: Revista Científico - Profesional*, ISSN-e 2550-682X, Vol. 9, N°. 1 (ENERO 2024), 2024, Págs. 2041-2064, 9(1), 2041–2064.

<https://doi.org/10.23857/pc.v9i1>

Danovich, C. L. (2019). *Extracción de pectina de albedo de limón mediante enzimas pécticas producidas por una levadura autóctona.*

Dávila Guerrero, E. J. (2009). Análisis bromatológico, contenido de ácido ascórbico y evaluación antioxidante de tres frutos cítricos; limón (*Citrus limón* L.), cidra (*Citrus medica* L.), y toronja (*Citrus paradisi* L). *Universidad Nacional de La Amazonia Peruana*.

<https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/2964>

Dayelet. (2025). *Ficha técnica de producto.*

<https://www.dayelet.com/pdfs/esp/DAYELET%20PECTINA%20CITRUS.pdf?utm>

- De los Ángeles Rodríguez Pontón, G., Gabriel Pazmiño Peñafiel, P., del Pilar Pazmiño Miranda, N., & Auxiliadora Cárdenas Tenorio, M. (2025). OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PECTINA DE CÁSCARA DE NARANJA PARA USOS AGROINDUSTRIALES. *Revista Científica Multidisciplinaria InvestiGo*, 6(15), 273–284. <https://doi.org/10.56519/K27P9H52>
- Devi, W. E., Shukla, R. N., Bala, K. L., Kumar, A., Mishra, A. A., & Yadav, K. C. (2014). Extraction of Pectin from Citrus Fruit Peel and Its Utilization in Preparation of Jelly. *International Journal of Engineering Research*, 3(5), 1925–1932. www.ijert.org
- Diez Carrión, A. (2021). *Obtención de pectina mediante extracción asistida por microondas*.
- Donkersley, P., Silva, F. W. S., Carvalho, C. M., Al-Sadi, A. M., & Elliot, S. L. (2018). Biological, environmental and socioeconomic threats to citrus lime production. *Journal of Plant Diseases and Protection* 2018 125:4, 125(4), 339–356. <https://doi.org/10.1007/S41348-018-0160-X>
- Fajardo Contreras, J. D., Sánchez Plaza, F. A., Dueñas Rivadeneira, J. P., & Dueñas Rivadeneria, A. A. (2022). EXTRACCIÓN ASISTIDA POR ULTRASONIDO Y SU APLICACIÓN EN LA OBTENCIÓN DE ACEITES VEGETALES | Revista Centro Azúcar. *Revista Centro Azúcar*, 49(4).
- Fustamante Nunez, Y. J., & Valdera Santamaria, W. R. (2019). EXTRACCIÓN ENZIMÁTICA Y CARACTERIZACIÓN DE LA PECTINA A PARTIR DE LOS RESIDUOS DEL MANGO (*Mangifera indica*). *Repositorio Institucional - USS*.
- García Sabater, J. P. (2020). Distribución en Planta. *Universidad Politécnica de Valencia*. <http://hdl.handle.net/10251/138801>
- García-García, P. M., Galindo-Alcántara, A., & Ruiz-Acosta, S. del C. (2023). Métodos de extracción de pectina en frutos: Revisión sistemática. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 10(SPE3). <https://doi.org/10.19136/era.a10niii.3728>

- Gómez, Á. P., Jiménez, L. V., & Colina, J. Y. (2018). Evaluation of lemon shell flour as a substitute of fat in type home cake. *Revista de Investigaciones de UNIAGRARIA*, 6(1), 53–59. <https://doi.org/10.33133/RIU-6-2018-117>
- González Niño, L. V., Jaimes Claros, J. M., & Pacateque Forero, L. L. (2024). *Comparativa entre métodos para la extracción de pectina y su impacto en el medio ambiente*.
- Haradzi, N. A., Khor, S. P., Subramaniam, S., & Chew, B. L. (2021). Regeneration and micropropagation of Meyer lemon (*Citrus x meyeri*) supported by polymorphism analysis via molecular markers. *Scientia Horticulturae*, 286, 110225. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2021.110225>
- Heizer, J., & Render, B. (1996). Principio de la Administración de Operaciones. In *Pearson Educación* (séptima, Number Administración y Economía). Prentice Hall . [https://uceedu-my.sharepoint.com/personal/wrjijon_uce_edu_ec/_layouts/15/onedrive.aspx?id=%2Fpersonal%2Fwrjijon%5Fuace%5Fedu%5Fec%2FDocuments%2FSemestre%20NOV%2020%20%2D%20ABR%2021%2FProducci%C3%B3n%201%2C%20Semestre%202020%2D2021](https://uceedu-my.sharepoint.com/personal/wrjijon_uce_edu_ec/_layouts/15/onedrive.aspx?id=%2Fpersonal%2Fwrjijon%5Fuace%5Fedu%5Fec%2FDocuments%2FSemestre%20NOV%2020%20%2D%20ABR%2021%2FProducci%C3%B3n%201%2C%20Semestre%202020%2D2021%2FAdministracio%CC%81n%20de%20Operaciones%2DHEIZER%2C%20RENDER%2Epdf&parent=%2Fpersonal%2Fwrjijon%5Fuace%5Fedu%5Fec%2FDocuments%2FSemestre%20NOV%2020%20%2D%20ABR%2021%2FProducci%C3%B3n%201%2C%20Semestre%202020%2D2021)
- Higuera-Tarazona, L. F. (2019). *Caracterización fisicoquímica de pectinas provenientes de residuos de naranja (Citrus sinensis) variedad común, generadas mediante extracción asistida por microondas*. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/28059>
- Jara Collantes, L., Rengifo, V. M., & Vargas Vilchez, C. (2016). Propuesta de plan de negocio de una empresa de consultoría en ingeniería de detalle. *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*.
- Jirasaranporn, A., Jantharadej, K., Wongwailikhit, K., Chawengkijwanich, C., Lohwatcharin, J., & Suwannasilp, B. B. (2022). A pilot-scale anaerobic moving-bed biofilm reactor with PVA gel beads as media for the treatment of fish canning

- industry wastewater. *Water Reuse*, 12(2), 206–222.
<https://doi.org/10.2166/WRD.2022.090>
- Karbuz, P., & Tugrul, N. (2021). Microwave and ultrasound assisted extraction of pectin from various fruits peel. *Journal of Food Science and Technology*, 58(2), 641–650.
<https://doi.org/10.1007/S13197-020-04578-0/FIGURES/7>
- Kute, A. B., Mohapatra, D., Kotwaliwale, N., Giri, S. K., & Sawant, B. P. (2020). Characterization of Pectin Extracted from Orange Peel Powder using Microwave-Assisted and Acid Extraction Methods. *Agricultural Research*, 9(2), 241–248.
<https://doi.org/10.1007/S40003-019-00419-5/FIGURES/2>
- Machicado, F., & Quiroga, M. (2016). Estudio de localización de un proyecto. *Ventana Científica*, 7(11), 29–33.
- Mahato, N., Sharma, K., Sinha, M., Baral, E. R., Koteswararao, R., Dhyan, A., Hwan Cho, M., & Cho, S. (2020). Bio-sorbents, industrially important chemicals and novel materials from citrus processing waste as a sustainable and renewable bioresource: A review. *Journal of Advanced Research*, 23, 61–82.
<https://doi.org/10.1016/J.JARE.2020.01.007>
- Mao, Y., Robinson, J. P., & Binner, E. R. (2023). Current status of microwave-assisted extraction of pectin. In *Chemical Engineering Journal* (Vol. 473, p. 145261). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.145261>
- Mendoza-Vargas, L., Jiménez-Forero, J., & Ramírez-Niño, M. (2017). Evaluación de la pectina extraída enzimáticamente a partir de las cáscaras del fruto de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Actualidad y Divulgación UDCA, ISSN-e 0123-4226, ISSN 2619-2551, Vol. 20, N° 1, 2017 (Ejemplar Dedicado a: Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica. January - June), Págs. 131-138, 20(1), 131–138.*
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9508390&info=resumen&idioma=ENG>
- Miranda Quitiaquez, S. X., Tibanquiza Pilaguano, M. P., Toapanta Cunalata, O. G., & Vaca Poaquiza, L. R. (2023). Evaluación de dos métodos de control sobre el

- Minador (*Phyllocnistis citrella* Stainton) en la planta de limón Meyer (*Citrus meyeri*) en Patate-Ecuador. *Polo Del Conocimiento: Revista Científico - Profesional*, ISSN-e 2550-682X, Vol. 8, Nº. 10 (OCTUBRE 2023), 2023, Págs. 628-644, 8(10), 628–644. <https://doi.org/10.23857/pc.v8i10.6146>
- Moreda, P. E. (2020). *Ingeniería de Manufactura*.
<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/97916>
- Moslemi, M. (2021). Reviewing the recent advances in application of pectin for technical and health promotion purposes: From laboratory to market. *Carbohydrate Polymers*, 254, 117324. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2020.117324>
- Munarin, F., Tanzi, M. C., & Petrini, P. (2012). Advances in biomedical applications of pectin gels. *International Journal of Biological Macromolecules*, 51(4), 681–689. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2012.07.002>
- Muñoz Zamarripa, M. Á., & Ojeda Escoto, P. A. (2019). Enseñanza del diseño mecánico mediante un proyecto CAD documentado. *Revista de Ingeniería Mecánica*, 3(11).
- Ordóñez-Santos, L. E. (2001). *Localización y distribución de plantas agroindustriales*. Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira.
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/51958>
- Pagan, J. (1999). Degradación enzimática y características físicas y químicas de la pectina del bagazo de melocotón / Jordi Pagan i Gilabert | Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes. *Alicante : Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes*.
<https://www.cervantesvirtual.com/obra/degradacion-enzimatica-y-caracteristicas-fisicas-y-quimicas-de-la-pectina-del-bagazo-de-melocoton--0/>
- Palacios Cabrera, T. A., Chamorro Armas, S. E., Almeida, C., Carrillo, I., Palacios Cabrera, T. A., Chamorro Armas, S. E., Almeida, C., & Carrillo, I. (2019). Diseño de una planta piloto de extracción de pectina como gelificante a partir de residuos de la naranja (*Citrus Sinensis*). *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 8(2), 23–29. <https://doi.org/10.29166/REVFIG.V1I2.1274>
- Panahirad, S., Dadpour, M., Peighambardoust, S. H., Soltanzadeh, M., Gullón, B., Alirezalu, K., & Lorenzo, J. M. (2021). Applications of carboxymethyl cellulose-

and pectin-based active edible coatings in preservation of fruits and vegetables: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 663–673.

<https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2021.02.025>

Pérez-Agualongo, A. A., Maykel-Israel, C. O., Acosta-Velarde, J. I., Reinoso-Astudillo, C. I., & Naranjo-Vargas, E. M. (2022). Análisis de localización para una planta de producción industrial de biofertilizante. *Polo Del Conocimiento*, 7(5), 1468–1483. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i5.4039>

Pham, T., Nguyen, N. T. P., Dinh, D. V., Kieu, N. T., Bach, L. G., Phong, H. X., Muoi, N. V., & Truc, T. T. (2020). Evaluate the Chemical Composition of Peels and Juice of Seedless Lemon (*Citrus latifolia*) Grown in Hau Giang Province, Vietnam. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 991(012127). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/991/1/012127>

Polanco-Lugo, E., Martínez-Castillo, J. I., Cuevas-Bernardino, J. C., González-Flores, T., Valdez-Ojeda, R., Pacheco, N., & Ayora-Talavera, T. (2019). Citrus pectin obtained by ultrasound-assisted extraction: Physicochemical, structural, rheological and functional properties. *CYTA - Journal of Food*, 17(1), 463–471. <https://doi.org/10.1080/19476337.2019.1600036>

Púa, A., Barreto, G., Vallejo, D., & Ariza, C. (2015). EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA PECTINA OBTENIDA A PARTIR DE LA CÁSCARA DE LIMÓN TAHITÍ (*CITRUS X LATIFOLIA*) EN DOS ESTADOS DE MADURACIÓN. *@limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 13(2). <https://doi.org/10.24054/limentech.v13i2.1620>

Rajulapati, V., Dhillon, A., & Goyal, A. (2021). Enzymatically produced pectic-oligosaccharides from fruit waste of *Citrus reticulata* (mandarin) peels display cytotoxicity against colon cancer cells. *Bioresource Technology Reports*, 15, 100740. <https://doi.org/10.1016/J.BITEB.2021.100740>

Rey Avila, L. M. (2022). *Selección de la tecnología electroquímica de remoción de metales para el tratamiento de los vertimientos provenientes de la industria de curtiembres en Villapinzón*. <http://52.0.229.99/handle/20.500.11839/9123>

- Reyes Melinao, C. E., Cofré Bravo, G. (Profesor guía), Concha Meyer, A. (Profesor co-guía), & Plaza Ramírez, A. (Profesor co-guía). (2021). Evaluación de métodos de extracción asistida por ultrasonido y microondas para la liberación de compuestos de interés desde pomasa de tomate deshidratada. *Universidad de Talca (Chile). Escuela de Agronomía*.
- Rodríguez Mora, D. A., Ramirez-Garcés, A. F., & Altamar, A. del S. (2023). Extracción de pectina a partir de la hidrólisis ácida del cacao (*Theobroma Cacao L.*) y su aplicación en la obtención de biopelículas. *Revista Mutis*, 13(1), 1–20.
<https://doi.org/10.21789/22561498.1885>
- Romero Sáez Manuel. (2022). *Vista de Los residuos agroindustriales, una oportunidad para la economía circular*.
<https://revistas.itm.edu.co/index.php/tecnologicas/article/view/2505/2525>
- Ropartz, D., & Ralet, M. C. (2020). Pectin Structure. *Pectin: Technological and Physiological Properties*, 17–36. https://doi.org/10.1007/978-3-030-53421-9_2
- Russo, C., Maugeri, A., Lombardo, G. E., Musumeci, L., Barreca, D., Rapisarda, A., Cirmi, S., & Navarra, M. (2021). The Second Life of Citrus Fruit Waste: A Valuable Source of Bioactive Compounds. *Molecules* 2021, Vol. 26, Page 5991, 26(19), 5991. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES26195991>
- Sánchez-Valerio, K. B. (2015). *Obtención de pectina mediante Hidrólisis ácida asistida con ultrasonidos de alta intensidad a partir de guayaba (Psidium guajava L. var. Media China)*. <https://hdl.handle.net/20.500.12371/8958>
- Satama, E. (2021). *Incidencia de la pasteurización lenta en la capacidad antioxidante hidrosoluble, calidad microbiológica y las propiedades físico químicas del jugo del limón meyer citrus meyeri y. tan*.
<https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11146>
- Şen, E., Göktürk, E., & Uğuzdoğan, E. (2024). Microwave-assisted extraction of pectin from onion and garlic waste under organic, inorganic and dual acid mixtures. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 18(5), 3189–3198.
<https://doi.org/10.1007/s11694-024-02395-z>

- Singh, B., Singh, J. P., Kaur, A., & Singh, N. (2020). Phenolic composition, antioxidant potential and health benefits of citrus peel. *Food Research International*, 132, 109114. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2020.109114>
- Soria Ilvay, E. C. (2022). *Obtención de pectina a partir de residuos agrícolas de limón (citrus limon) por el método de hidrólisis ácida y su aplicación en el área farmacéutica*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/20421>
- Suhardini, D., Septiani, W., & Fauziah, S. (2017). Design and Simulation Plant Layout Using Systematic Layout Planning. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 277(1), 012051. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/277/1/012051>
- Torres Ortiz, L. E. (2017). Evaluación del efecto de la adición de la pectina como estabilizante en las propiedades físicas, químicas, tecnofuncionales y sensoriales del yogur batido. *Universidad Nacional José María Arguedas*.
- Torres Soto, K. J., Flórez Peña, L. S., Sánchez, C. W., & Castañeda, N. M. (2020). SLP Methodology for Plant Distribution in Glue Laminated Guadua (GLG) manufacturing companies. *Ingenieria (Colombia)*, 25(2), 103–116. <https://doi.org/10.14483/23448393.15378>
- Toyo-Diaz, M. J., Toyo-Fernández, B. M., & Moreno-Quintero, M. E. (2023). Extracción de pectina a partir de cáscara de cambur para la producción de una mermelada. *Agroecología Global. Revista Electrónica de Ciencias Del Agro y Mar*, 5(9), 21–42. <https://doi.org/10.35381/A.G.V5I9.2572>
- Vaez, S., Karimi, K., Mirmohamadsadeghi, S., & Jeihanipour, A. (2021). An optimal biorefinery development for pectin and biofuels production from orange wastes without enzyme consumption. *Process Safety and Environmental Protection*, 152, 513–526. <https://doi.org/10.1016/J.PSEP.2021.06.013>
- Van Renterghem, J., Van de Steene, S., Digkas, T., Richter, M., Vervaet, C., & De Beer, T. (2019). Assessment of volumetric scale-up law for processing of a sustained release formulation on co-rotating hot-melt extruders. *International Journal of Pharmaceutics*, 569, 118587. <https://doi.org/10.1016/J.IJPHARM.2019.118587>
- Vasconcellos, E. P., De Souza, P. M. T. G., Franco, M. R., De Castro, V. G., Souza, L.

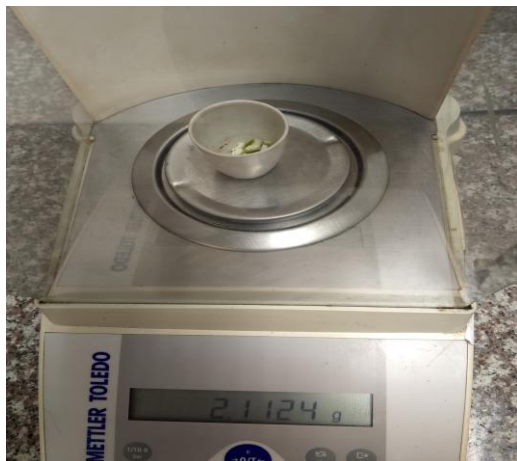
- V., Lago, R. M., & Speziali, M. G. (2021). Escalonamento de tecnologias: desenvolvimento de produto e processo do laboratório à escala piloto conectado ao mercado (parte 1). *Química Nova*, 44(3), 377–384. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170665>
- Venegas Rivadeneira, J. A. (2021). *Evaluación del efecto del aire caliente seco en almacenamiento de limón Meyer (Citrus meyerii Y.)*. Quito : UCE.
- Zegada Franco, V. (2015). EXTRACCIÓN DE PECTINA DE RESIDUOS DE CÁSCARA DE NARANJA POR HIDRÓLISIS ÁCIDA ASISTIDA POR MICROONDAS (HMO). *SciELO*, 1(15), 504.
- Zhongdong, L., Guohua, W., Yunchang, G., & Kennedy, J. F. (2006). Image study of pectin extraction from orange skin assisted by microwave. *Carbohydrate Polymers*, 64(4), 548–552. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2005.11.006>

ANEXOS

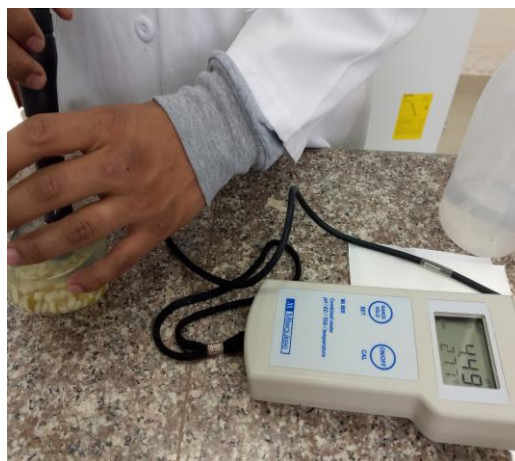
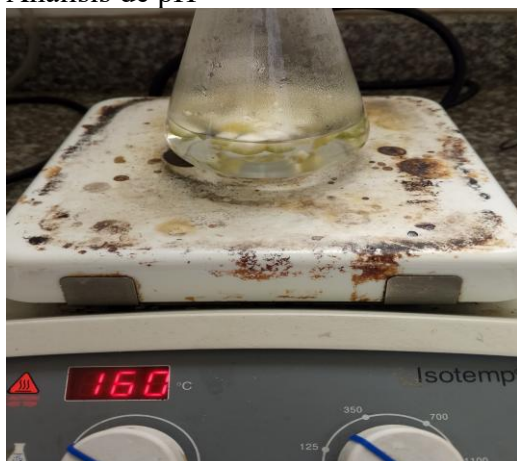
Anexo 1

Análisis de características fisicoquímicas de las cáscaras de limón

Análisis de humedad



Análisis de pH

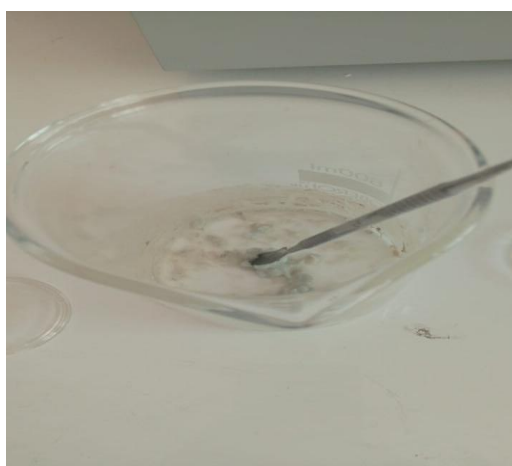
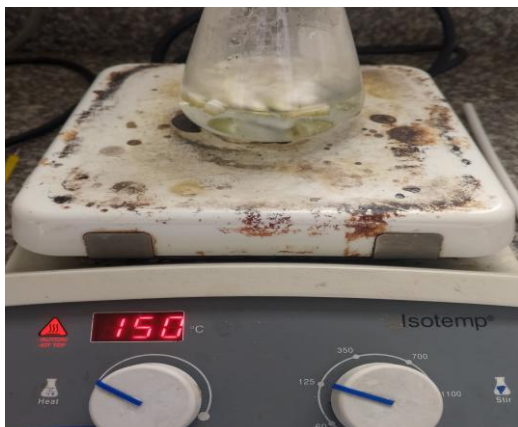


Análisis de cenizas



Anexo 2

Extracción de pectina a escala laboratorio



Anexo 3

Análisis del grado metoxilo de la pectina



Análisis Físicos, Químicos y Microbiológicos:
Aguas, Alimentos y Afines

Informe N°: 11- 2025

DATOS DEL CLIENTE

Análisis solicitado por:	Sr. Lenin Chiles
Atención:	Sr. Lenin Chiles
RUC/CI:	0401918917
Dirección:	Ibarra
Ciudad/Provincia:	Ibarra/Imbabura
Teléfono:	095 993 1492
email:	leninchileshernan-01@hotmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Cáscara de limón

Tipo de muestra:	Sólida	Descripción:	Cáscara Limón Verde
Fecha de recepción:	27 de marzo de 2024	Número de muestras:	1
Cantidad:	100 g	Fecha de elaboración:	No aplica
Tipo de conservación:	No aplica	Lote:	No aplica
Tipo de envase:	Funda Polietileno	Fecha de caducidad:	No aplica
Tipo de muestreo:	No aplica	Persona quien muestrea:	Cliente

DATOS DE LABORATORIO

Fecha de análisis:	27 de marzo de 2024
Fecha de entrega informe:	03 de abril de 2024
Código Interno	No aplica

Resultado Analítico

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado	Método de Ensayo
Grado de metoxilo (B.S.)	%	6.7	Gravimetría

Observaciones

Los resultados obtenidos pertenecen exclusivamente para las muestras analizadas

El laboratorio no se responsabiliza del uso que el cliente pueda dar al presente informe.

Los informes se almacenarán por un periodo de dos años a partir del ingreso de la muestra al laboratorio

Tiempo de almacenamiento de las muestras: 5 días a partir de la entrega del informe

Responsable:

Dra. Verónica Espinoza

Gerente



Anexo 4

Reporte de turnitin

