

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



Tesis

Extracción de pectina de la cáscara de chirimoya (*Annona cherimola*) y determinación de las propiedades fisicoquímicas y funcionales

Presentado por:

Sheyla Bravo Aroste

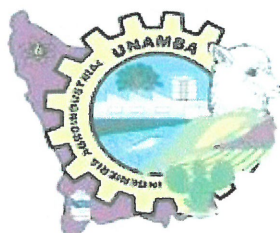
Para optar el título de Ingeniero Agroindustrial

Abancay, Perú

2026



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



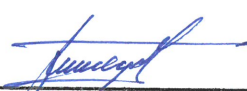
TESIS

**Extracción de pectina de la cáscara de chirimoya (*Annona cherimola*) y determinación
de las propiedades fisicoquímicas y funcionales**

Presentado por **Sheyla Bravo Aroste**, para optar el título de Ingeniero Agroindustrial

Sustentado y aprobado el día lunes 20 de julio del 2026 ante el jurado evaluador:

Presidente:



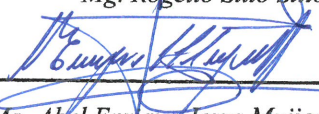
Mg. Ruth Mery Ccopa Flores

Primer miembro:



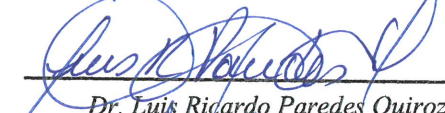
Mg. Rogelio Sillo Sillo

Segundo miembro:

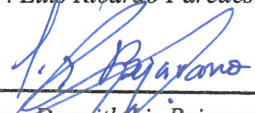


Mg. Abel Enrique Jesus Mujica Paredes

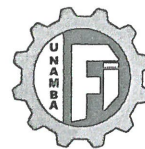
Asesores:



Dr. Luis Ricardo Paredes Quiroz



Dra. Dagnath Liz Bejarano Lujan



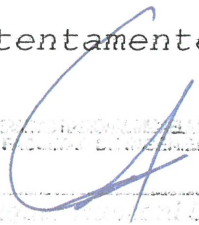
Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N°194-2026

La Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a través de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería declara que, la tesis titulada: **Extracción de pectina de la cáscara de chirimoya (*Annona cherimola*) y determinación de las propiedades fisicoquímicas y funcionales**, presentado por la Bachiller: **Sheyla Bravo Aroste**, para optar el título de **Ingeniero Agroindustrial**; ha sido sometido a un mecanismo de evaluación y verificación de similitud, a través del Software Turnitin, siendo el índice de **similitud ACEPTABLE de (11%)** por lo que, cumple con los criterios de originalidad establecidos en el reglamento de investigación, aprobado con Resolución N°168-2024(2)-CU-UNAMBA.

Abancay, 15 de julio del 2026

Atentamente,


UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
Dr. Wilfredo Valentín Colón
DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN

C. c:
Archivo/
WHCE/D-UIFI
YOVANA / SEC
REG. N°683



Agradecimiento

*Con profunda gratitud y emoción, elevo mi agradecimiento a **Dios**, fuente de fortaleza, sabiduría y esperanza, por acompañarme en cada etapa de este camino académico. Su guía ha iluminado mis decisiones y me ha permitido encontrar a personas extraordinarias que contribuyeron significativamente a la culminación de esta meta tan importante en mi vida.*

De manera especial agradezco al VRIN ya que esta tesis fue ganadora y financiada parcialmente a través del Vicerrectorado de Investigación de la UNAMBA, mediante el concurso “CONCURSO DE SUBVENCION DE PROYECTOS DE TESIS – 2025-1”, financiado con Fondos de Canon y Regalías minera.

*Expreso mi más sincero reconocimiento al Dr. **Luis Ricardo Paredes Quiroz**, por su valiosa orientación, su paciencia inquebrantable y su permanente disposición para compartir sus conocimientos. Su experiencia, exigencia académica y confianza en mis capacidades fueron pilares fundamentales para el desarrollo exitoso de esta investigación.*

*De igual manera, manifiesto mi especial agradecimiento a la **Dra. Dagnith Liz Bejarano Luján**, por su dedicación, profesionalismo y constante acompañamiento. Sus observaciones, sugerencias y aportes enriquecieron notablemente este trabajo y fortalecieron mi formación como investigadora.*

*Mi más sincero agradecimiento a la Ing. **Katerin Stefany Medrano Quispecahuana** y al Ing. **Justo Flavio Arias Motta** por su constante apoyo, orientación y colaboración durante las actividades realizadas en el laboratorio.*

A mi amada familia, especialmente a mis padres, hermanos, tíos y tías, les agradezco por su amor incondicional, su apoyo permanente y por estar presentes en cada desafío y cada logro. Gracias por creer en mí incluso en los momentos más difíciles; ustedes son mi inspiración, mi fortaleza y la razón que me impulsa a seguir adelante.



Dedicatoria

Dedico este logro, en primer lugar, a mis queridos padres, quienes con su amor, esfuerzo y sacrificio hicieron posible cada paso de mi formación profesional.

*De manera muy especial, a mi madre, **Sebastiana Aroste Aguirre**, por ser el pilar fundamental de mi vida, mi fuente inagotable de fortaleza y la motivación que me impulsó a seguir adelante en los momentos más difíciles. Su amor, confianza y dedicación fueron la luz que iluminó mi camino y la razón que me permitió alcanzar esta importante meta.*

*A mi padre, **José Bravo Bautista**, sus enseñanzas y el ejemplo de trabajo que me ha brindado a lo largo de mi vida.*

A mis hermanas y hermanos, tíos y tías, por sus consejos, palabras de aliento y compañía incondicional en cada etapa de este proceso. Su confianza en mí fue un estímulo permanente para no rendirme ante las dificultades.

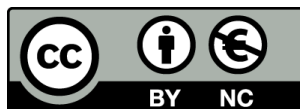
*Asimismo, dedico este logro a dos personas que fueron muy importantes en mi vida: **Dolores Riveros** y **Victoria Gutiérrez**. Gracias por su amor, apoyo y enseñanzas, que dejaron una huella imborrable en mi corazón y contribuyeron a mi crecimiento personal y profesional, espero que, dondequiera que estén, puedan sentir el profundo agradecimiento, admiración y cariño que siempre guardaré por ustedes, su memoria seguirá siendo una luz que guía mi camino e inspira mis sueños. Las llevo conmigo en este momento tan especial, con amor eterno y gratitud infinita.*



Extracción de pectina de la cáscara de chirimoya (*Annona cherimola*) y determinación de las propiedades fisicoquímicas y funcionales

Línea de investigación: Caracterización, desarrollo de proceso e innovación en la agroindustria

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	3
ABSTRACT	4
CAPÍTULO I	5
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.1 Descripción del problema	5
1.2 Enunciado del problema	6
1.2.1 Problema general	6
1.2.2 Problemas específicos	7
1.2.3 Justificación de la investigación	7
CAPÍTULO II	9
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	9
2.1 Objetivos de la investigación	9
2.1.1 Objetivo general	9
2.1.2 Objetivos específicos	9
2.2 Hipótesis de la investigación	9
2.2.1 Hipótesis general	9
2.2.2 Hipótesis específicas	10
2.3 Operacionalización de variables	10
2.3.1 Variable independiente	10
2.3.2 Variable dependiente	11
CAPÍTULO III	13
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	13
3.1 Antecedentes	13
3.2 Marco teórico	18
3.2.1 Chirimoya (<i>Annona cherimola</i>)	18
3.2.2 Taxonomía	19
3.2.2.1 Características botánicas	20
3.2.2.2 Composición química de la cascara de chirimoya	21
3.2.2.3 Producción y postcosecha de la chirimoya	22
3.2.2.4 Usos y potencial de valorización de la chirimoya	23
3.2.3 Residuos agroindustriales y valorización	23

3.2.4	Pectina	24
3.2.5	Estructura química de la pectina	25
3.2.5.1	Cadenas principales de la pectina	26
3.2.5.2	Cadenas secundarias de la pectina	30
3.2.5.3	Grado de esterificación de la pectina	32
3.2.6	Tipos de pectina	33
3.2.6.1	Pectinas de bajo metoxilo (LM)	33
3.2.6.2	Pectinas de alto metoxilo (HM)	33
3.2.6.3	Pectinas de bajo metoxilo amidada (LMA)	34
3.2.7	Clasificación de las sustancias pécticas	35
3.2.7.1	Protopectinas	35
3.2.7.2	Sustancias pécticas	35
3.2.8	Rendimiento de la pectina	37
3.2.9	Propiedades de la pectina	37
3.2.9.1	Características fisicoquímicas	37
3.2.9.2	Propiedades funcionales	40
3.2.10	Métodos de extracción de pectina	41
3.2.10.1	Hidrólisis ácida	42
3.2.11	Factores que influyen en la extracción de pectina	42
3.2.11.1	pH de extracción	43
3.2.11.2	Temperatura de extracción	43
3.2.11.3	Tiempo de extracción	43
3.2.11.4	Relación sólida-líquido	43
3.2.11.5	Relación volumen/volumen (v/v) en el precipitado	44
3.2.12	Pectinas comerciales	45
3.3	Marco conceptual	45
CAPÍTULO IV		47
METODOLOGÍA		47
4.1	Tipo y nivel de investigación	47
4.1.1	Factores y niveles del diseño experimental	48
4.1.2	Matriz de tratamientos	48
4.1.3	Análisis estadístico	49
4.2	Descripción ética de la investigación	52
4.3	Población y muestra	53
4.3.1	Población	53
4.3.2	Muestra	53
4.4	Procedimiento	53
4.4.1	Materiales	53

4.4.2	Procedimiento para la obtención de pectina	54
4.5	Técnica e instrumentos	57
4.6.1	Determinación del rendimiento	57
4.6.2	Análisis fisicoquímico	57
4.6.3	Propiedades funcionales	61
4.7	Análisis estadístico	63
CAPÍTULO V		64
RESULTADOS Y DISCUSIONES		64
5.1	Resultados	64
5.1.1	Rendimiento de pectina por tratamiento	64
5.1.1.1	Análisis de varianza (ANOVA) del efecto de las condiciones de extracción sobre el rendimiento de pectina obtenida de la cáscara de chirimoya (<i>Annona cherimola</i>)	66
5.1.1.2	Prueba de comparación múltiple de Tukey para el rendimiento de pectina en los tratamientos evaluados.	67
5.2	Comparación de las propiedades fisicoquímicas de la pectina extraída y la pectina comercial	68
5.2.1	pH	68
5.2.2	Acidez titulable	69
5.2.3	Contenido de metoxilos	69
5.2.4	Grado de esterificación	69
5.2.5	Humedad	69
5.2.6	Viscosidad	70
5.3	Comparación de las propiedades funcionales de la pectina extraída y la pectina comercial	70
5.3.1	Capacidad gelificante	71
5.3.2	Capacidad emulsionante	71
5.3.3	Capacidad espesante	71
5.4	Caracterización estructural de la pectina	72
5.4.1	Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)	72
5.3	Contrastación de hipótesis	75
5.3.2	Hipótesis específica	76
5.3.2.1	Hipótesis específica del rendimiento	76
5.3.2.2	Hipótesis específica sobre los análisis de las propiedades fisicoquímicas	77
5.3.2.3	Hipótesis específica sobre la caracterización de las propiedades funcionales	78
5.4	Discusión	79
5.4.1	Rendimiento	79
5.4.2	Propiedades fisicoquímicas de la pectina	80
5.4.3	Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)	83

CAPÍTULO VI	85
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	85
6.1 Conclusiones	85
6.2 Recomendaciones	86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 — Operacionalización de variables	12
Tabla 2 — Composición química de la cascara de chirimoya	21
Tabla 3 — Factores y niveles del diseño experimental	48
Tabla 4 — Matriz de tratamientos del diseño factorial	49
Tabla 5 — Esquema del análisis de varianza (ANOVA) para un Diseño Completamente al Azar con arreglo factorial 2 ⁴	51
Tabla 6 — Rendimiento de pectina obtenido en los tratamientos experimentales	64
Tabla 7 — Comparación de las propiedades fisicoquímicas de la pectina extraída y la pectina comercial	68
Tabla 8 — Comparación de las propiedades funcionales de la pectina extraída y la pectina comercial	70
Tabla 9 — Principales bandas FTIR identificadas en las muestras de pectina	74
Tabla 10 — Datos experimentales para la determinación del rendimiento de la pectina extraída de cáscara de chirimoya	101
Tabla 11 — Análisis de varianza del modelo lineal general	103
Tabla 12 — Comparación de medias del rendimiento de pectina mediante la prueba de Tukey	104
Tabla 13 — Análisis de varianza (ANOVA) del pH de la pectina extraída y la pectina comercial	106
Tabla 14 — Análisis de varianza (ANOVA) de la acidez titulable de la pectina obtenida a partir de cáscara de chirimoya (<i>Annona cherimola</i>) y de la pectina comercial	106
Tabla 15 — Comparación de medias de la acidez titulable mediante la prueba de Tukey	107
Tabla 16 — Análisis de varianza (ANOVA) del contenido de metoxilos de las pectinas evaluadas	107
Tabla 17 — Análisis de varianza (ANOVA) del grado de esterificación de las pectinas evaluadas	107
Tabla 18 — Análisis de varianza (ANOVA) del contenido de humedad de las pectinas evaluadas	108



Tabla 19 — Prueba de comparación múltiple de Tukey para el contenido de humedad de las pectinas evaluadas	108
Tabla 20 — Análisis de varianza (ANOVA) de la viscosidad de las pectinas evaluadas	109
Tabla 21 — Prueba de comparación múltiple de Tukey para la viscosidad de las pectinas evaluadas	109
Tabla 22 — Análisis de varianza (ANOVA) de la capacidad emulsionante de las pectinas evaluadas	110
Tabla 23 — Prueba de comparación múltiple de Tukey para la capacidad emulsionante de las pectinas evaluadas	110
Tabla 24 — Análisis de varianza (ANOVA) de la capacidad espesante de las pectinas evaluadas	111
Tabla 25 — Prueba de comparación múltiple de Tukey para la capacidad espesante de las pectinas evaluadas	111

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 — Morfología externa e interna del fruto de chirimoya (<i>Annona cherimola</i>)	19
Figura 2 — Cadena principal de la pectina (GalpA–Rhap)	27
Figura 3 — Región ramificada (“región pilosa”) de la pectina en plantas dicotiledóneas	27
Figura 4 — Enlace glucosídico α (1→4) entre residuos de ácido D-galacturónico en la cadena del homogalacturonano	28
Figura 5 — O-acetilación en las posiciones C2 y C3 del ácido D-galacturónico	28
Figura 6 — Estructura del ramnogalacturonano I (RG-I) con ramificaciones de galactanos y arabinanos	29
Figura 7 — Estructura del ramnogalacturonano II (RG-II)	30
Figura 8 — Estructura esquemática de la arabinana (ARA)	31
Figura 9 — Representación simplificada de la estructura del xilogalacturonano (XGA)	31
Figura 10 — Modelo de gelificación de pectina con calcio (modelo Egg-box)	32
Figura 11 — Estructura de pectina de bajo metoxilo (LM)	33
Figura 12 — Estructura de pectina de alto metoxilo (HM)	34
Figura 13 — Estructura de pectina de bajo metoxilo amidada (LMA)	34
Figura 14 — Clasificación de las sustancias pécticas en la pared celular vegetal	36
Figura 15 — Diagrama de flujo del proceso de extracción de pectina a partir de cáscara de chirimoya	56
Figura 16 — Rendimiento promedio de pectina obtenido en los diferentes tratamientos de extracción	66
Figura 17 — Medias e intervalos de confianza del rendimiento de pectina de las 16 combinaciones de tratamientos	67
Figura 18 — Espectro FTIR de la pectina extraída correspondiente al tratamiento T13 (alto rendimiento)	72
Figura 19 — Espectro FTIR de la pectina extraída correspondiente al tratamiento T4 (bajo rendimiento)	73
Figura 20 — Espectro FTIR de la pectina comercial	73

Figura 21 — Gráfica de partes de Chirimoya	99
Figura 22 — Estructuras vegetativas y reproductivas de (<i>Annona cherimola</i>)	100
Figura 23 — Diagrama de Pareto de los efectos estandarizados del arreglo factorial 2^4 sobre el rendimiento de pectina	105
figura 24 — Diagrama de cajas y bigotes del rendimiento de pectina según tratamientos	105
Figura 25 — Evidencia fotográfica del proceso de obtención de pectina a partir de la cáscara de chirimoya: Paso 1. Preparación de la materia prima	112
Figura 26 — Evidencia fotográfica del proceso de obtención de pectina a partir de la cáscara de chirimoya: Paso 2. Acondicionamiento de la materia prima	113
Figura 27 — Evidencia fotográfica del proceso de obtención de pectina a partir de la cáscara de chirimoya: Paso 3. Determinación de las características fisicoquímicas	114
Figura 28 — Evidencia fotográfica del proceso de obtención de pectina a partir de la cáscara de chirimoya: Paso 4. Determinación de las propiedades funcionales	115

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, las frutas tropicales han adquirido una creciente relevancia a nivel mundial debido a su atractivo sensorial y elevado valor nutricional, lo cual ha impulsado su demanda tanto en mercados locales como internacionales. Este interés no solo responde a las preferencias de los consumidores, sino también al potencial que presentan como fuente de compuestos bioactivos con aplicaciones en las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética. En este contexto, la caracterización de la composición y actividad biológica de estas frutas, especialmente de sus subproductos, representa una oportunidad para el desarrollo de productos de valor agregado y procesos sostenibles (Rojas-García et al., 2022).

La chirimoya (*Annona cherimola*) destaca por su sabor dulce, aroma agradable y textura suave, además de su composición nutricional basada en azúcares, vitaminas C y E, minerales y diversos constituyentes bioactivos con efectos benéficos para la salud. Sin embargo, debido a su delicada estructura y alto contenido de jugo, este fruto presenta elevada susceptibilidad al deterioro poscosecha, generando una vida útil corta de aproximadamente 5 a 7 días y una considerable producción de residuos orgánicos durante su comercialización (García, Cely y Méndez, 2024).

Entre estos residuos, la cáscara representa cerca del 34.67 % del peso total del fruto y, aunque generalmente se desecha, constituye una fuente importante de biomasa rica en polisacáridos estructurales como la pectina (Jurado, Tulcán y González, 2023). Su aprovechamiento no solo contribuye a la reducción de desechos agrícolas, sino que además se alinea con los principios de economía circular, al promover el uso eficiente de los recursos naturales y disminuir el impacto ambiental asociado a la disposición final de residuos (Li et al., 2024).

La pectina es un hidrocoloide natural ampliamente utilizado como agente gelificante, espesante y estabilizante en la industria alimentaria, así como en aplicaciones farmacéuticas y cosméticas. Actualmente, su producción depende principalmente de fuentes convencionales como cítricos y manzana; sin embargo, la valorización de subproductos frutícolas representa una alternativa sostenible con potencial para diversificar materias primas y reducir costos de producción (Navarro, 2021).



En la provincia de Aymaraes, distrito Justo Apu Sahuaraura centro poblado de Amoca, la producción de chirimoya genera volúmenes significativos de cáscara que no son aprovechados adecuadamente, contribuyendo a problemas ambientales derivados de su disposición informal. Frente a esta problemática, la presente investigación se orienta a la extracción de pectina a partir de la cáscara de chirimoya y a la determinación de sus propiedades fisicoquímicas y funcionales, con el propósito de evaluar su potencial como insumo alternativo para aplicaciones industriales sostenibles.

De este modo, el estudio busca aportar al fortalecimiento de la agroindustria local mediante la valorización de residuos poscosecha, promoviendo prácticas responsables que favorezcan la sostenibilidad ambiental, el desarrollo económico regional y la generación de conocimiento científico aplicado.



RESUMEN

La chirimoya (*Annona cherimola*) es un fruto de importancia económica cuya comercialización genera cantidades significativas de residuos agroindustriales, especialmente en forma de cáscara, la cual representa aproximadamente el 34,67 % del peso total del fruto. Este subproducto constituye una fuente potencial de pectina, un polisacárido ampliamente utilizado como agente gelificante, espesante, estabilizante y emulsionante en las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética. En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo determinar las propiedades fisicoquímicas, funcionales y estructurales de la pectina extraída de la cáscara de chirimoya. Investigación desarrollada bajo un enfoque experimental mediante un Diseño Completamente Aleatorizado (DCA) con arreglo factorial 2^4 , considerando como factores la temperatura, el pH, el tiempo de extracción y la relación extracto-etanol (v/v). La caracterización incluyó la determinación de pH, acidez titulable, contenido de metoxilos, grado de esterificación, humedad y viscosidad, así como la evaluación de las propiedades gelificante, emulsionante y espesante. Además, se realizaron análisis estructurales mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y microscopía de fluorescencia. Los resultados mostraron que las condiciones de extracción influyeron significativamente en el rendimiento y en las propiedades de la pectina obtenida ($p < 0.05$). El tratamiento óptimo correspondió a 80 °C, pH 2.5, tiempo de extracción de 1 h y relación extracto-etanol de 1:7 (v/v), alcanzando un rendimiento de 1.518 %. La pectina presentó contenidos de metoxilos entre 0.837 % y 1.147 % y grados de esterificación inferiores al 50 %, clasificándose como pectina de bajo metoxilo. Asimismo, mostró capacidad emulsionante de 76.33 % y viscosidad de 9.493 mPa·s, con un comportamiento funcional cercano a la pectina comercial. Los análisis FTIR confirmaron la presencia de grupos funcionales característicos de los polisacáridos pécticos, mientras que la microscopía de fluorescencia evidenció una estructura morfológica homogénea en el tratamiento de mayor rendimiento. Se concluye que la cáscara de chirimoya constituye materia prima promisoría para la obtención de pectina de bajo metoxilo, contribuyendo a la valorización de residuos agroindustriales y al fortalecimiento de estrategias de economía circular.

Palabras clave: *Annona cherimola*, pectina, cáscara de chirimoya, residuos agroindustriales, sostenibilidad.



ABSTRACT

Cherimoya (*Annona cherimola*) is an economically important fruit whose commercialization generates significant amounts of agro-industrial waste, particularly peels, which account for approximately 34.67% of the total fruit weight. This by-product represents a potential source of pectin, a polysaccharide widely used as a gelling, thickening, stabilizing, and emulsifying agent in the food, pharmaceutical, and cosmetic industries. In this context, the present study aimed to determine the physicochemical, functional, and structural properties of pectin extracted from cherimoya peel. The research was conducted under an experimental approach using a Completely Randomized Design (CRD) with a 2^4 factorial arrangement, considering temperature, pH, extraction time, and extract-to-ethanol ratio (v/v) as study factors. Pectin characterization included the determination of pH, titratable acidity, methoxyl content, degree of esterification, moisture content, and viscosity, as well as the evaluation of gelling, emulsifying, and thickening properties. In addition, structural analyses were performed using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) and fluorescence microscopy. The results showed that extraction conditions significantly influenced the yield and properties of the obtained pectin ($p < 0.05$). The optimal treatment corresponded to 80 °C, pH 2.5, 1 h extraction time, and an extract-to-ethanol ratio of 1:7 (v/v), achieving a yield of 1.518%. The extracted pectin exhibited methoxyl contents ranging from 0.837% to 1.147% and degrees of esterification below 50%, classifying it as low-methoxyl pectin. Furthermore, it showed an emulsifying capacity of 76.33% and a viscosity of 9.493 mPa·s, with a functional behavior similar to that of commercial pectin. FTIR analysis confirmed the presence of characteristic functional groups of pectic polysaccharides, while fluorescence microscopy revealed a homogeneous morphological structure in the treatment with the highest yield. It is concluded that cherimoya peel is a promising raw material for the production of low-methoxyl pectin, contributing to the valorization of agro-industrial waste and the strengthening of circular economy strategies.

Keywords: *Annona cherimola*, pectin, cherimoya peel, agro-industrial waste, sustainability.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

La producción mundial de chirimoya (*Annona cherimola*), impulsada por la creciente demanda de frutas tropicales en mercados internacionales, ha experimentado un desarrollo sostenido en las últimas décadas. Introducida en España desde América Latina en el siglo XVII, este país se ha consolidado como el principal productor mundial, con aproximadamente 3,600 hectáreas cultivadas, concentradas principalmente en las provincias de Málaga y Granada (Orellana-Palacios et al., 2022).

En Latinoamérica, la producción de chirimoya es significativa, particularmente en Perú, que alcanzó alrededor de 20,000 toneladas anuales, destacando su aceptación comercial y a desafíos asociados a su rápida maduración (Escalante-Talavera et al. 2023). Durante el periodo 2015–2017, la producción nacional registró volúmenes de 18.9, 25.57 y 24.77 mil toneladas, respectivamente (Sanchez-Gonzales et al., 2019). En el año 2016, las principales regiones productoras fueron Lima (58.81 %), Cajamarca (16.74 %) y Piura (6.75 %), siendo Lima la región de mayor aporte a la producción nacional. Además, las regiones de Junín y Apurímac también destacaron como importantes zonas productoras (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2021).

A pesar de su relevancia productiva, la mayor parte de la chirimoya se destina al mercado interno y solo alrededor del 1% se comercializa internacionalmente. Según AGRODATA PERÚ, las exportaciones alcanzaron 208 toneladas con un valor FOB de 547,460 dólares, siendo los principales destinos Países Bajos, Chile, Canadá, España, Italia y Estados Unidos (Jaime, 2022). Esta limitada industrialización evidencia oportunidades para diversificar el aprovechamiento del fruto y sus subproductos.

Uno de los principales problemas asociados a la cadena de valor de la chirimoya es la alta perecibilidad y corta vida útil postcosecha, estimada entre 5 y 7 días, que genera pérdidas durante la comercialización y procesamiento. En este contexto, la industria de transformación enfrenta un desafío significativo relacionado con la generación de



residuos orgánicos, especialmente en forma de cáscara, la cual representa aproximadamente el 34.67% del peso total del fruto (Jurado, Tulcán y González, 2023). Considerando la producción nacional, se estima que en el Perú se generan alrededor de 6,934 toneladas de cáscara de chirimoya anualmente, volumen que plantea importantes desafíos ambientales y económicos vinculados a su disposición final.

La acumulación inadecuada de estos residuos genera contaminación ambiental, incluyendo emisiones de gases de efecto invernadero como el metano durante su descomposición en vertederos. Además, el desaprovechamiento de la cáscara representa una pérdida considerable de biomasa con potencial industrial, dado que constituye una fuente rica en compuestos de alto valor agregado, entre ellos la pectina, un polisacárido ampliamente utilizado en las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética.

Si bien diversos estudios han demostrado que las cáscaras de frutas pueden utilizarse como materia prima alternativa para la obtención de pectina, en el contexto peruano, especialmente en la región Apurímac, su aprovechamiento sigue siendo limitado. En el distrito Justo Apu Sahuaraura centro poblado de Amoca, la producción de chirimoya genera residuos que actualmente no reciben una valorización tecnológica adecuada, lo que pone en evidencia la escasa articulación entre la producción agrícola y el desarrollo de procesos agroindustriales sostenibles.

En consecuencia, surge la necesidad de desarrollar alternativas que permitan aprovechar la cáscara de chirimoya como una fuente potencial de valor agregado, contribuyendo tanto a la reducción del impacto ambiental como al fortalecimiento de la agroindustria regional. En este contexto, se plantea la siguiente interrogante: **¿De qué manera puede aprovecharse la cáscara de chirimoya para la extracción de pectina y contribuir a al desarrollo de nuevos productos funcionales?**

1.2 Enunciado del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuáles son las propiedades fisicoquímicas y funcionales de la pectina extraída de la cáscara de chirimoya (*Annona cherimola*) bajo diferentes condiciones de extracción?



1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuáles son las condiciones de extracción, considerando factores de temperatura, pH, tiempo y relación extracto-etanol (v/v), que permiten extraer pectina de la cáscara de chirimoya (*Annona cherimola*) con mayor y menor rendimiento?
- ¿Qué propiedades fisicoquímicas presenta la pectina extraída de la cáscara de chirimoya (*Annona cherimola*) en los tratamientos con mayor y menor rendimiento?
- ¿Cuáles son las propiedades funcionales de la pectina extraída de la cáscara de chirimoya (*Annona cherimola*) en los tratamientos con mayor y menor rendimiento?
- ¿Qué diferencias existen entre la pectina extraída de la cáscara de chirimoya (*Annona cherimola*) en los tratamientos con mayor y menor rendimiento respecto de la pectina comercial en relación a sus propiedades fisicoquímicas y funcionales?

1.2.3 Justificación de la investigación

La chirimoya (*Annona cherimola*) es considerada una especie poco difundida en comparación con otros frutales tropicales, su cultivo posee relevancia mundial debido al valor comercial y nutricional de su fruto (Auria, 2024). No obstante, su procesamiento genera importantes volúmenes de residuos poscosecha, particularmente en forma de cáscara, la cual representa aproximadamente 34.67 % del peso total del fruto (Jurado, Tulcán y González, 2023).

En este contexto, la investigación se justifica teóricamente porque aportar conocimiento científico sobre la valorización de residuos agroindustriales mediante la extracción y caracterización de pectina a partir de una fuente no convencional. La cáscara de chirimoya representa una biomasa con alto contenido de pectina, un polisacárido de gran interés para la industria alimentaria debido a sus propiedades gelificantes, estabilizantes y espesantes. Así mismo, el estudio amplía la información disponible sobre las propiedades



fisicoquímico y funcional de la pectina obtenida de esta materia prima, contribuyendo al desarrollo de alternativas sostenibles frente a fuentes tradicionales como cítricos y manzana.

Desde el punto de vista aplicado, el estudio propone una alternativa tecnológica para valorizar los residuos postcosecha generados en la provincia de Aymaraes. La extracción de pectina a partir de la cáscara de chirimoya permite transformar un subproducto agrícola en un insumo con potencial uso industrial, favoreciendo el desarrollo de procesos agroindustriales con valor agregado. Del mismo modo, la utilización de residuos frutícolas para la obtención de pectina constituye una estrategia viable para disminuir la generación de desechos orgánicos y promover una gestión más eficiente de los recursos agrícolas (Navarro, 2021). La valorización de subproductos agrícolas se encuentra alineada con los principios de economía circular, ya que permite transformar residuos en materias primas secundarias, reduciendo la contaminación generada por su disposición inadecuada y disminuyendo la emisión de gases de efecto invernadero derivados de su descomposición. En este contexto, la presente investigación contribuye a la implementación de prácticas productivas sostenibles orientadas a fortalecer la gestión integral de residuos agroindustriales. Desde la perspectiva económica, el desarrollo de procesos para la obtención de pectina a partir de residuos locales podría diversificar la oferta de insumos industriales, reducir la dependencia de materias primas importadas y generar oportunidades de emprendimiento agroindustrial en la región. Además, la valorización de subproductos permite reducir costos asociados a la eliminación de desperdicios alimentarios y generar valor agregado, fortaleciendo la dinámica del comercio local y la rentabilidad del sector agrícola (Matute, 2019).



CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos de la investigación

2.1.1 Objetivo general

Extraer pectina de la cáscara de chirimoya (*Annona cherimola*), bajo diferentes condiciones de temperatura, pH, tiempo y relación extracto-etanol (v/v), y determinar sus propiedades fisicoquímicas y funcionales.

2.1.2 Objetivos específicos

- Determinar las condiciones de extracción, en función de los factores temperatura, pH, tiempo y relación extracto-etanol (v/v), que permiten obtener el mayor y menor rendimiento de pectina de la cáscara de chirimoya (*Annona cherimola*)
- Determinar las propiedades fisicoquímicas de la pectina extraída de la cáscara de chirimoya (*Annona cherimola*) de los tratamientos con mayor y menor rendimiento.
- Determinar las propiedades funcionales de la pectina extraída de la cáscara de chirimoya (*Annona cherimola*) de los tratamientos con mayor y menor rendimiento.
- Comparar las propiedades fisicoquímicas y funcionales de la pectina extraída de la cáscara de chirimoya (*Annona cherimola*) de los tratamientos con mayor y menor rendimiento con las de una pectina comercial.

2.2 Hipótesis de la investigación

2.2.1 Hipótesis general

Las condiciones de extracción influyen significativamente en el rendimiento y en las propiedades fisicoquímicas y funcionales de pectina extraída de la cáscara de chirimoya (*Annona cherimola*).



2.2.2 Hipótesis específicas

- Las condiciones de extracción, considerando factores temperatura, pH, tiempo y relación extracto-etanol (v/v), influyen significativamente en el rendimiento de extracción en la pectina obtenida de la cáscara de chirimoya (*Annona cherimola*).
- Las propiedades fisicoquímicas de la pectina extraída de la cáscara de chirimoya (*Annona cherimola*) de los tratamientos con mayor y menor rendimiento difieren significativamente de una pectina comercial.
- Las propiedades funcionales de la pectina extraída de la cáscara de chirimoya (*Annona cherimola*) de los tratamientos con mayor y menor rendimiento difieren significativamente de una pectina comercial.

2.3 Operacionalización de variables

La Tabla 1 presenta la operacionalización de las variables consideradas en la presente investigación. Estas se estructuraron en variable independiente y variable dependiente, en coherencia con el diseño experimental adoptado. La variable independiente corresponde a las condiciones de extracción de pectina a partir de la cáscara de chirimoya (*Annona cherimola*), las cuales constituyen los factores evaluados en el diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial ²⁴. Dichas condiciones incluyen la temperatura, pH de la solución acidifica, el tiempo de extracción y la relación líquido-líquido, considerados como factores determinantes en el rendimiento y calidad del producto obtenido. La variable dependiente comprende las propiedades de la pectina extraída, evaluadas mediante parámetros de rendimiento, propiedades fisicoquímicas y propiedades funcionales. Entre los indicadores analizados se incluyen el rendimiento porcentual, pH, acidez titulable, contenido de metoxilos, humedad y viscosidad, así como la capacidad gelificante, emulsionante y espesante. Estas variables permiten determinar la calidad tecnológica de la pectina obtenida y su potencial para aplicaciones industriales sostenibles.

2.3.1 Variable independiente

Condiciones de extracción:

- **Factor A:** Temperatura
- **Factor B:** pH de la solución acidifica



- **Factor C:** Tiempo de extracción
- **Factor D:** Relación liquido-líquido

2.3.2 Variable dependiente

Rendimiento de extracción (%).

a) Propiedades fisicoquímicas

- pH
- Acidez titulable
- Contenido de metoxilos
- Humedad
- Viscosidad

b) Propiedades funcionales

- Capacidad gelificante
- Capacidad emulsionante
- Capacidad espesante

Tabla 1 — Operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida
Variable Independiente: extracción de pectina a partir de la cáscara de chirimoya (<i>Annona cherimola</i>) considerando diferentes factores	Factor A: Temperatura	T ₁ : 60 °C ; T ₂ : 80 °C	°C
	Factor B: pH de la solución acidifica	pH ₁ : 1.5 ; pH ₂ : 2.5	
	Factor C: Tiempo de extracción	t ₁ : 1 ; t ₂ : 2	Hora
	Factor D: Relación extracto-etanol (v/v)	1: 7 ; 1:13	Proporción
Variable dependiente: Rendimiento de extracción de pectina	Propiedades fisicoquímicas	pH	pH
		Acidez titulable	%
		Contenido de metoxilos	%
		Grado de esterificación	%
		Viscosidad	mPa·s
		Humedad	%
	Propiedades funcionales	Capacidad gelificante	g de gel/100 g
		Capacidad emulsionante	% de emulsión formada
		Capacidad espesante	mPa·s
FUENTE: Elaboración propia.			

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1 Antecedentes

- a) Bonilla et al., (2024) tuvieron como propósito caracterizar la pectina extraída de cáscaras de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) provenientes de tres regiones del Ecuador (Palora, Santo Domingo y Babahoyo). El estudio se desarrolló bajo un enfoque experimental, empleando un diseño completamente al azar y utilizando aproximadamente 15 kg de cáscara como materia prima. La extracción de pectina se realizó mediante hidrólisis ácida con ácido clorhídrico 0.1 N a 90 °C durante 90 minutos. Los resultados mostraron diferencias significativas en las propiedades de la pectina según la región de procedencia. La pectina obtenida de Palora presentó el mayor grado de gelificación (98.84 %) y contenido de metoxilos (10.77 %), evidenciando mejores características funcionales y la pectina de menor calidad es de Babahoyo (8.93 y 97.38%, respectivamente). Por otro lado, la pectina proveniente de Santo Domingo registró el mayor rendimiento (9.25 %) y el menor costo de producción (20.93 USD/kg), alcanzando una relación beneficio/costo de 1.43. Los autores concluyeron que, si bien la pectina de Palora destacó por su calidad tecnológica, la obtenida en Santo Domingo resultó más rentable desde el punto de vista económico, recomendando su producción a escala industrial para maximizar beneficios y cumplir con estándares internacionales.
- b) Salazar y Hincapié (2023) desarrollaron una investigación con el objetivo de analizar métodos y fuentes de obtención de pectina a partir de residuos de frutas y vegetales, evaluando las condiciones operativas para maximizar los rendimientos y las características del producto final. Estudio que consistió en revisión de literatura basada en consulta de base de datos Scopus, abarcando los últimos doce años. Sus hallazgos indicaron que el método de hidrólisis ácida es el más empleado, alcanzando altos rendimientos hasta 32.6% para cáscaras de naranja, seguido de la extracción asistida por microondas y ultrasonido, que también permiten obtener pectinas con alto contenido de galacturónico y alto grado de metoxilación. Métodos no convencionales como la extracción con ondas de radiofrecuencia y ohmios demostraron potencial



debido a su capacidad de generar pectinas con niveles de esterificación superiores al 50%. En conclusión, la selección del método de extracción debe considerarse tanto el rendimiento como en las propiedades funcionales de la pectina obtenida, resaltando el potencial de las fuentes no convencionales como alternativas sostenibles para aplicaciones industriales.

- c) Rahman et al. (2023) desarrollaron un estudio con el objetivo de extraer pectina a partir de cáscaras de Elephant Apple y pomelo, evaluando su potencial para transformar residuos agroindustriales en recursos de alto valor y contribuir al desarrollo de una economía circular. La investigación se llevó a cabo bajo un enfoque experimental, comparando dos métodos de extracción: hidrólisis ácida y extracción con hexametáfosfato de sodio. Posteriormente, se analizaron las propiedades fisicoquímicas de la pectina obtenida. Los resultados evidenciaron que el método con hexametáfosfato de sodio presentó mayores rendimientos promedio ($6,73 \pm 3,40$ %) en comparación con la hidrólisis ácida ($3,65 \pm 1,36$ %), destacándose un rendimiento máximo de $10,84 \pm 0,19$ % en la cáscara interna de pomelo. En cuanto a las propiedades fisicoquímicas, la pectina extraída del pomelo mostró características favorables, tales como bajo contenido de humedad ($7,36 \pm 0,07$ %) alto grado de esterificación ($75,56 \pm 0,09$ %) y contenido adecuado de metoxilos ($7,48 \pm 0,02$ %), lo que indica su aptitud para aplicaciones en la industria alimentaria y farmacéutica. Los autores concluyeron que estas cáscaras representan fuentes sostenibles y técnicamente viables para la producción de pectina, resaltando su potencial en la valorización de residuos y en la promoción de prácticas industriales más sostenibles.
- d) Nguyen et al. (2022) desarrollaron un estudio con el objetivo de identificar las condiciones óptimas para la extracción de pectina a partir de cáscaras de fruta del dragón de pulpa roja (*Hylocereus polyrhizus*), con la finalidad de reducir el desperdicio agrícola y generar mayores ingresos para los productores. La investigación se llevó a cabo bajo un enfoque experimental, empleando ácido clorhídrico como agente extractor y calentamiento asistido por microondas. Se evaluaron diferentes parámetros operativos, entre ellos concentración de ácido (0,1 M; 0,032 M; 0,01 M), tamaño de partícula del material ($D \leq 1$ mm; $1 \leq D \leq 5$ mm), relación material/solvente (1:10; 1:20; 1:30 g/mL), potencia de microondas (100 W; 300 W) y tiempo de calentamiento (5, 10 y 15 minutos). Los mejores resultados se obtuvieron empleando una concentración de ácido de 0,032 M, tamaño de partícula $D \leq 1$ mm,



potencia de 100 W, relación material/solvente 1:20 y un tiempo de 15 minutos, alcanzando un rendimiento de 17,61 % de pectina y un grado de esterificación de 51,41 %. Los autores concluyeron que la cáscara de fruta del dragón constituye una fuente promisorio de pectina y que la optimización de las condiciones de extracción permite mejorar significativamente rendimiento y propiedades del producto. Asimismo, destacaron que la valorización de estos residuos contribuye a la sostenibilidad ambiental y al desarrollo económico del sector agrícola.

- e) Benassi et al. (2021) realizaron un estudio comparativo de métodos sostenibles para la extracción de pectina a partir de cáscaras de naranja desechadas, evaluando el rendimiento, la calidad del producto obtenido y los requerimientos energéticos de cada técnica. La investigación se desarrolló bajo un enfoque experimental, empleando tres métodos de extracción: hidrólisis ácida mediante “agua caliente”, extracción dinámica rápida sólido-líquido (RSLD) y extracción asistida por microondas. Los resultados evidenciaron que el método de hidrólisis ácida por “agua caliente” alcanzó el mayor rendimiento (21 %) y un alto grado de esterificación (82,5 %), destacándose como el procedimiento más eficiente y sostenible en términos de consumo energético y uso de reactivos. En contraste, el método RSLD presentó rendimientos bajos (< 2 %), aunque permitió obtener pectinas con diferentes grados de metoxilación mediante ajustes operativos. Por su parte, la extracción asistida por microondas, sin pretratamiento de secado, demostró ser una alternativa viable, con una eficiencia energética comparable a la del método convencional de agua caliente. Los autores concluyeron que la hidrólisis ácida mediante agua caliente constituye un método adecuado para la obtención de pectina de alta calidad a partir de residuos cítricos, contribuyendo a la economía circular y a la reducción del impacto ambiental asociado a la disposición de subproductos agroindustriales.
- f) Mantilla et al. (2021) desarrollaron una investigación orientada a la extracción de pectina a partir de cáscaras de mango (*Mangifera indica*) variedad Keitt, evaluando el efecto de tres variables operativas: pH (1,5 y 2,5), temperatura (70 y 90 °C) y tiempo de extracción (60 y 120 minutos). El estudio se llevó a cabo bajo un enfoque experimental, con el propósito de determinar las condiciones óptimas que maximizaran el rendimiento del proceso. Los resultados indicaron que las condiciones de pH 1,5, temperatura de 90 °C y tiempo de extracción de 120 minutos produjeron el mayor rendimiento de pectina (16,5 %). Asimismo, en la etapa de precipitación

alcohólica, la relación etanol: extracto de 1:5 fue la más eficiente para la recuperación del polímero. Durante la fase de escalado, empleando 50 g de cáscara seca, se alcanzó un rendimiento de 18,4 %, lo que confirmó la viabilidad del proceso a mayor escala. La pectina extraída presentó características similares a las comerciales, identificándose grupos funcionales característicos mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), lo que evidenció su calidad estructural. Los autores concluyeron que la cáscara de mango constituye una fuente alternativa sostenible frente a materias primas convencionales como los cítricos, contribuyendo a la valorización de residuos agroindustriales.

- g) Romero y Paima (2024) investigaron las condiciones óptimas de extracción de pectina a partir de anihuayo (*Plinia clausa* Mc Vaugh) mediante hidrólisis ácida seguida de precipitación alcohólica. La investigación se desarrolló bajo un enfoque experimental, empleando un diseño factorial 3^3 en el que se evaluaron los factores pH (1,5; 2,5; 3,5), tiempo de extracción (45, 60 y 75 minutos) y temperatura (60, 75 y 80 °C). Los resultados evidenciaron un rendimiento máximo de pectina (16,52 %) a pH 1,5 y tiempo de extracción de 75 minutos, siendo el pH y el tiempo como las variables con mayor significancia estadística sobre el rendimiento. En contraste, la temperatura no mostró un efecto estadísticamente significativo dentro del rango evaluado. Los análisis fisicoquímicos permitieron clasificar la pectina obtenida como de alto metoxilo, lo que indica su potencial aplicación en la industria alimentaria, especialmente en productos que requieren formación de geles en presencia de azúcar y ácido. Los autores concluyeron que las condiciones identificadas optimizan el proceso de extracción de pectina a partir de anihuayo, destacando su viabilidad industrial; sin embargo, señalaron la necesidad de continuar investigando para mejorar la eficiencia del proceso.
- h) Domínguez y Mendoza (2024) desarrollaron una investigación orientada a optimizar las condiciones de extracción de pectina a partir de la cáscara de lima dulce (*Citrus limetta*) mediante hidrólisis ácida. El estudio se llevó a cabo bajo un enfoque experimental, evaluando el efecto de la temperatura, el pH y el tiempo de extracción con el propósito de maximizar el rendimiento del proceso. Los mejores resultados se obtuvieron a una temperatura de 90 °C, pH 1,5 y un tiempo de extracción de 60 minutos, alcanzando un rendimiento máximo de 68,39 %. En cuanto a la caracterización fisicoquímica, la pectina presentó un contenido de ácido galacturónico



de 51,04 %, contenido de metoxilos de 3,3 % y un grado de esterificación de 36,68 %, clasificándose como pectina de bajo metoxilo. Los autores concluyeron que las condiciones óptimas identificadas permiten obtener altos rendimientos de pectina con características tecnológicas adecuadas para aplicaciones industriales. No obstante, señalaron la necesidad de realizar ajustes adicionales para mejorar la viabilidad económica y ambiental del proceso.

- i) Cruz (2023) desarrolló una investigación con el propósito de determinar los parámetros óptimos para la extracción de pectina a partir de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L., clon CCN 51), con el objetivo de maximizar el rendimiento y evaluar sus propiedades fisicoquímicas y sensoriales. El estudio se realizó bajo un enfoque experimental, considerando variables como tiempo, temperatura y pH del proceso de extracción. Los resultados indicaron que las condiciones óptimas fueron un tiempo de 75 minutos, temperatura de 80 °C y pH 2, alcanzando un rendimiento máximo de 2,451 g de pectina por cada 25 g de cáscara. El grado de esterificación de la pectina obtenida osciló entre 62,8 % y 74,5 %, mientras que la viscosidad presentó valores comprendidos entre 1,77 y 12,57 (según la unidad reportada en el estudio). Asimismo, se elaboró una mermelada de fresa utilizando la pectina extraída, comparándola con pectina comercial. La evaluación sensorial mostró una aceptabilidad media que varió de “agradable” a “muy agradable” en atributos como consistencia, olor y sabor. El autor concluyó que la pectina extraída de la cáscara de cacao presenta características comparables a las comerciales, destacándose como una alternativa viable para aplicaciones agroindustriales y alimentarias.
- j) Flores y Mozombite (2023) desarrollaron una investigación con la finalidad de evaluar la viabilidad de extraer pectina a partir de cáscaras de sandía variedad regional y costeña mediante hidrólisis ácida, optimizando parámetros como pH, temperatura y tiempo de extracción. El estudio se realizó bajo un enfoque experimental en laboratorio, con el propósito de determinar el rendimiento y las características fisicoquímicas del producto obtenido. Los resultados evidenciaron un bajo rendimiento de pectina, alcanzando variedad regional (0,13 %) y variedad costeña (0,37 %). En cuanto a la caracterización fisicoquímica, se reportó un contenido de metoxilos (2,10 %) para la variedad regional y para la costeña (4,27 %), clasificándose ambas como pectinas de bajo metoxilo, adecuadas para la elaboración de productos reducidos en azúcar y calorías. Los autores concluyeron que, debido al bajo



rendimiento y al alto contenido de humedad de la materia prima, la extracción de pectina a partir de estas variedades de sandía no resulta económicamente viable a escala industrial. No obstante, señalaron que podría considerarse su uso en aplicaciones específicas, como la formulación de mermeladas bajas en azúcar.

- k) Coral y Marín (2022) desarrollaron una investigación con el objetivo de obtener y caracterizar pectina extraída de la cáscara de piña (*Ananas comosus*) variedad Cayena Lisa, con la finalidad de evaluar su rendimiento y calidad tecnológica. El estudio se realizó bajo un enfoque experimental, empleando un diseño factorial 3^2 en el que se analizó el efecto del pH (3, 4 y 5) y la temperatura (60, 75 y 90 °C) sobre el rendimiento de extracción mediante hidrólisis ácida, manteniendo constante el tiempo de extracción en 80 minutos. Los resultados mostraron que las condiciones óptimas correspondieron a un pH de 3 y una temperatura de 90 °C, alcanzando un rendimiento máximo de 10,11 g de pectina por cada 100 g de cáscara. La pectina obtenida fue clasificada como de bajo metoxilo, característica que la hace adecuada para aplicaciones industriales y alimentarias, particularmente en productos con bajo contenido de azúcar. Los autores concluyeron que la cáscara de piña constituye una fuente viable de pectina, contribuyendo a la valorización de residuos agroindustriales y promoviendo alternativas sostenibles para la industria alimentaria.

3.2 Marco teórico

3.2.1 Chirimoya (*Annona cherimola*)

La chirimoya (*Annona cherimola*) es una fruta subtropical perteneciente a la familia Annonaceae, que prospera en climas templados con temperaturas entre 14 y 24 °C, requiriendo condiciones relativamente frescas para su óptimo desarrollo. Se caracteriza por su pulpa blanca y cremosa, agradable sabor, aroma y textura, cualidades que la hacen altamente apreciada tanto a nivel nacional como internacional. Además de sus propiedades organolépticas, presenta valor nutricional significativo debido a su contenido de carbohidratos, fibra dietaria, vitaminas y compuestos bioactivos, así como reconocidas cualidades digestivas y terapéuticas (González, 2013).

El fruto está compuesto por pulpa, semillas y cáscara, siendo esta última una fracción considerable del peso total, lo que la convierte en un subproducto con potencial de aprovechamiento agroindustrial. La Figura 1 muestra la morfología externa e interna del fruto de chirimoya (*Annona cherimola*), donde se



distinguen claramente la cáscara, la pulpa, las semillas y la cavidad central. La identificación estructural del fruto permitió reconocer la cáscara como la fracción de interés para la extracción de pectina en el presente estudio.



FUENTE: Elaboración propia.

Figura 1 — Morfología externa e interna del fruto de chirimoya (*Annona cherimola*)

3.2.2 Taxonomía

La chirimoya (*Annona cherimola* Mill.) pertenece a la familia Annonaceae, una familia pantropical que comprende aproximadamente 107 géneros y cerca de 2400 especies de árboles, arbustos y lianas distribuidos en regiones tropicales a nivel mundial; de estas, más de un centenar son nativas de América tropical (Mannino et al., 2020). Esta familia forma parte del orden Magnoliales, junto con Magnoliaceae, Degeneriaceae, Eupomatiaceae, Myristicaceae e Himantandraceae, representando una proporción significativa de la diversidad del orden (Haag, 2021). Desde el punto de vista sistemático, la clasificación taxonómica de la especie es la siguiente:

Reino: Plantae

Subreino: Embryophyta

División: Spermatophyta

Subdivisión: Angiospermae

Clase: Dicotyledoneae

Orden: Magnoliales

Familia: Annonaceae

Subfamilia: Annonoideae

Género: *Annona*

Especie: *Annona cherimola* Mill.

(Popenoe et al., 1989).

El término “chirimoya” proviene del quechua y significa “semillas frías”, haciendo referencia a su adaptación a climas templados de zonas andinas (Mannino et al., 2020).

3.2.2.1 Características botánicas

La chirimoya es un árbol pequeño que puede alcanzar hasta 5 metros de altura, con hojas simples, grandes, coriáceas y de color verde oscuro brillante. Sus flores se desarrollan de manera solitaria o en pequeños grupos en las axilas de hojas del año anterior, emergiendo cuando estas se desprenden (Ccorahua, 2021).

El proceso de floración presenta tres fases: prefemenina, femenina y masculina. Durante la fase femenina, los escarabajos actúan como principales agentes polinizadores, ingresando a la flor y facilitando la transferencia de polen. En la fase masculina, la caída de los pétalos libera a los insectos cubiertos de polen viable, favoreciendo la polinización cruzada en un ciclo aproximado de 24 horas (Morales, Bautista y Vergara, 2020).

El fruto es una baya compuesta o sincarpo que contiene numerosas semillas negras, ovoides y brillantes. Durante la maduración fisiológica, la cáscara cambia de verde intenso a verde amarillento, lo que indica su proximidad al estado óptimo de consumo (Gentile et al., 2020). Las deformaciones del fruto pueden presentarse cuando algunos carpelos no se desarrollan adecuadamente debido a fallas en la fecundación del óvulo (Heleno, 2023).



3.2.2.2 Composición química de la cascara de chirimoya

La cáscara de chirimoya (*Annona cherimola* Mill.) según Rojas et al. (2022) señalaron que presenta fuentes importantes de antioxidantes, entre ellos ácidos fenólicos, flavonoides y procianidinas. Además, estos autores indicaron que la cáscara presentó un contenido de fenoles totales de 28.771 mg GAE/g de extracto seco, evidenciando su riqueza fitoquímica y su potencial aprovechamiento en aplicaciones funcionales.

Asimismo, García et al. (2022) identificaron que la cáscara de chirimoya contiene compuestos fenólicos específicos como ácidos orgánicos, terpenoides, fitohormonas, flavonas, flavan-3-oles glicosilados, flavanonas, isoflavanos y lignanos, determinados mediante HPLC-ESI-QTOF-MS. Estos componentes se asocian con actividad antioxidante, antiinflamatoria y antienvjecimiento, por lo que la cáscara puede ser considerada una fuente natural de ingredientes bioactivos para alimentos funcionales, cosmeceúticos o formulaciones con valor agregado. Tabla 2

Tabla 2 — Composición química de la cascara de chirimoya

Componente químico	Método de análisis	Unidad	Valor
Ácido quínico	HPLC-ESI-qTOF-MS	mg/g DE	4.4 ± 0.4
Ácido cítrico	HPLC-ESI-qTOF-MS	mg/g DE	1.11 ± 0.09
Calabricoside A	HPLC-ESI-qTOF-MS	mg/g DE	0.48 ± 0.07
Derivado de quercetina	HPLC-ESI-qTOF-MS	mg/g DE	6.7 ± 0.7
Rutina	HPLC-ESI-qTOF-MS	mg/g DE	4.7 ± 0.2
Kaempferol rutinoside isómero 1	HPLC-ESI-qTOF-MS	mg/g DE	0.52 ± 0.02
Kaempferol	HPLC-ESI-qTOF-MS	mg/g DE	0.70 ±



rutinoside isómero 2			0.06
Derivado de catequina	HPLC-ESI-qTOF-MS	mg/g DE	3.4 ± 0.8
Total, de compuestos cuantificados	HPLC-ESI-qTOF-MS	mg/g DE	22 ± 4
Fenoles totales, TPC	Folin-Ciocalteu	mg GAE/g DE	28.77 ± 0.008
Poder reductor férrico	FRAP	mmol Fe ²⁺ /g DE	0.27 ± 0.01
Capacidad antioxidante	TEAC	μmol TE/g DE	130.0 ± 0.4
Capacidad de absorción de radicales de oxígeno	ORAC	mmol TE/g DE	0.324 ± 0.009
FUENTE: Rojas <i>et al.</i> 2022.			

3.2.2.3 Producción y postcosecha de la chirimoya

La producción de chirimoya en el Perú se concentra principalmente en regiones andinas como Lima, Cajamarca, Junín y Apurímac, donde constituye una actividad económica relevante para pequeños productores (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2021). Se trata de un fruto climatérico con elevada tasa respiratoria y rápida maduración, lo que limita su vida útil postcosecha a pocos días y genera pérdidas durante almacenamiento y comercialización (Mannino et al., 2020).

Durante el proceso de selección y transformación se generan cantidades significativas de residuos orgánicos, principalmente cáscara y semillas. La inadecuada gestión de estos subproductos puede ocasionar impactos ambientales asociados a su descomposición (Jurado, Tulcán y González, 2023).



3.2.2.4 Usos y potencial de valorización de la chirimoya

La chirimoya (*Annona cherimola*) es un fruto principalmente destinado al consumo en fresco, apreciado por sus características sensoriales como sabor dulce, textura cremosa y aroma agradable. En menor medida, se utiliza en la elaboración de jugos, néctares y productos derivados de pulpa. Sin embargo, su procesamiento industrial presenta limitaciones debido a la rápida oxidación fenólica, que provoca oscurecimiento de la pulpa y reduce su estabilidad tecnológica (Mannino et al., 2020).

De las más de 100 especies del género *Annona*, al menos cinco poseen alto valor económico, siendo la chirimoya la de mayor demanda comercial (García et al., 2020). No obstante, el valor económico se concentra principalmente en la pulpa, mientras que subproductos como la cáscara suelen ser descartados.

La cáscara representa una fracción considerable del peso total del fruto y constituye una fuente potencial de polisacáridos estructurales como la pectina (Jurado, Tulcán y González, 2023). En este contexto, su aprovechamiento se enmarca dentro de estrategias de economía circular orientadas a la valorización de residuos agroindustriales

3.2.3 Residuos agroindustriales y valorización

Los residuos agroindustriales comprenden los subproductos generados durante las etapas de producción, procesamiento y comercialización de materias primas agrícolas. Estos residuos incluyen cáscaras, semillas, pulpas, bagazos y restos vegetales que, en muchos casos, son descartados sin un aprovechamiento adecuado. Se estima que una proporción significativa de la biomasa generada en la agroindustria corresponde a fracciones no comestibles, lo que representa tanto un desafío ambiental como una oportunidad tecnológica (Jurado, Tulcán y González, 2023).

La disposición inadecuada de residuos orgánicos puede generar impactos ambientales asociados a la emisión de gases de efecto invernadero, lixiviados y contaminación del suelo. En este contexto, la valorización de subproductos agrícolas se ha convertido en una estrategia clave dentro del enfoque de

economía circular, orientada a transformar residuos en materias primas secundarias de alto valor agregado (Benassi, Alessandri y Vassalini, 2021).

Diversas investigaciones han demostrado que las cáscaras de frutas constituyen fuentes potenciales de compuestos bioactivos y polisacáridos estructurales, particularmente pectina, la cual posee aplicaciones en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética (Salazar y Hincapié, 2023). La extracción de pectina a partir de residuos frutícolas no solo contribuye a reducir la carga ambiental, sino que también permite diversificar la oferta de hidrocoloides naturales como alternativa a fuentes tradicionales como cítricos y manzana.

En el caso de la chirimoya (*Annona cherimola*), la cáscara representa una fracción considerable del peso total del fruto y, debido a su composición rica en polisacáridos, constituye una materia prima potencial para la obtención de pectina. En este sentido, su aprovechamiento se alinea con estrategias de sostenibilidad agroindustrial y generación de valor agregado en regiones productoras.

Considerando que la producción anual de chirimoya en el Perú genera aproximadamente 6 934 toneladas de cáscara como residuo agroindustrial, y que los rendimientos de extracción de pectina reportados para residuos frutícolas oscilan entre 2 % y 10 %, se podría estimar un potencial de producción anual de pectina entre 139 y 693 toneladas. Este volumen evidencia la relevancia tecnológica, ambiental y económica del aprovechamiento de la cáscara de chirimoya como fuente alternativa de hidrocoloides naturales.

3.2.4 Pectina

La pectina es un hidrocoloide de origen vegetal que forma parte de la pared celular primaria y la lámina media de los tejidos vegetales, donde cumple funciones estructurales y de cohesión celular. Se caracteriza por poseer propiedades estructurales y bioquímicas únicas que le confieren un alto valor tecnológico e industrial. Este polisacárido puede extraerse a partir de residuos generados en la industria de procesamiento de frutas, especialmente de cáscaras, lo que la convierte en un compuesto de interés dentro de estrategias de valorización de subproductos agroindustriales. Debido a su origen natural y a sus



propiedades funcionales innovadoras, la pectina es ampliamente aceptada en sectores como el alimentario, farmacéutico, nutracéutico, cosmético, biomédico y en el desarrollo de envases comestibles (Nadar, Arora y Shastri, 2022).

Desde el punto de vista industrial, la pectina se obtiene mediante procesos de extracción acuosa ácida a partir de materias primas vegetales adecuados, comúnmente manzanas y cítricos, seguida de una etapa de precipitación selectiva con alcohol o sales. Estas materias primas presentan concentraciones elevadas de pectina de alta calidad, lo que garantiza la viabilidad económica del proceso de producción a gran escala (Freitas Pedrosa, Raz y Fabi, 2022). No obstante, el creciente interés por fuentes no convencionales ha impulsado la investigación en residuos frutícolas tropicales como alternativa sostenible.

En términos de aplicación, la pectina desempeña un papel fundamental en la industria alimentaria, donde se emplea principalmente como agente gelificante, estabilizante, espesante y emulsionante en la elaboración de mermeladas, confitería, productos lácteos, bebidas y vegetales procesados. Asimismo, en el ámbito farmacéutico y nutracéutico se utiliza como fuente de fibra dietaria, en formulaciones para la regulación intestinal, control del colesterol y prevención de enfermedades metabólicas como la diabetes, además de presentar propiedades antioxidantes (Nguyen et al., 2022).

Desde el punto de vista químico, la pectina está constituida principalmente por unidades de ácido D-galacturónico unidas por enlaces α -(1 $\rightarrow$ 4), cuya proporción de grupos metoxilo determina su grado de esterificación, parámetro clave que influye directamente en sus propiedades gelificantes. Esta característica resulta fundamental para su aplicación industrial, ya que condiciona su comportamiento frente a variaciones de pH, concentración de azúcares y presencia de cationes divalentes.

3.2.5 Estructura química de la pectina

Las pectinas están constituidas por una compleja red de polisacáridos formados a partir de hasta diecisiete monosacáridos distintos, organizados en diversas regiones estructurales. Estas unidades incluyen pentosas, hexosas, ácidos urónicos y metilpentosas, que se enlazan mediante aproximadamente veinte



tipos diferentes de enlaces glucosídicos. Además, pueden presentar sustituciones con grupos acetilo, metoxilo y radicales fenólicos, lo que contribuye a su heterogeneidad estructural (Quispe, 2017).

La estructura y composición de la pectina dependen de factores como la especie vegetal, el estado de maduración del tejido y las condiciones de extracción empleadas, lo cual influye directamente en sus propiedades fisicoquímicas y funcionales.

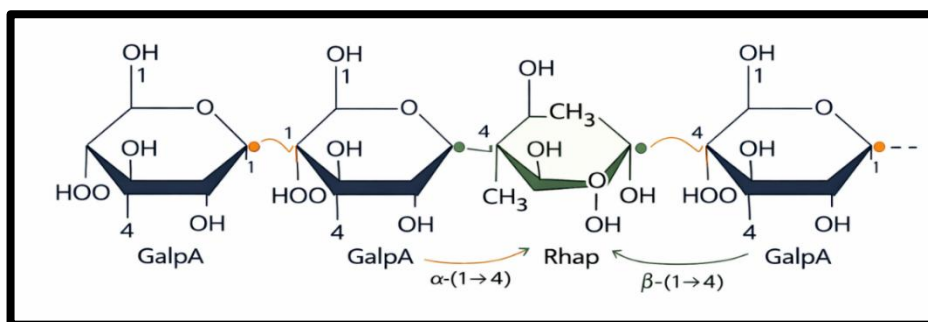
3.2.5.1 Cadenas principales de la pectina

La cadena principal de la pectina está constituida predominantemente por residuos de ácido D-galacturónico (GalpA) unidos mediante enlaces α -(1 $\rightarrow$ 4). En determinadas regiones, esta estructura lineal puede presentar interrupciones por residuos de α -L-ramnosa (Rhap), dando lugar a dominios estructurales diferenciados.

Desde el punto de vista estructural, las regiones principales corresponden al **homogalacturonano (HG)**, que consiste en una secuencia lineal de GalpA, y al **ramnogalacturonano I (RG-I)**, caracterizado por la alternancia de GalpA y Rhap en la cadena principal. En menor proporción se encuentran el **ramnogalacturonano II (RG-II)**, el **xilogalacturonano (XGA)** y el **apiogalacturonano (AGA)**, este último descrito principalmente en plantas acuáticas.

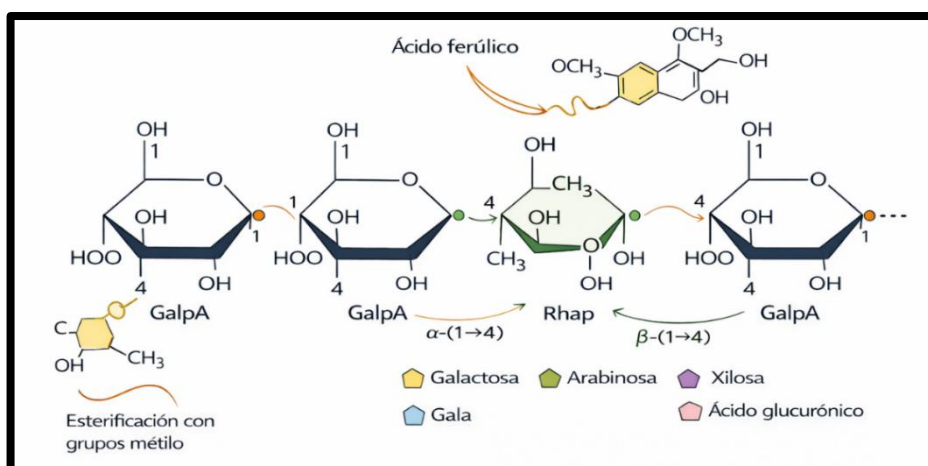
En plantas dicotiledóneas, algunos residuos de arabinosa y galactosa pueden estar esterificados con ácidos fenólicos como el ferúlico. Asimismo, una fracción de los grupos carboxilo del ácido galacturónico puede encontrarse metil-esterificada, lo que influye directamente en el grado de esterificación y en las propiedades gelificantes de la pectina. Las cadenas laterales compuestas por galactosa, arabinosa, xilosa y ácido glucurónico forman las denominadas regiones ramificadas o “regiones pilosas” de la molécula (Belkheiri et al., 2021).





FUENTE: Belkheiri et al., 2021.

Figura 2 — Cadena principal de la pectina (GalpA–Rhap)



FUENTE: Belkheiri et al., 2021.

Figura 3 — Región ramificada (“región pilosa”) de la pectina en plantas dicotiledóneas

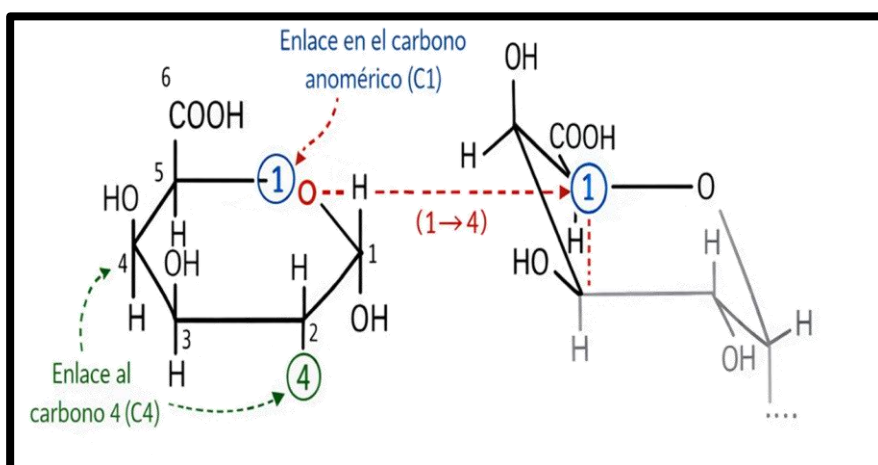
a) Homogalacturonano (HG)

El homogalacturonano (HG) constituye aproximadamente entre el 60 y el 65 % de la pectina total, siendo el componente estructural predominante de este polisacárido. Está formado por cadenas lineales de residuos de ácido α -D-galacturónico unidos mediante enlaces glucosídicos α -(1→4).

Las unidades de ácido galacturónico pueden encontrarse parcialmente esterificadas con grupos metilo en el carbono C-6, lo que determina el grado de esterificación (GE) de la pectina, una propiedad fundamental que influye directamente en su comportamiento funcional, especialmente en su capacidad gelificante.

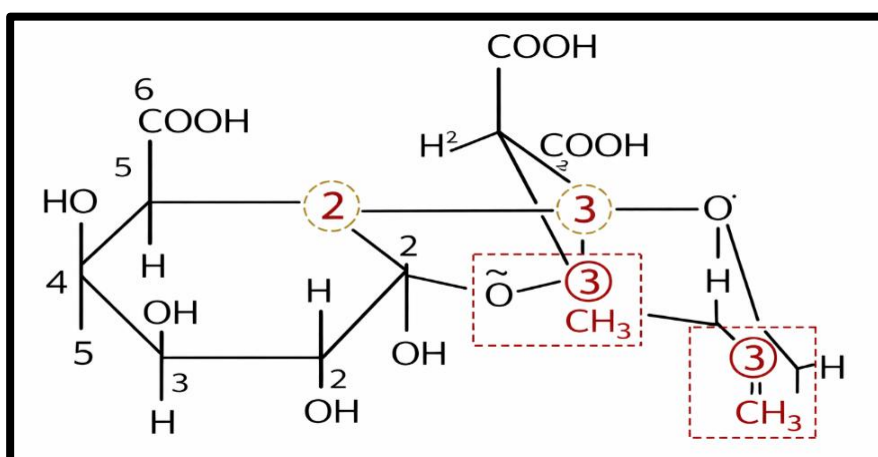
En esta región, algunos grupos carboxilo del carbono C-6 pueden encontrarse parcialmente metil-esterificados, lo que influye en las

propiedades gelificantes de la pectina. Asimismo, el homogalacturonano (HG) puede presentar O-acetilaciones en los grupos hidroxilo ubicados en las posiciones C-2 y C-3 del anillo, modificaciones estructurales que afectan la solubilidad, viscosidad y comportamiento funcional del polisacárido (Heredia et al., 2003).



FUENTE: Heredia et al., 2003.

Figura 4 — Enlace glucosídico α (1→4) entre residuos de ácido D-galacturónico en la cadena del homogalacturonano



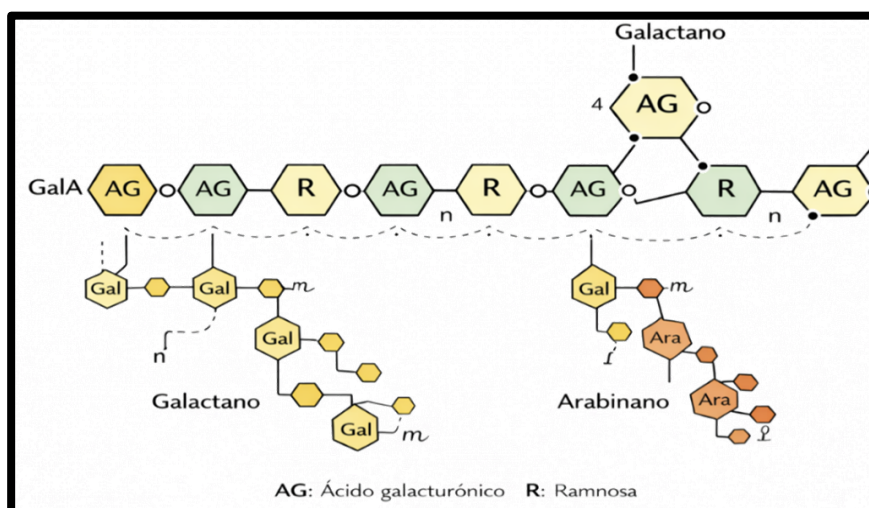
FUENTE: Heredia et al., 2003.

Figura 5 — O-acetilación en las posiciones C2 y C3 del ácido D-galacturónico

b) Ramnogalacturona I (RG-I)

El ramnogalacturonano I (**RG-I**) es una región estructural de la pectina que contiene residuos alternados de ácido D-galacturónico y L-ramnosa en su cadena principal, lo que le confiere una estructura característica con forma de zigzag. Este dominio se encuentra en la pectina en proporciones aproximadas de 20 a 35 %.

Además, el RG-I presenta ramificaciones laterales unidas principalmente a los residuos de ramnosa, las cuales están formadas por polisacáridos como galactanos y arabinanos, compuestos por unidades de galactosa y arabinosa, respectivamente. Estas ramificaciones contribuyen a la formación de las regiones ramificadas de la pectina y participan en la organización estructural de la pared celular vegetal (Quispe, 2017).



FUENTE: Quispe, 2017.

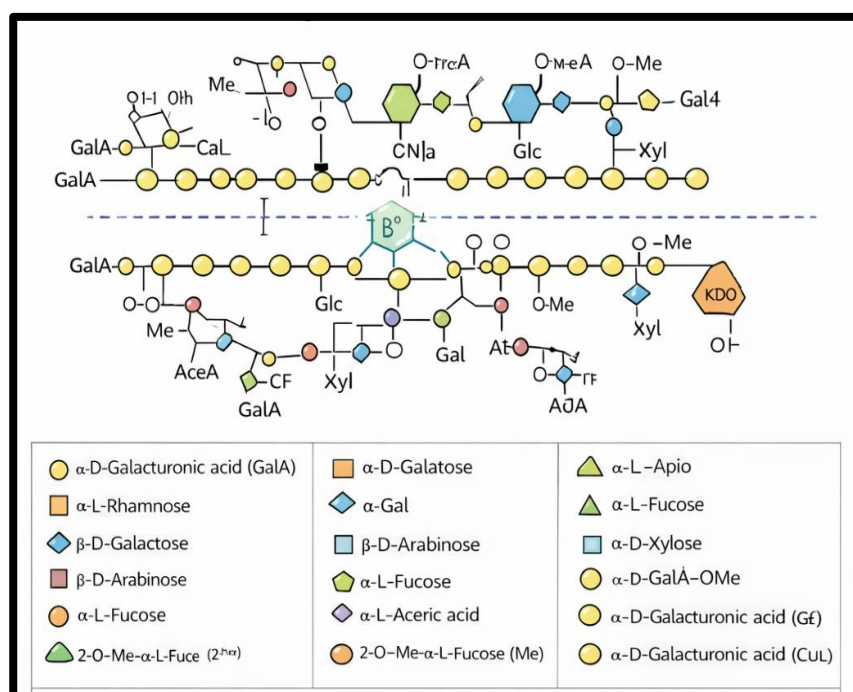
Figura 6 — Estructura del ramnogalacturonano I (RG-I) con ramificaciones de galactanos y arabinanos

c) Ramnogalacturonano II (RG-II)

El ramnogalacturonano II (RG-II) es una de las regiones estructurales más complejas de la pectina y representa aproximadamente hasta el 10 % de la estructura total. Se encuentra ampliamente distribuido en las paredes celulares de frutas y vegetales. Este dominio está constituido por una cadena principal de ácido D-galacturónico unida mediante enlaces $\alpha(1 \rightarrow 4)$, similar

al homogalacturonano, pero presenta cadenas laterales altamente ramificadas formadas por diversos monosacáridos poco comunes.

Entre los azúcares presentes en sus ramificaciones se encuentran apiosa, arabinosa, galactosa, fucosa, xilosa y el ácido 2-ceto-3-desoxi-D-manno-octulosónico (KDO), los cuales confieren a esta región una estructura altamente conservada y compleja dentro de la pared celular vegetal. Debido a su elevada diversidad estructural, el RG-II desempeña un papel importante en la estabilidad y organización de la matriz de polisacáridos de la pared celular (Quispe, 2017).



FUENTE: Voragen et al., 2009

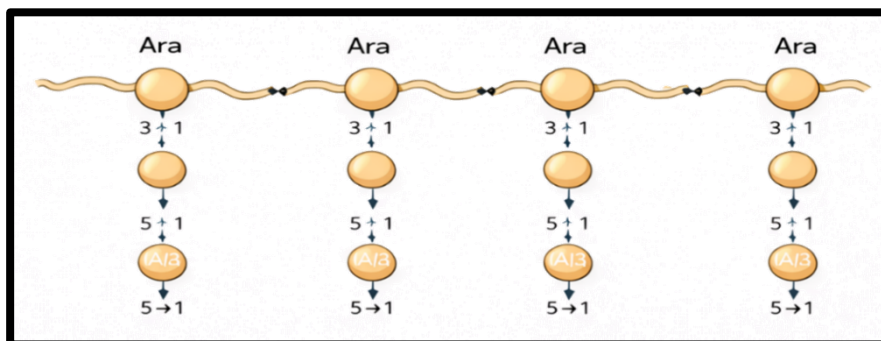
Figura 7 — Estructura del ramnogalacturonano II (RG-II)

3.2.5.2 Cadenas secundarias de la pectina

Las cadenas secundarias de la pectina corresponden a las ramificaciones laterales que se encuentran principalmente en las regiones de ramnogalacturonano I (RG-I). Estas cadenas laterales están formadas por diversos monosacáridos y contribuyen a la complejidad estructural y funcional de la molécula de pectina.

a) Arabinana (ARA)

La arabinana está compuesta principalmente por unidades de α -L-arabinofuranosa unidas mediante enlaces (1 $\rightarrow$ 5), las cuales pueden presentar ramificaciones en las posiciones C-2 y C-3 de la cadena principal. Estas ramificaciones de arabinosa se distribuyen a lo largo de la molécula formando estructuras laterales que contribuyen a la organización y flexibilidad de la pared celular vegetal (Heredia et al., 2003).

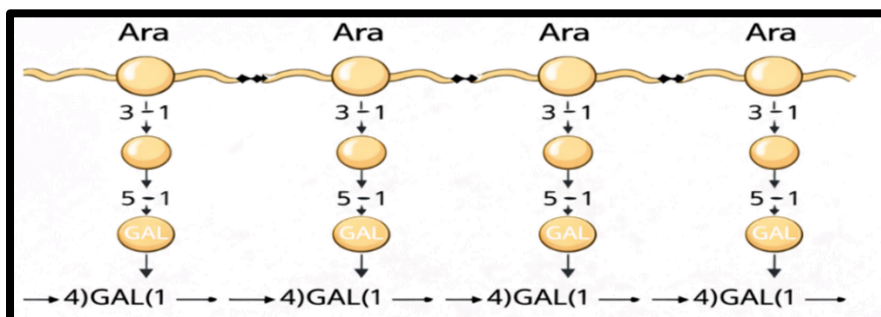


FUENTE: Quispe, 2017.

Figura 8 — Estructura esquemática de la arabinana (ARA)

b) Xilogalacturonano (XGA)

El xilogalacturonano corresponde a una forma modificada del homogalacturonano en la cual algunos residuos de ácido D-galacturónico se encuentran sustituidos por residuos de xilosa unidos generalmente en la posición O-3. Este tipo de modificación se observa con mayor frecuencia en los tejidos de frutos y semillas, aunque el grado de xilosilación puede variar dependiendo de la especie vegetal y del tejido analizado (Heredia et al., 2003).



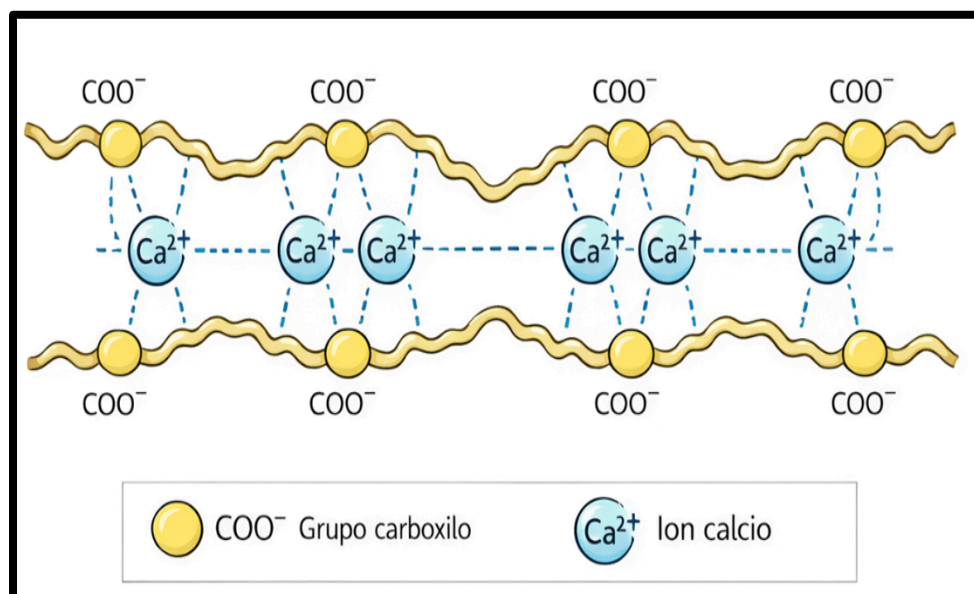
FUENTE: Quispe, 2017.

Figura 9 — Representación simplificada de la estructura del xilogalacturonano (XGA)

3.2.5.3 Grado de esterificación de la pectina

El grado de esterificación (DE) es uno de los parámetros más importantes para caracterizar la pectina. Este se define como el porcentaje de grupos carboxilo del ácido galacturónico que se encuentran esterificados con grupos metoxilo ($-\text{OCH}_3$) dentro de la molécula de pectina.

El grado de esterificación influye directamente en las propiedades funcionales de la pectina, especialmente en su capacidad de formar geles. De acuerdo con este parámetro, las pectinas se clasifican en pectinas de alto metoxilo (HM) y pectinas de bajo metoxilo (LM). Las pectinas con un grado de esterificación superior al 50 % se consideran pectinas de alto metoxilo, mientras que aquellas con un grado de esterificación inferior al 50 % se clasifican como pectinas de bajo metoxilo. Esta característica determina el mecanismo de gelificación y las condiciones necesarias para la formación de geles en diferentes aplicaciones alimentarias e industriales



FUENTE: Voragen et al., 2009.

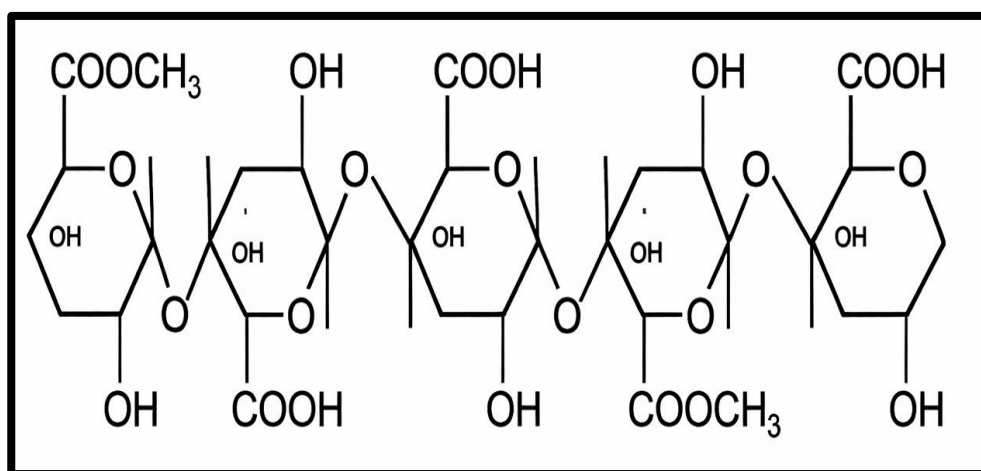
Figura 10 — Modelo de gelificación de pectina con calcio (modelo Egg-box)

3.2.6 Tipos de pectina

3.2.6.1 Pectinas de bajo metoxilo (LM)

Las pectinas de bajo metoxilo se caracterizan por presentar un grado de esterificación inferior al 50 %, lo que significa que una mayor proporción de los grupos carboxilo del ácido galacturónico permanece libre. Debido a esta característica, estas pectinas pueden formar geles en presencia de iones divalentes, especialmente calcio (Ca^{2+}), mediante la formación de enlaces entre las cadenas de pectina, fenómeno conocido como modelo de “caja de huevo”.

A diferencia de las pectinas de alto metoxilo, las pectinas de bajo metoxilo no requieren altas concentraciones de azúcar para gelificar y pueden formar geles en un rango de pH más amplio, generalmente entre 2,5 y 6,5. Estas propiedades las hacen especialmente útiles en la elaboración de productos con bajo contenido de azúcar o reducidos en calorías, como mermeladas dietéticas y productos alimentarios funcionales (Sharma et al., 2021).



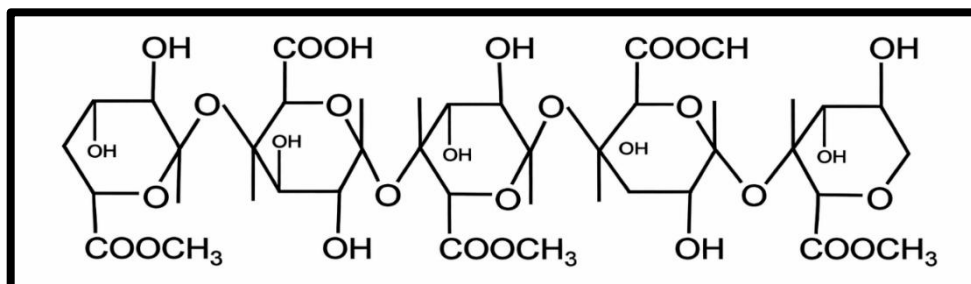
FUENTE: Quispe, 2017.

Figura 11 — Estructura de pectina de bajo metoxilo (LM)

3.2.6.2 Pectinas de alto metoxilo (HM)

Las pectinas de alto metoxilo presentan un grado de esterificación superior al 50 %, lo que significa que más de la mitad de los grupos carboxilo del ácido galacturónico están esterificados con grupos metoxilo. Estas pectinas forman geles en presencia de altas concentraciones de azúcar (55–65 %) y en condiciones de pH ácido, generalmente entre 2,0 y 3,5. En estas

condiciones se favorece la interacción entre las cadenas de pectina, permitiendo la formación de una red tridimensional responsable de la estructura del gel. Este tipo de pectina es ampliamente utilizado en la industria alimentaria para la elaboración de mermeladas, jaleas y confituras (Sharma et al., 2021).

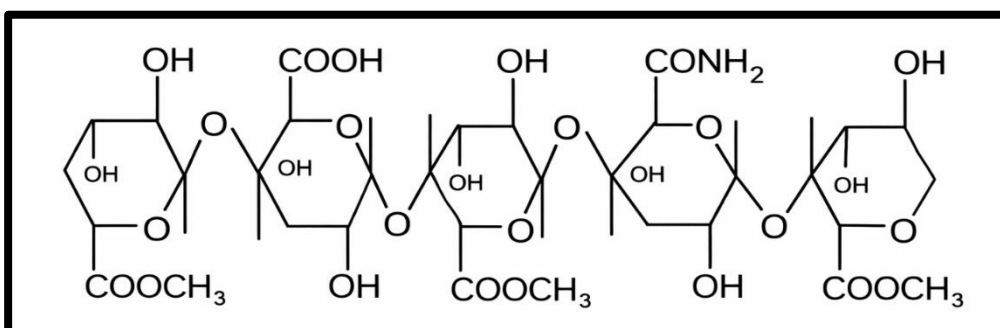


FUENTE: Quispe, 2017.

Figura 12 — Estructura de pectina de alto metoxilo (HM).

3.2.6.3 Pectinas de bajo metoxilo amidada (LMA)

Las pectinas de bajo metoxilo amidada se obtienen a partir de pectinas de alto metoxilo mediante un proceso de desesterificación alcalina en presencia de amoníaco, en el cual algunos grupos metoxilo son reemplazados por grupos amida ($-\text{CONH}_2$). Esta modificación química reduce el grado de esterificación y favorece la formación de geles en presencia de iones calcio (Ca^{2+}), incluso a bajas concentraciones de azúcar. Las pectinas amidada presentan mayor tolerancia a variaciones de pH y concentración de calcio, además de formar geles más flexibles y parcialmente termorreversibles, lo que amplía sus aplicaciones en la industria alimentaria (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).



FUENTE: Quispe, 2017.

Figura 13 — Estructura de pectina de bajo metoxilo amidada (LMA)

3.2.7 Clasificación de las sustancias pécticas

De acuerdo con Chang et al. (2022), las sustancias pécticas pueden clasificarse según las modificaciones estructurales que presentan en su cadena principal de ácido galacturónico. En este sentido, el término pectina se utiliza de manera general para referirse a diferentes compuestos relacionados, entre los que se incluyen las protopectinas, los ácidos pectínicos y los ácidos pécticos.

3.2.7.1 Protopectinas

Las protopectinas se consideran los precursores insolubles de la pectina. Comprenden sustancias pécticas complejas que se encuentran firmemente unidas a la pared celular de los tejidos vegetales, particularmente en frutas inmaduras. Estas estructuras confieren firmeza y rigidez a los tejidos vegetales. Durante el proceso de maduración de la fruta, la protopectina se transforma gradualmente en pectina soluble mediante procesos enzimáticos que implican desmetilación y despolimerización de la cadena péctica, lo que provoca la disminución de la firmeza del fruto. En consecuencia, los tejidos vegetales jóvenes presentan una mayor concentración de protopectina (Orozco y Villa, 2021).

3.2.7.2 Sustancias pécticas

El término sustancias pécticas se refiere a un conjunto de polisacáridos coloidales de origen vegetal que contienen una elevada proporción de unidades de ácido D-galacturónico unidas entre sí por enlaces glucosídicos. Los grupos carboxilo presentes en estas cadenas poligalacturónicas pueden encontrarse parcialmente esterificados con grupos metoxilo o neutralizados por diversos cationes, formando sales conocidas como pectatos (Orozco y Villa, 2021).

a) Ácidos pécticos

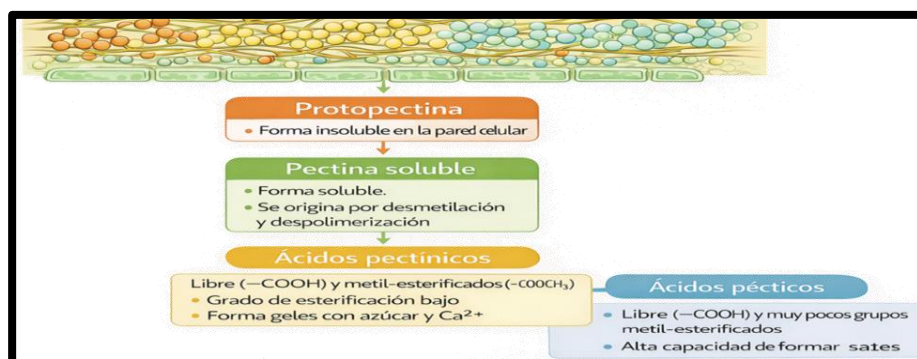
Los ácidos pécticos corresponden a polímeros de ácido galacturónico con un grado de esterificación cercano a cero, es decir, presentan la mayoría de sus grupos carboxilo en forma libre. Debido a esta característica, pueden formar sales con diferentes cationes, denominadas pectatos. Estas sustancias representan una forma

altamente desesterificada de los compuestos pécticos (Chang et al., 2022).

b) Ácidos pectínicos

Los ácidos pectínicos corresponden a polímeros coloidales de ácido D-galacturónico que presentan un grado variable de esterificación con grupos metoxilo ($-\text{COOCH}_3$). Estos compuestos se originan a partir de la protopectina durante procesos de hidrólisis parcial y modificaciones enzimáticas que ocurren en los tejidos vegetales, principalmente por la acción de la enzima pectin metilesterasa, la cual regula el grado de esterificación de la cadena péctica y favorece su solubilización (Coral y Marín, 2022).

Bajo condiciones adecuadas de pH ácido y presencia de azúcares, los ácidos pectínicos poseen la capacidad de formar geles. Asimismo, cuando el contenido de grupos metil-éster es bajo, la gelificación puede producirse en presencia de determinados iones polivalentes, como el calcio (Rubiano, Montaña y Da Silva, 2022). El término “ácido pectínico” se utiliza para describir polímeros con un grado intermedio de esterificación, en los cuales no todos los grupos carboxilo se encuentran esterificados. Teóricamente, el ácido pectínico completamente esterificado debería contener aproximadamente 16,3 % de grupos metoxilo; sin embargo, en la práctica el contenido máximo observado en pectinas naturales es cercano al 14 % (Orozco y Villa, 2021).



FUENTE: Chang et al., 2022; Orozco y Villa, 2021.

Figura 14 — Clasificación de las sustancias pécticas en la pared celular vegetal

3.2.8 Rendimiento de la pectina

De acuerdo con Canteri-Schemin et al. (2005), el rendimiento representa la eficiencia del proceso de extracción y constituye un criterio fundamental para comparar diferentes métodos y condiciones de procesamiento. Un mayor rendimiento indica una mayor recuperación de sustancias pécticas presentes en la materia prima, siempre que las condiciones de extracción no provoquen la degradación de la estructura de la pectina.

El rendimiento de la pectina está influenciado por diversos factores, entre ellos el pH del agua acidificada con HCL, la temperatura, el tiempo de extracción y la relación sólido-líquido. Estos parámetros determinan el grado de hidrólisis de la protopectina y su conversión en pectina soluble. Los autores señalan que la disminución del pH y el incremento moderado de la temperatura favorecen la extracción; sin embargo, condiciones excesivamente severas pueden ocasionar la degradación de la molécula de pectina y reducir tanto su rendimiento como sus propiedades funcionales Maran et al. (2014).

3.2.9 Propiedades de la pectina

Las propiedades de la pectina están estrechamente relacionadas con su estructura química, peso molecular, grado de esterificación y contenido de grupos metoxilo. Estas características determinan su comportamiento en soluciones acuosas y su capacidad para formar geles, modificar viscosidad y estabilizar diferentes sistemas alimentarios. En general, las propiedades de la pectina pueden clasificarse en propiedades fisicoquímicas generales y características fisicoquímicas utilizadas para su caracterización (Ranganna, 1986; Rubiano, Montaña y Da Silva, 2022).

3.2.9.1 Características fisicoquímicas

Las características fisicoquímicas permiten evaluar la calidad, pureza y comportamiento tecnológico de la pectina obtenida a partir de diferentes materias primas. Estos parámetros son ampliamente utilizados en la caracterización de pectinas extraídas de residuos agroindustriales y permiten determinar su potencial aplicación en la industria alimentaria (Ranganna, 1986; Rubiano, Montaña y Da Silva, 2022).



a) Contenido de humedad

El contenido de humedad corresponde a la cantidad de agua presente en la pectina extraída y constituye un parámetro importante para evaluar su estabilidad y condiciones de almacenamiento. Un contenido elevado de humedad puede favorecer el crecimiento microbiano y acelerar los procesos de degradación del polisacárido. Generalmente, las pectinas comerciales presentan contenidos de humedad inferiores al 12 %, lo que contribuye a garantizar su estabilidad durante el almacenamiento (Ranganna, 1986).

b) pH

El pH es un parámetro importante que influye en la estabilidad y en el comportamiento gelificante de la pectina. En solución acuosa, la pectina suele presentar un pH ligeramente ácido debido a la presencia de grupos carboxilo libres en las unidades de ácido galacturónico que conforman su estructura. Este factor es relevante en la formación de geles y en las aplicaciones de la pectina en productos alimentarios, ya que el proceso de gelificación depende en gran medida de las condiciones de pH del sistema (Ranganna, 1986).

c) Acidez libre (AL)

La acidez libre está relacionada con la cantidad de grupos carboxilo libres presentes en la molécula de pectina, los cuales no se encuentran esterificados con grupos metoxilo. Este parámetro permite estimar el grado de desesterificación del polisacárido y se determina mediante titulación con una solución de hidróxido de sodio, expresándose generalmente en miliequivalentes por gramo de muestra. La acidez libre es un indicador importante en la caracterización de pectinas, ya que influye en su comportamiento químico y en sus propiedades funcionales (Owens et al., 1952).

$$\text{Acidez libre} = \frac{\text{meq NaOH}}{\text{g componente ácido}} \quad (1)$$



d) Porcentaje de metoxilo (ME)

El porcentaje de metoxilo corresponde a la cantidad de grupos metil-éster presentes en las unidades de ácido galacturónico que conforman la estructura de la pectina. Estos grupos influyen directamente en la capacidad gelificante del polisacárido, ya que determinan el tipo de interacción que puede establecer la pectina en solución, especialmente en presencia de azúcares, ácidos o iones polivalentes. En función del contenido de grupos metoxilo, las pectinas pueden clasificarse como de alto metoxilo o de bajo metoxilo, lo que condiciona sus propiedades funcionales y aplicaciones tecnológicas (Ranganna, 1986).

La determinación del contenido de metoxilo se realiza generalmente mediante un proceso de saponificación seguido de una titulación ácido-base. En este procedimiento, los grupos metil-éster se hidrolizan y posteriormente se cuantifican mediante valoración con hidróxido de sodio, lo que permite calcular el porcentaje de metoxilo presente en la pectina (OWENS *et al.*, 1952).

$$\text{Porcentaje de metoxilo} = \frac{\text{meq } B * 31 * 100}{\text{mg componente ácido}} \quad (2)$$

e) Grado de esterificación (DE)

El grado de esterificación corresponde al porcentaje de grupos carboxilo del ácido galacturónico que se encuentran esterificados con grupos metoxilo en la molécula de pectina. Este parámetro permite clasificar las pectinas en pectinas de alto metoxilo (HM) y pectinas de bajo metoxilo (LM). Las pectinas de alto metoxilo forman geles en presencia de altas concentraciones de azúcar y condiciones de pH ácido, mientras que las pectinas de bajo metoxilo gelifican principalmente en presencia de iones divalentes como el calcio (Ranganna, 1986; Rubiano, Montaña y Da Silva, 2022).

El grado de esterificación se calcula a partir de los valores obtenidos en la determinación de acidez libre y contenido de metoxilos, mediante la siguiente expresión:

$$DE(\%) = \frac{ME}{ME+AL} \times 100 \quad (3)$$

donde

- DE* es el grado de esterificación (%);
ME es el contenido de metoxilos (miliequivalentes de NaOH);
AL es la acidez libre (miliequivalentes de NaOH).

3.2.9.2 Propiedades funcionales

Las propiedades funcionales de la pectina están relacionadas con su capacidad para modificar la textura, estabilidad y consistencia de diferentes sistemas alimentarios. Estas propiedades dependen principalmente del grado de esterificación, peso molecular, concentración de pectina y condiciones del medio, como el pH y la presencia de azúcares o iones divalentes (May, 1990; Voragen et al., 2009).

a) Capacidad gelificante

La pectina es ampliamente utilizada como agente gelificante en la industria alimentaria. La formación de geles depende principalmente del grado de esterificación. Las pectinas de alto metoxilo gelifican en presencia de altas concentraciones de azúcar y pH ácido, mientras que las pectinas de bajo metoxilo forman geles en presencia de iones divalentes como el calcio (May, 1990).

b) Capacidad emulsionante

La pectina puede actuar como agente estabilizante en sistemas emulsionados debido a su naturaleza hidrofílica y a la presencia de grupos funcionales capaces de interactuar con agua y compuestos lipídicos. Esta propiedad permite mejorar la estabilidad de emulsiones

en productos como bebidas, salsas y productos lácteos (Voragen et al., 2009).

c) Capacidad espesante

La pectina posee la capacidad de incrementar la viscosidad de soluciones acuosas, actuando como agente espesante en diferentes productos alimentarios. Esta propiedad es ampliamente aprovechada en la elaboración de mermeladas, jaleas, salsas, yogures y productos de confitería, donde contribuye a mejorar la textura y consistencia del producto final (May, 1990).

3.2.10 Métodos de extracción de pectina

Los métodos de extracción son un aspecto fundamental en la obtención de pectina a partir de residuos agroindustriales, como las cáscaras de frutas, ya que influyen directamente en el rendimiento, pureza y propiedades fisicoquímicas del producto final (Cui et al., 2021). Entre los métodos más utilizados se encuentran la extracción ácida, alcalina y enzimática. Asimismo, en los últimos años se han desarrollado técnicas avanzadas como la extracción asistida por microondas, ultrasonido y fluidos supercríticos, las cuales permiten mejorar la eficiencia del proceso y obtener pectina de alta calidad (Wang et al., 2023).

La extracción ácida es uno de los métodos más empleados a nivel industrial para obtener pectina a partir de materias primas vegetales como cáscaras de cítricos, orujo de manzana y otros residuos frutícolas. En este proceso, el material vegetal se somete a tratamiento con soluciones ácidas calientes, generalmente ácido cítrico o ácido clorhídrico, lo que permite la solubilización de la pectina presente en las paredes celulares de los tejidos vegetales (El Fihry et al., 2022).

Durante la extracción, el ácido favorece la ruptura de las paredes celulares y la liberación de la pectina hacia la solución líquida. Este método presenta ventajas como un alto rendimiento de extracción, simplicidad operativa y relativa rapidez del proceso (Shivamathi et al., 2022).



Por otro lado, la extracción alcalina utiliza soluciones básicas que pueden contener compuestos como hexametáfosfato de sodio. Este método puede mejorar ciertas características del producto final, como el color, el sabor y las propiedades gelificantes, aunque su aplicación es menos común debido a posibles modificaciones estructurales de la pectina (Zhou et al., 2022).

3.2.10.1 Hidrólisis ácida

La hidrólisis ácida es el método más utilizado para la extracción de pectina a nivel industrial y consiste en el tratamiento del material vegetal con agua acidificada a temperaturas elevadas. Generalmente se realiza a temperaturas comprendidas entre 70 y 90 °C, pH entre 1,5 y 2,5, utilizando ácidos diluidos (Mantilla et al. (2021).

Durante el proceso, el ácido facilita la solubilización de la pectina presente en la pared celular del material vegetal. Posteriormente, el extracto obtenido se filtra para eliminar los residuos sólidos y la pectina se recupera mediante precipitación, utilizando comúnmente alcoholes como etanol, metanol o acetona como agentes deshidratantes. Finalmente, la pectina precipitada se seca y se obtiene en forma de polvo. Sin embargo, los métodos convencionales de extracción demandan altos consumos de energía y pueden generar efluentes contaminantes, motivo por el cual actualmente existe un creciente interés en el desarrollo de tecnologías de extracción más eficientes y sostenibles (Chandel et al., 2022; Riyamol et al., 2023).

3.2.11 Factores que influyen en la extracción de pectina

El rendimiento y las características fisicoquímicas de la pectina obtenida a partir de residuos frutícolas dependen de diversos factores asociados al proceso de extracción. Entre los más importantes se encuentran pH del medio de extracción, la temperatura, tiempo de extracción, relación sólido-líquido, los cuales influyen en la solubilización de la pectina presente en las paredes celulares del material vegetal (Picot, Ramasawmy y Emmambux, 2022) y Relación volumen/volumen (v/v) en la precipitación de pectina con etanol (Akachat et al., 2025).



3.2.11.1 pH de extracción

El pH es uno de los factores más importantes en la extracción de pectina, ya que controla la solubilización del polisacárido presente en la pared celular vegetal. Generalmente, la extracción se realiza en condiciones ácidas, con valores de pH entre 1,5 y 3,0, lo que favorece la hidrólisis de los enlaces que mantienen la pectina unida a otros componentes de la pared celular. Sin embargo, valores de pH demasiado bajos pueden provocar la degradación del polisacárido y afectar su peso molecular (Picot-Allain, Ramasawmy y Emmambux, 2022).

3.2.11.2 Temperatura de extracción

La temperatura influye significativamente en la eficiencia del proceso de extracción, ya que incrementa la solubilidad de la pectina y acelera la ruptura de las paredes celulares del material vegetal. En general, la extracción de pectina se realiza a temperaturas comprendidas entre 50 y 100 °C. No obstante, temperaturas excesivamente elevadas pueden provocar la degradación del polímero y afectar sus propiedades funcionales (Picot-Allain, Ramasawmy y Emmambux, 2022).

3.2.11.3 Tiempo de extracción

El tiempo de extracción influye significativamente en la eficiencia del proceso, debido a que un mayor tiempo de contacto entre el solvente ácido y el material vegetal favorece la liberación de pectina hacia la solución. En estudios realizados con residuos frutícolas tropicales y subtropicales, se han reportado tiempos de extracción comprendidos entre 30 y 180 minutos. No obstante, tiempos excesivamente prolongados pueden ocasionar la hidrólisis del polímero y afectar sus propiedades funcionales y estructurales (Picot-Allain, Ramasawmy y Emmambux, 2022).

3.2.11.4 Relación sólida-líquido

La relación sólida-líquido corresponde a la proporción entre la cantidad de materia prima vegetal utilizado y el volumen de solvente

empleado durante el proceso de extracción. Este parámetro influye significativamente en la eficiencia del proceso, ya que determina la capacidad del solvente para penetrar en la estructura del material vegetal, facilitar la difusión de los compuestos solubles y promover la liberación de pectina presente en las paredes celulares.

La relación sólida-líquido corresponde a la proporción entre la cantidad de materia prima vegetal y el volumen de solvente utilizado durante el proceso de extracción. Este parámetro influye en la eficiencia del proceso, ya que favorece la transferencia de masa y la liberación de pectina desde la matriz vegetal hacia la solución extractante. Diferentes relaciones sólido-líquido son empleadas en la extracción de pectina dependiendo de la materia prima y de las condiciones del proceso, reportándose valores entre 1:3 y 1:20 (sólido:líquido) en residuos frutícolas tropicales y subtropicales (Picot-Allain, Ramasawmy y Emmambux, 2022). En general, una relación sólida-líquido adecuado favorece la solubilización de la pectina y mejora la eficiencia del proceso extractivo.

3.2.11.5 Relación volumen/volumen (v/v) en el precipitado

La relación volumen/volumen (v/v) entre el extracto de pectina y el solvente precipitante constituye un parámetro importante durante la recuperación del polisacárido. La precipitación alcohólica se realiza comúnmente utilizando solventes como etanol o metanol, los cuales actúan como agentes deshidratantes y reducen la solubilidad de la pectina en la solución extractante. Una adecuada proporción entre el extracto y el alcohol favorece la coagulación y separación de la pectina, permitiendo su posterior recuperación mediante filtración o centrifugación. Asimismo, la eficiencia del proceso de precipitación depende de factores como la concentración del alcohol y la relación volumen/volumen empleado, debido a que estos influyen en la formación y recuperación del precipitado péctico (Akachat et al., 2025).



3.2.12 Pectinas comerciales

Las pectinas comerciales se clasifican principalmente en función de su grado de esterificación (DE) en dos categorías: pectinas de alto metoxilo (HM), con un grado de esterificación superior al 50 %, y pectinas de bajo metoxilo (LM), con un grado de esterificación inferior al 50 % (Nguyen et al., 2022).

La mayor parte de la pectina comercial se obtiene principalmente de cáscaras de cítricos (aproximadamente 85,5 %) y orujo de manzana (alrededor del 14 %), mientras que una menor proporción proviene de pulpa de remolacha azucarera (0,5 %). Generalmente, la extracción de pectina se realiza mediante hidrólisis ácida, empleando valores de pH entre 1,0 y 3,0, temperaturas comprendidas entre 50 y 100 °C y diferentes tiempos de extracción, dependiendo de la materia prima y de las condiciones del proceso (Picot-Allain, Ramasawmy y Emmambux, 2022).

Las características fisicoquímicas de la pectina obtenida, así como su rendimiento de extracción, dependen de diversos factores, entre ellos el tipo de materia prima, el pH del medio, el tipo de ácido utilizado, la temperatura, el tiempo de extracción y la relación sólido-líquido empleado durante el proceso (Picot-Allain, Ramasawmy y Emmambux, 2022).

3.3 Marco conceptual

- a) **Características fisicoquímicas:** Son parámetros de calidad a los cuales son sometidos determinados productos (frutas y verduras) para determinar en qué condiciones se encuentran (Padilla y Marín, 2022).
- b) **Compuestos fenólicos:** Son moléculas bioactivas naturales contenidos en los tejidos vegetales con propiedades antioxidantes, antimicrobianas, antiinflamatorias y antiproliferativas (Huamani, 2023).



- c) **Extracción:** Proceso mediante el cual se separa la pectina de la matriz vegetal. Generalmente, esto implica el uso de tratamientos ácidos, alcalinos o enzimáticos, así como variaciones en temperatura y tiempo (Ferraro et al., 2024).
- d) **Grado de esterificación:** Es el porcentaje de grupos carboxilos esterificados en la pectina. Determina si una pectina es de elevado metoxilo ($DE > 50\%$) o de bajo metoxilo ($DE < 50\%$), lo que influye en su capacidad de formar geles (Cieza, 2020).
- e) **Hidrocoloides:** Los hidrocoloides son polímeros solubles en agua que dan consistencia y disposición gelificante, por lo tanto, comprenden polisacáridos y proteínas de importancia comercial que se agregan a los productos alimenticios (Boakye et al., 2023).
- f) **Pectina:** Es un polisacárido estructural presente en las paredes celulares de las plantas, sobre todo en las frutas, y ampliamente se emplea como factor gelificante, espesante y estabilizador en la industria de alimentos (El Fihry et al., 2022).
- g) **Valor nutritivo:** El valor nutritivo hace referencia a los nutrientes que aporta un determinado alimento a la dieta de un individuo, en tal sentido el valor nutritivo dependerá básicamente del tipo de alimento que se pretenda consumir (Villamiel, 2022).
- h) **Cáscara de chirimoya:** La cáscara de chirimoya corresponde al tejido externo del fruto *Annona cherimola*, el cual representa una fracción significativa del peso total del fruto. Este subproducto agroindustrial contiene compuestos estructurales como pectina, celulosa y hemicelulosa, lo que lo convierte en una materia prima potencial para la obtención de hidrocoloides naturales (Villamiel, 2022).



CAPÍTULO IV METODOLOGÍA

4.1 Tipo y nivel de investigación

La presente investigación fue de tipo aplicada, ya que se utilizó conocimientos científicos previos para generar información relacionada con el aprovechamiento de la cáscara de chirimoya para la obtención de pectina. Asimismo, se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, debido a que implicó la recopilación y análisis de datos numéricos obtenidos mediante procedimientos experimentales, lo que permitió evaluar las variables de estudio y contrastar las hipótesis planteadas (Anguera et al., 2020). En cuanto al nivel de investigación, el estudio tuvo un alcance descriptivo y explicativo. Fue descriptivo porque se caracterizaron las propiedades fisicoquímicas y funcionales de la pectina extraída de la cáscara de chirimoya como variables de estudio. Asimismo, fue explicativo porque permitió analizar la influencia de las variables del proceso de extracción sobre el rendimiento y las características de la pectina obtenida, estableciendo relaciones entre dichas variables y los resultados obtenidos (Ruiz y Valenzuela, 2022). Diseño de la investigación

La investigación se desarrolló bajo un diseño experimental, debido a que se modificaron las condiciones de extracción de pectina con el propósito de evaluar su influencia sobre el rendimiento y las propiedades fisicoquímicas del producto obtenido. Este tipo de diseño permitió analizar el efecto de las variables independientes sobre la variable dependiente bajo condiciones controladas, garantizando una evaluación objetiva de los resultados obtenidos (Chacha, Ramos y Sánchez, 2021).

Para el desarrollo de la investigación se empleó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial 2^4 , el cual permitió evaluar de manera simultánea el efecto de cuatro factores experimentales, cada uno con dos niveles de estudio: Factor A: pH de extracción del agua acidificada con HCl, Factor B: temperatura de extracción, Factor C: tiempo de extracción y Factor C: relación volumen/volumen (v/v) extracto - etanol durante la etapa de precipitación de la pectina. Este diseño experimental permitió analizar tanto los efectos principales de cada factor como las posibles interacciones entre ellos,



facilitando la identificación de las condiciones más favorables para optimizar el proceso de extracción y recuperación de pectina. Durante el proceso experimental, la relación extracto – etanol (v/v) se mantuvo constante en todas las unidades experimentales, con la finalidad de controlar su influencia sobre el proceso extractivo y garantizar una mejor evaluación de las variables estudiadas.

El número total de unidades experimentales se determinó considerando la cantidad de tratamientos y el número de repeticiones establecidas para cada uno de ellos, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\text{Número de experimentos} = \text{Número de tratamientos} \times \text{Número de repeticiones} \quad (4)$$

$$\text{Número de experimentos} = 16 \times 3 = 48$$

En consecuencia, el experimento estuvo conformado por 16 tratamientos con tres repeticiones cada uno, obteniéndose un total de 48 unidades experimentales.

4.1.1 Factores y niveles del diseño experimental

Los factores y niveles evaluados durante el proceso de extracción y precipitación de pectina se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3 — Factores y niveles del diseño experimental

Factores	Nivel bajo	Nivel alto
A: Temperatura (°C)	60	80
B: pH del agua acidificada con HCl	1.5	2.5
C: Tiempo de extracción (h)	1	2
D: Relación extracto–etanol (v/v)	1:7	1:13
FUENTE: Elaboración propia.		

4.1.2 Matriz de tratamientos

La combinación factorial de los niveles establecidos para los cuatro factores experimentales permitió obtener 16 tratamientos, los cuales se presentan en la Tabla 4 de la matriz de diseño experimental.



Tabla 4 — Matriz de tratamientos del diseño factorial

Tratamiento	Factor A: Temperatura (°C)	Factor B: pH del agua acidificada con HCl	Factor C: Tiempo de extracción (h)	Factor D: Relación extracto- etanol (v/v)
1	60	1.5	1	1:7
2	60	1.5	1	1:13
3	60	1.5	2	1:7
4	60	1.5	2	1:13
5	60	2.5	1	1:7
6	60	2.5	1	1:13
7	60	2.5	2	1:7
8	60	2.5	2	1:13
9	80	1.5	1	1:7
10	80	1.5	1	1:13
11	80	1.5	2	1:7
12	80	1.5	2	1:13
13	80	2.5	1	1:7
14	80	2.5	1	1:13
15	80	2.5	2	1:7
16	80	2.5	2	1:13

FUENTE: Elaboración propia.

4.1.3 Análisis estadístico

Una vez recopilados los datos experimentales, se realizó el Análisis de Varianza (ANOVA) correspondiente a un Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial 2^4 , con el propósito de determinar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos y evaluar el efecto de los factores experimentales sobre las variables respuesta. El ANOVA permitió descomponer la variabilidad total de los datos en sus diferentes fuentes de variación, correspondientes a los efectos principales de los factores, sus interacciones y el error experimental.

El diseño factorial estuvo conformado por cuatro factores con dos niveles cada uno: factor A, temperatura de extracción; factor B, pH del agua acidificada con HCl; factor C, tiempo de extracción; y factor D, relación extracto-etanol (v/v), generando un total de 16 combinaciones de tratamientos ($2^4 = 16$), cada una con tres repeticiones. El modelo estadístico general utilizado fue el siguiente:

Una vez recopilados los datos experimentales, se realizó el análisis estadístico mediante el Análisis de Varianza (ANOVA), con la finalidad de determinar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos evaluados y analizar la influencia de los factores experimentales sobre las variables respuesta. Esta herramienta estadística permitió comparar las medias de los tratamientos y evaluar la variabilidad observada en los datos, descomponiéndola en sus diferentes fuentes de variación.

Debido a que la investigación se desarrolló bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial 2^4 , el análisis estadístico permitió evaluar tanto los efectos principales de los factores experimentales como las posibles interacciones entre ellos. El modelo estadístico general utilizado se expresa de la siguiente manera:

$$Y = \mu + A_i + B_j + C_k + D_l + (AB)_{ij} + (AC)_{ik} + (AD)_{il} + (BC)_{jk} + (BD)_{jl} + (CD)_{kl} + (ABC)_{ijk} + (ABD)_{ijl} + (ACD)_{ikl} + (BCD)_{jkl} + (ABCD)_{ijkl} + \varepsilon_{ijklm} \quad (5)$$

donde

Y_{ijklm}	es la respuesta observada;
μ	es la media general;
A	es el efecto del factor A;
B	es el efecto del factor B;
C	es el efecto del factor C;
D	es el efecto del factor D;
$(AB), (AC), \dots, (ABCD)$	es los efectos de interacción.
I	es 1,2;
J	es 1,2;
K	es 1,2;
L	es 1,2;
M	es 1,2,...,r (número de repeticiones);
y	es $\varepsilon_{ijklm} \sim N(0, \sigma^2)$.

El análisis de varianza (ANOVA) constituye una herramienta estadística que permite descomponer la variabilidad total de la variable respuesta en fuentes de



variación atribuibles a los efectos principales de los factores evaluados, sus interacciones y el error experimental. En un Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial 2^4 , el ANOVA permite determinar la significancia estadística de cada factor y de las interacciones entre ellos, mediante el cálculo de las sumas de cuadrados (SC), los grados de libertad (GL), los cuadrados medios (CM) y el estadístico F. La estructura del análisis de varianza se presenta en la Tabla 5.

Tabla 5 — Esquema del análisis de varianza (ANOVA) para un Diseño Completamente al Azar con arreglo factorial 2^4

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio (CM)	Estadístico F
Factor A	1	$CM_A = \frac{SC_A}{1}$	$F = \frac{CM_A}{CM_E}$
Factor B	1	$CM_B = \frac{SC_B}{1}$	$F = \frac{CM_B}{CM_E}$
Factor C	1	$CM_C = \frac{SC_C}{1}$	$F = \frac{CM_C}{CM_E}$
Factor D	1	$CM_D = \frac{SC_D}{1}$	$F = \frac{CM_D}{CM_E}$
A×B	1	CM_{AB}	CM_{AB}/CM_E
A×C	1	CM_{AC}	CM_{AC}/CM_E
A×D	1	CM_{AD}	CM_{AD}/CM_E
B×C	1	CM_{BC}	CM_{BC}/CM_E
B×D	1	CM_{BD}	CM_{BD}/CM_E
C×D	1	CM_{CD}	CM_{CD}/CM_E
A×B×C	1	CM_{ABC}	CM_{ABC}/CM_E
A×B×D	1	CM_{ABD}	CM_{ABD}/CM_E
A×C×D	1	CM_{ACD}	CM_{ACD}/CM_E
B×C×D	1	CM_{BCD}	CM_{BCD}/CM_E
A×B×C×D	1	CM_{ABCD}	CM_{ABCD}/CM_E
Error	32	$CME = \frac{SC_{CE}}{32}$	
Total	47		

FUENTE: Elaboración propia.

En el presente estudio se evaluaron 16 tratamientos, correspondientes a las combinaciones de los cuatro factores A, B, C y D estudiados, cada uno con dos niveles, bajo un Diseño Completamente al Azar con arreglo factorial 2^4 . Cada tratamiento se ejecutó con tres repeticiones, obteniéndose un total de 48 unidades experimentales. En consecuencia, el análisis de varianza presentó 47 grados de libertad totales, distribuidos en 15 grados de libertad correspondientes a los efectos del diseño factorial (cuatro efectos principales, seis interacciones dobles, cuatro interacciones triples y una interacción cuádruple) y 32 grados de libertad asociados al error experimental.

La significancia estadística de cada efecto se determinó mediante la prueba F de Fisher, calculada como el cociente entre el cuadrado medio del efecto evaluado y el cuadrado medio del error experimental. Se consideró que un efecto era estadísticamente significativo cuando el valor de p fue menor que el nivel de significancia establecido ($\alpha=0.05$), equivalente a que el valor de F calculado fuera superior al valor crítico de F.

El procesamiento y análisis estadístico de los datos se realizó mediante el software Minitab®, el cual permitió efectuar el análisis de varianza correspondiente al diseño factorial, estimar los efectos principales y las interacciones entre los factores, así como identificar aquellos efectos con influencia significativa sobre la variable respuesta.

4.2 Descripción ética de la investigación

La presente investigación se desarrolló bajo principios éticos orientados al aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y a la reducción del impacto ambiental. En este contexto, el estudio se enfocó en la valorización de la cáscara de chirimoya, considerada un subproducto que generalmente es descartado, mediante su utilización como materia prima para la obtención de pectina. De esta manera, la investigación contribuye al fortalecimiento de prácticas sostenibles orientadas al aprovechamiento integral de los recursos agrícolas y a la disminución de residuos orgánicos.

Asimismo, durante el desarrollo experimental se aplicaron procedimientos adecuados para el manejo seguro de reactivos y residuos químicos, procurando minimizar posibles



impactos ambientales derivados del proceso de investigación. Del mismo modo, el estudio se realizó respetando los principios éticos de integridad científica, transparencia y honestidad académica garantizando una adecuada recolección, análisis e interpretación de datos obtenidos. Finalmente, los resultados fueron reportados de manera objetiva y veraz, con la finalidad de contribuir al desarrollo del conocimiento científico y tecnológico en el área de la agroindustria, especialmente en el aprovechamiento y valorización de subproductos agrícolas.

4.3 Población y muestra

4.3.1 Población

La población estuvo conformada por las cáscaras de chirimoya (*Annona cherimola*) provenientes de los residuos postcosecha generados en la zona productora del distrito Justo Apu Sahuaraura centro poblado de Amoca. Este subproducto agroindustrial constituyó la materia prima empleada en el proceso de extracción de pectina y represento el objeto de estudio de la presente investigación.

4.3.2 Muestra

Debido a las limitaciones prácticas para trabajar con la totalidad de la población, se seleccionó una muestra representativa de cáscaras de chirimoya, utilizadas como materia prima en las unidades experimentales del proceso de extracción de pectina. El muestreo empleado fue no probabilístico por conveniencia, considerando la disponibilidad de residuos postcosecha en la zona de estudio. Para la ejecución del experimento se recolectaron aproximadamente 72 kg de cáscaras de chirimoya, cantidad suficiente para el desarrollo de los tratamientos experimentales y sus respectivas repeticiones contempladas en el diseño experimental.

4.4 Procedimiento

4.4.1 Materiales

a) Materia prima

- Cáscaras de chirimoya (*Annona cherimola*).
- Pectina comercial.



b) Reactivos

- Ácido clorhídrico.
- Etanol al 96 % (grado analítico).
- Agua destilada.
- Aceite comestible.

c) Instrumental y equipos

- pH-metro.
- Viscosímetro.
- Refractómetro.
- Balanza analítica.
- Estufa de secado.
- Placas calefactoras o baño María.
- Material de vidrio (vasos de precipitación, matraces, probetas, entre otros).
- Espectrofotómetro.
- Microscopio de fluorescencia.

4.4.2 Procedimiento para la obtención de pectina

La obtención de pectina a partir de cáscaras de chirimoya se desarrolló mediante una serie de operaciones orientadas a la extracción y recuperación de las sustancias pécticas presentes en la pared celular del material vegetal. Inicialmente, se recolectaron cáscaras frescas provenientes de residuos postcosecha de chirimoya generados en la zona de estudio. Posteriormente, la materia prima fue sometida a un proceso de lavado con agua corriente para eliminar restos de pulpa, impurezas y partículas extrañas adheridas a la superficie.

Una vez limpias, las cáscaras fueron cortadas en fragmentos de menor tamaño con la finalidad de incrementar el área de contacto entre el material vegetal y el medio extractante. Para cada tratamiento experimental se emplearon 150 g de cáscara fresca (húmeda) y 500 ml de agua acidificada, manteniéndose estas cantidades constantes durante todo el estudio. No se realizó un secado previo de la materia prima, con el propósito de evitar posibles alteraciones estructurales o pérdidas de compuestos pécticos que pudieran producirse durante procesos de deshidratación.

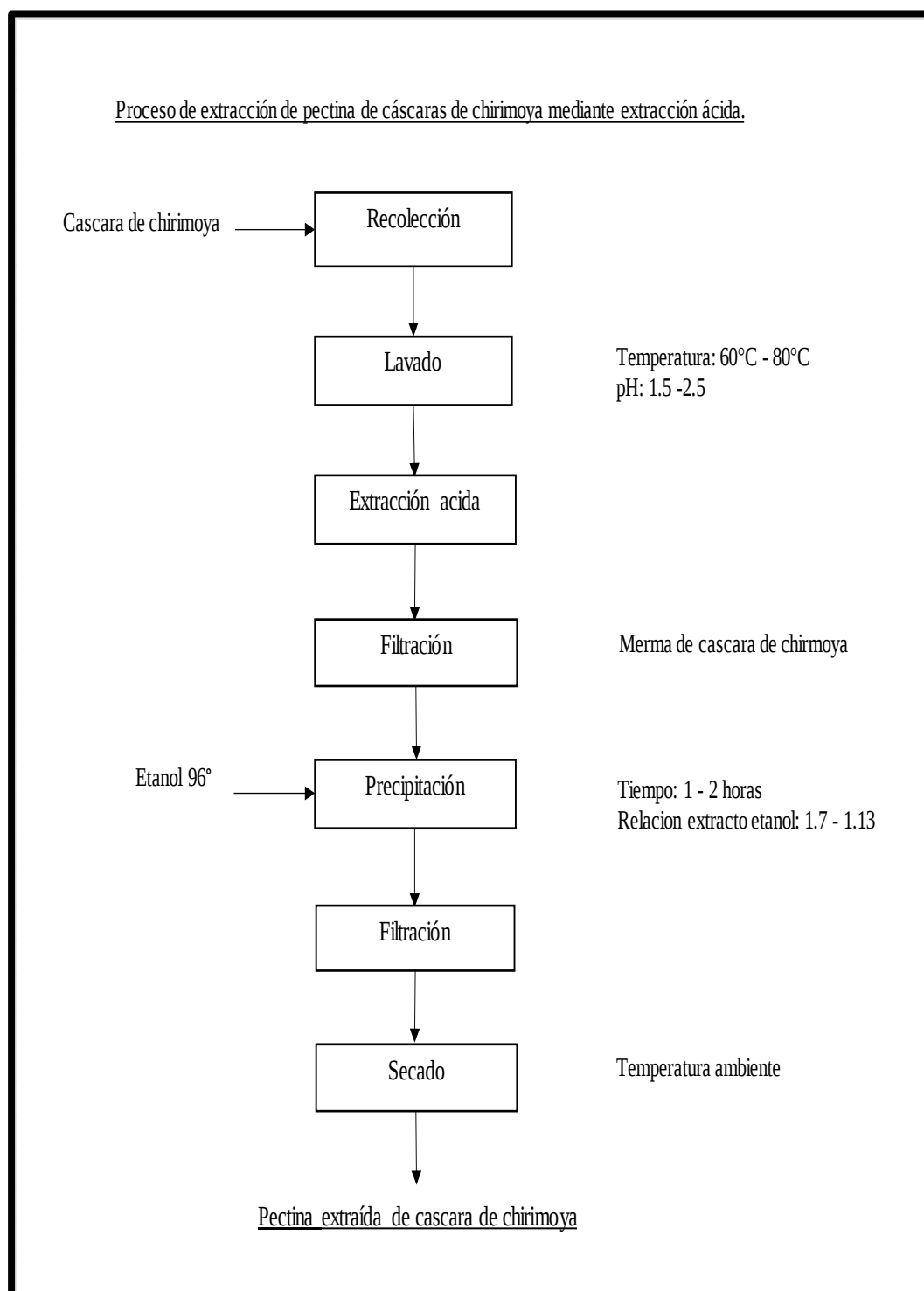


Posteriormente, la mezcla fue sometida a hidrólisis ácida bajo diferentes condiciones de extracción establecidas en el diseño experimental. Las variables evaluadas fueron la temperatura (60 y 80 °C), el pH de la solución acidificada (1.5 y 2.5), el tiempo de extracción (1 y 2 h) y la relación extracto-etanol (1:7 y 1:13 v/v). Durante esta etapa, el medio ácido favoreció la solubilización de la protopectina presente en la pared celular vegetal y la liberación de la pectina hacia la solución extractante.

Finalizado el proceso de extracción, la mezcla obtenida fue sometida a filtración para separar los residuos sólidos del extracto líquido que contenía la pectina disuelta. Posteriormente, al filtrado se le adicionó etanol de acuerdo con las relaciones extracto-etanol establecidas para cada tratamiento, favoreciendo la precipitación de la pectina debido a la disminución de su solubilidad en el medio alcohólico.

El precipitado obtenido fue recuperado mediante filtración y posteriormente sometido a secado a temperatura ambiente para eliminar el exceso de solvente y obtener la pectina en forma sólida. Finalmente, la pectina seca fue almacenada en recipientes herméticos hasta su posterior caracterización fisicoquímica, funcional y estructural. El procedimiento general empleado en la investigación se resume en la Figura 15.





FUENTE: Elaboración propia.

Figura 15 — Diagrama de flujo del proceso de extracción de pectina a partir de cáscara de chirimoya

4.5 Técnica e instrumentos

La técnica utilizada en la investigación fue la observación experimental, mediante la cual se registró de forma sistemática el comportamiento de las variables involucradas en el proceso de extracción de pectina y en la evaluación de sus propiedades fisicoquímicas y funcionales. Esta técnica permitió monitorear las condiciones experimentales durante el desarrollo de los ensayos y garantizar el seguimiento adecuado de los parámetros evaluados en laboratorio

Para la recolección de datos se utilizó una ficha de registro de datos, diseñada específicamente para organizar la información obtenida en cada tratamiento experimental. A través de este instrumento se registraron los resultados relacionados con el rendimiento de pectina y las propiedades evaluadas, favoreciendo la sistematización, el control y el análisis de los datos generados durante la investigación.

4.6.1 Determinación del rendimiento

El rendimiento de pectina se determinó mediante la relación entre la masa de pectina seca obtenida después del proceso de extracción y la masa inicial de cáscara fresca de chirimoya utilizada en cada unidad experimental. El cálculo se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$Rp (\%) = \frac{\text{masa de pectina seca obtenida (g)}}{\text{masa inicial de la cascara fresca (g)}} \times 100 \quad (6)$$

donde

- $R-p$ es el rendimiento de la pectina (%);
- $m-p$ es la masa de la pectina (g);
- mc es la masa inicial de la cascara fresca de la chirimoya (g).

Para cada unidad experimental se utilizaron 150 g de cáscara fresca (húmeda). Por tanto, el rendimiento se expresó respecto a la masa inicial de materia prima en base húmeda. Cada tratamiento se realizó por triplicado y los resultados se expresaron como promedio $\pm$ desviación estándar.

4.6.2 Análisis fisicoquímico

Los análisis fisicoquímicos realizados a la pectina obtenida permitieron determinar parámetros relacionados con la calidad del producto. Entre las variables evaluadas



se consideraron: pH, porcentaje de humedad, acidez libre, porcentaje de metoxilo, grado de esterificación y viscosidad, los cuales fueron determinados mediante métodos analíticos estandarizados aplicados en laboratorio.

4.6.2.1 Características fisicoquímicas

Las propiedades fisicoquímicas constituyen indicadores importantes para evaluar la calidad, pureza y comportamiento tecnológico de la pectina obtenida a partir de diferentes materias primas. Estos parámetros son ampliamente empleados en la caracterización de pectinas extraídas de residuos agroindustriales, debido a que permiten determinar sus características estructurales y funcionales, así como su potencial aplicación en la industria alimentaria. (Ranganna, 1986; Rubiano, Montaña y Da Silva, 2022).

a) Contenido de humedad

El contenido de humedad de la pectina obtenida a partir de cáscara de chirimoya se determinó mediante el método de secado en estufa, de acuerdo con la Norma Técnica Peruana NTP 205.037:2022. Para ello, se pesó previamente una cápsula o placa Petri seca registrando su masa (m_0). Posteriormente, se colocaron aproximadamente 2 a 5 g de muestra de pectina en la cápsula y se registró la masa de la cápsula con la muestra antes del secado (m_1). La cápsula con la muestra se introdujo en una estufa a 105 °C, donde se mantuvo durante 3 a 4 horas o hasta alcanzar peso constante. Luego del secado, la cápsula se retiró utilizando pinzas y se colocó en un desecador durante aproximadamente 30 minutos para permitir su enfriamiento y evitar la absorción de humedad del ambiente.

Finalmente, se registró la masa final (m_2) y el porcentaje de humedad se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \times 100 \quad (7)$$



donde

- m_0 es la masa de la cápsula vacía (g);
- m_1 es la masa de la cápsula + muestra antes del secado (g);
- m_2 es la masa de la cápsula + muestra después del secado (g).

b) pH

El pH se determinó siguiendo el método AOAC, 2005 981.12. Se utilizó el pH-metro previamente calibrado con soluciones buffer estándar. Enseguida se preparó una solución de 1g de pectina en 10ml de agua destilada en un vaso precipitado. Se introdujo el electrodo del pH-metro en la solución, se esperó a que la lectura sea estable, finalmente se registró el valor del pH.

c) Acidez libre (AL)

Siguiendo el método AOAC, 2005 981.12. 1g de pectina obtenida de la cascara de chirimoya se diluyó en 10ml de agua destilada en un vaso precipitado. Posteriormente se agregó 3 gotas del indicador de fenolftaleína y se homogeneizó; luego, se tituló la muestra con hidróxido de sodio (NaOH) 0.1N hasta un viraje de color rosado persistente. Al observar el cambio de color de la muestra se registró el volumen gastado y se aplicó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Acidez titulable} = \frac{V * N * 0.194 * FCM}{m} * 100 \quad (8)$$

donde

- A es el volumen gastado de NaOH (mL);
- N es la normalidad de NaOH de 0.1;
- 0.194 es el factor ácido galacturónico;
- m es el peso de la muestra 1 g;
- FCM es 1.



d) Porcentaje de metoxilo (ME)

Se desarrollo siguiendo el método de titulación volumétrica según ISO 749-1977: Se adiciono en un matraz Erlenmeyer de 250 mL 0.5 g de pectina, para luego añadir 50mL de agua destilada, se agito hasta dispersar completamente la muestra. Posteriormente se añadiéndose 3 gotas de fenolftaleína como indicador. Seguidamente se Tituló con NaOH 0.1, N hasta obtener un color rosado tenue persistente, registrándose el volumen utilizado (V_1).

Para la saponificación de los grupos metoxilo, se agregó 10 mL de NaOH 0.1 N al matraz titulado para luego dejar reposar durante 30 minutos para permitir la hidrólisis de los ésteres metílicos. Luego se añadió 10 mL de HCl 0.1 N para neutralizar el exceso de NaOH agregado y neutralización del exceso de base. Finalmente se tituló agregando nuevamente 3 gotas de fenolftaleína, con NaOH 0.1 N hasta que aparezca un color rosado persistente para luego registrar el volumen gastado (V_2).

La fórmula para calcular el contenido de metoxilos (%MeO) en pectina según el método de titulación volumétrica de la ISO 749:1977 es

$$\% MeO = \frac{V_2 \times N \times 3.1}{m} \quad (9)$$

donde

$\%MeO$	es el porcentaje de metoxilos en la pectina;
V_2	es el volumen de NaOH gastado en la segunda titulación (mL);
N	es la normalidad de la solución de NaOH;
3.1	es el peso molecular del grupo metoxilo (OCH_3);
m	es la masa de la muestra de pectina (g).

Significado del resultado:

> 7 % → Pectina de alto metoxilo (HM)

< 7 % → Pectina de bajo metoxilo (LM)



e) Grado de Esterificación (GE)

El grado de esterificación (GE) de la pectina se determinó mediante el método titulométrico, el cual permite estimar el porcentaje de grupos carboxilo esterificados presentes en la estructura del polisacárido. Para ello, se realizaron titulaciones sucesivas utilizando hidróxido de sodio (NaOH), considerando el volumen consumido durante la neutralización de los grupos carboxilo libres y esterificados. El cálculo del grado de esterificación se efectuó mediante la siguiente expresión:

$$GE(\%) = \frac{V_2}{V_1 + V_2} \times 100 \quad (10)$$

donde

V_1 es el volumen de NaOH consumido en la determinación de acidez libre;

V_2 es el volumen de NaOH consumido después del proceso de saponificación, correspondiente a los grupos esterificados.

f) Viscosidad

La viscosidad de la pectina se determinó mediante el método ASTM D2196-18 (2022) utilizando un viscosímetro rotacional. Para ello, se preparó una solución homogénea de 1 g de pectina en 10 mL de agua destilada. La muestra se colocó en el equipo previamente calibrado, empleando el husillo adecuado según la viscosidad estimada. La medición se realizó una vez estabilizada la lectura, registrándose la viscosidad en centipoise (cP).

4.6.3 Propiedades funcionales

a) Capacidad gelificante

La capacidad gelificante de la pectina se evaluó siguiendo el método de FAO/WHO (1982). Se preparó un sistema modelo azúcar-ácido compuesto por aproximadamente 65 % de sacarosa, pectina (0.5–1.5 %) y agua; posteriormente, el pH se ajustó entre 2.8 y 3.5 con ácido cítrico. La

mezcla se calentó hasta ebullición con agitación constante para asegurar la completa disolución de los componentes y luego se dejó enfriar a temperatura ambiente hasta la formación del gel. Finalmente, la capacidad gelificante se determinó mediante la evaluación de la firmeza, consistencia y estabilidad del gel obtenido.

b) Determinación de la capacidad emulsionante

La actividad emulsionante (EA) y la estabilidad de la emulsión (ES) de la pectina se determinaron siguiendo el método de Zhao *et al.* (2019) y Yu *et al.* (2024). Se prepararon emulsiones mezclando 5 mL de solución de pectina (0.5 %, p/p) con 5 mL de aceite de maíz, las cuales se homogenizaron y centrifugaron a $5000 \times g$ durante 5 min. El volumen de la capa emulsionada se registró después de 24 h a 24 °C para calcular la actividad emulsionante (EA). La estabilidad de la emulsión (ES) se evaluó como el porcentaje de la capa emulsionada que permaneció estable tras 30 días de almacenamiento, utilizando las ecuaciones propuestas por Yu *et al.* (2024).

$$EA(\%) = \frac{\text{Volumen de la capa emulsionada (ml)}}{\text{Volumen total de la mezcla (ml)}} \times 100\% \quad (11)$$

c) Determinación de la capacidad espesante

La capacidad espesante corresponde a la propiedad funcional de la pectina para aumentar la viscosidad de soluciones acuosas mediante la formación de interacciones entre sus cadenas polisacarídicas y las moléculas de agua. Esta característica se encuentra estrechamente relacionada con la estructura química, el peso molecular y el grado de esterificación de la pectina, siendo un parámetro importante para evaluar su aplicación tecnológica en la industria alimentaria.

La capacidad espesante fue determinada a partir de la relación entre la viscosidad de la solución de pectina y la viscosidad del agua, de acuerdo con la siguiente ecuación:



$$CE = \frac{\eta_{solución}}{\eta_{agua}} \quad (12)$$

donde

CE	es la capacidad espesante;
η	es la viscosidad de la solución de pectina;
H	es la viscosidad del agua;

Para el cálculo se consideró una viscosidad del agua de 1 mPa·s a 25 °C.

4.7 Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó con el propósito de organizar, procesar e interpretar los datos obtenidos durante la extracción de pectina a partir de cáscara de chirimoya. Inicialmente, se aplicó estadística descriptiva mediante el cálculo de la media y la desviación estándar para describir el comportamiento de las variables evaluadas.

Posteriormente, se efectuó un análisis de varianza (ANOVA) correspondiente a un Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial (2^4), con el fin de evaluar el efecto A: temperatura de extracción; efecto B: pH del agua acidificada con HCl; efecto C: tiempo de extracción; y efecto D: relación extracto-etanol (v/v), sobre el rendimiento y las propiedades fisicoquímicas de la pectina, así como las posibles interacciones entre dichos factores.

Cuando el ANOVA mostró diferencias significativas (($p < 0.05$)), se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey ($\alpha = 0.05$) para identificar los tratamientos con diferencias estadísticas significativas.

El procesamiento y análisis de los datos se realizó mediante el software estadístico **Minitab®**, el cual permitió ejecutar el ANOVA, la prueba de Tukey y el análisis de los efectos principales e interacciones entre los factores experimentales.



CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Resultados

5.1.1 Rendimiento de pectina por tratamiento

El rendimiento de pectina obtenido a partir de la cáscara de chirimoya (*Annona cherimola*) fue determinado bajo las diferentes condiciones experimentales establecidas en el diseño completamente al azar con arreglo factorial 2⁴. Los resultados obtenidos para cada tratamiento experimental se presentan en la Tabla 6, expresados como promedio $\pm$ desviación estándar de tres repeticiones.

Tabla 6 — Rendimiento de pectina obtenido en los tratamientos experimentales

Tratamiento	Factores				Rendimiento promedio (%)
	A: Temperatura (°C)	B: pH del agua acidificada con HCl	C: Tiempo de extracción (h)	D: Relación extracto-etanol (v/v)	
T1	60	1.5	1	1:7	0.625 $\pm$ 0.208 ^b
T2	60	1.5	1	1:13	0.793 $\pm$ 0.158 ^{ab}
T3	60	1.5	2	1:7	0.479 $\pm$ 0.067 ^b
T4	60	1.5	2	1:13	0.350 $\pm$ 0.120 ^b
T5	60	2.5	1	1:7	0.690 $\pm$ 0.014 ^{ab}
T6	60	2.5	1	1:13	1.097 $\pm$ 0.253 ^{ab}
T7	60	2.5	2	1:7	1.033 $\pm$ 0.191 ^{ab}
T8	60	2.5	2	1:13	0.751 $\pm$ 0.056 ^{ab}
T9	80	1.5	1	1:7	0.975 $\pm$ 0.097 ^{ab}
T10	80	1.5	1	1:13	0.628 $\pm$ 0.010 ^b
T11	80	1.5	2	1:7	0.627 $\pm$ 0.052 ^b
T12	80	1.5	2	1:13	0.503 $\pm$ 0.098 ^b
T13	80	2.5	1	1:7	1.518 $\pm$ 0.756 ^a
T14	80	2.5	1	1:13	0.437 $\pm$ 0.005 ^b
T15	80	2.5	2	1:7	0.708 $\pm$ 0.216 ^{ab}
T16	80	2.5	2	1:13	0.565 $\pm$ 0.241 ^b
NOTA Los valores corresponden al promedio $\pm$ desviación estándar del rendimiento de					

pectina obtenido en cada tratamiento ($n = 3$). Las letras superíndices indican los grupos homogéneos establecidos mediante la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p < 0.05$). Tratamientos con letras diferentes presentan diferencias significativas, mientras que aquellos que comparten una o más letras no presentan diferencias significativas entre sí.

A partir de los resultados presentados en la Tabla 6, se observa que el rendimiento de pectina obtenido a partir de la cáscara de chirimoya presentó variaciones entre los diferentes tratamientos experimentales evaluados. Los valores registrados muestran diferencias en el rendimiento promedio de pectina bajo los distintos factores de temperatura, pH del agua acidificada con HCl, tiempo de extracción y relación extracto-etanol (v/v) aplicadas durante el proceso experimental. Asimismo, se aprecia que algunos tratamientos presentaron mayores rendimientos de pectina en comparación con otros, evidenciando un comportamiento variable de la extracción bajo las condiciones evaluadas.

El mayor rendimiento promedio de pectina a partir de la cascara de chirimoya se registró en el tratamiento T13, correspondiente a las condiciones de 80 °C de temperatura, pH 2.5, tiempo de extracción de 1 hora y relación extracto-etanol (v/v) de 1:7, alcanzando un valor de $1.518 \% \pm 0.76$. Estos resultados evidencian que determinados factores favorecieron una mayor recuperación de pectina durante el proceso de extracción. Asimismo, se observa que el incremento de la temperatura y el pH del agua acidifica con HCl estuvieron asociados con mayores valores de rendimiento de pectina obtenidos a partir de la cáscara de chirimoya.

En contraste, algunos tratamientos presentaron menores valores de rendimiento de pectina. El tratamiento T4 registró el rendimiento promedio más bajo correspondientes a las condiciones de 60 °C de temperatura, pH 1.5, tiempo de extracción de 2 hora y relación extracto-etanol (v/v) de 1:13, alcanzando un valor de $0.35 \% \pm 0.12$. De manera general, la Figura 16 evidencia variaciones en el rendimiento de pectina entre los diferentes tratamientos experimentales aplicados durante el proceso de extracción.

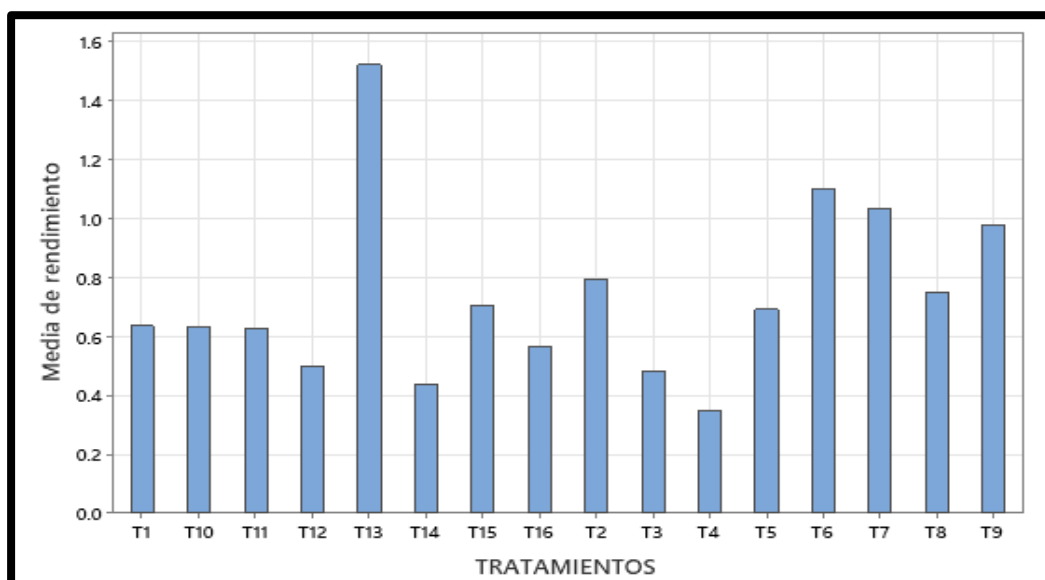


Figura 16 — Rendimiento promedio de pectina obtenido en los diferentes tratamientos de extracción

5.1.1.1 Análisis de varianza (ANOVA) del efecto de las condiciones de extracción sobre el rendimiento de pectina obtenida de la cáscara de chirimoya (*Annona cherimola*)

Los resultados correspondientes al análisis del modelo factorial para el rendimiento de pectina muestra el análisis preliminar realizado mediante el modelo lineal general (ver Anexo B, Tabla 11).

El análisis de varianza (ANOVA) mostró que el modelo factorial fue significativo, indicando que al menos uno de los efectos principales o de sus interacciones influyó significativamente sobre el rendimiento de pectina. Entre los factores principales, el pH del agua acidificada con HCl, el tiempo de extracción y la relación extracto-etanol (v/v) presentaron diferencias significativas, mientras que la temperatura no mostró un efecto estadísticamente significativo.

De igual manera, respecto a las interacciones entre factores dobles, la interacción temperatura $\times$ relación extracto-etanol (v/v) presentó diferencias significativas entre factores triples, la interacción temperatura $\times$ tiempo extracción $\times$ relación extracto-etanol (v/v) fue significativa.

Las demás interacciones no presentaron diferencias estadísticas significativas.

Con el fin de identificar los las medias de los tratamientos que produjeron los mayores rendimientos de pectina, se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey a las 16 de tratamientos. Esta prueba permitió establecer los grupos de medias estadísticamente homogéneos y determinar los tratamientos con diferencias significativas.

5.1.1.2 Prueba de comparación múltiple de Tukey para el rendimiento de pectina en los tratamientos evaluados

La Figura 17 muestra las medias y los intervalos de confianza al 95 % del rendimiento de pectina para las 16 combinaciones de tratamientos del DCA con arreglo factorial 2^4 . El tratamiento T13 presentó el mayor rendimiento promedio (1.518 %); sin embargo, su intervalo de confianza fue amplio, lo que evidencia una mayor variabilidad entre sus repeticiones. La superposición observada entre varios intervalos refleja similitud visual en la estimación de las medias, mientras que las diferencias estadísticas entre las medias de tratamientos fueron determinadas mediante la prueba de Tukey, cuyos resultados se presentan en la figura 17.

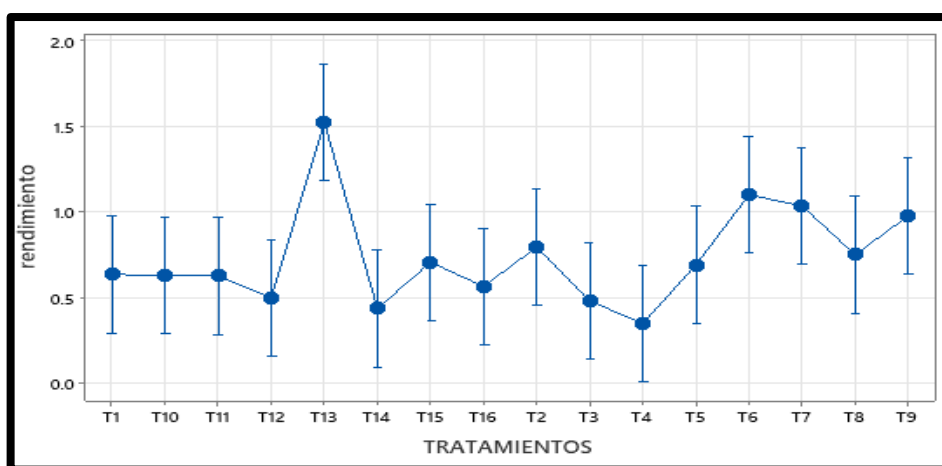


Figura 17 —Medias e intervalos de confianza del rendimiento de pectina de las 16 combinaciones de tratamientos

5.2 Comparación de las propiedades fisicoquímicas de la pectina extraída y la pectina comercial

Las propiedades fisicoquímicas se evaluaron en las pectinas de la cascara de chirimoya obtenidas de los tratamientos, T13 y T4, correspondientes al mayor y menor rendimiento de extracción, respectivamente, y se compararon con una pectina comercial.

Tabla 7 — Comparación de las propiedades fisicoquímicas de la pectina extraída y la pectina comercial

Propiedades fisicoquímicas	T13	T4	Pectina comercial
pH	3.223 ± 0.238 ^a	4.023 ± 0.025 ^a	3.723 ± 0.555 ^a
Acidez titulable (%)	10.670 ± 1.074 ^b	11.705 ± 0.924 ^b	19.335 ± 1.097 ^a
Contenido de metoxilos (%)	1.147 ± 0.403 ^a	0.837 ± 0.528 ^a	0.620 ± 0.310 ^a
Grado de esterificación (%)	23.207 ± 7.579 ^a	19.183 ± 11.474 ^a	8.885 ± 3.708 ^a
Humedad (%)	12.813 ± 0.907 ^{ab}	11.940 ± 0.633 ^b	10.983 ± 0.281 ^a
Viscosidad (mPa·s)	9.493 ± 0.369 ^a	5.760 ± 0.858 ^b	10.980 ± 1.960 ^a
NOTA Los valores corresponden al promedio ± desviación estándar de tres repeticiones experimentales (n = 3). T13 y T4 corresponden a los tratamientos de mayor y menor rendimiento de extracción, respectivamente.			

En la Tabla 7 se presentan los valores promedio ± desviación estándar de las propiedades fisicoquímicas de las pectinas obtenidas en los tratamientos T13 y T4, así como de la pectina comercial. Se observaron diferencias en los valores de pH, acidez titulable, contenido de metoxilos, grado de esterificación, humedad y viscosidad entre las muestras evaluadas. Para determinar si estas diferencias fueron estadísticamente significativas, cada propiedad fue analizada mediante un análisis de varianza (ANOVA) bajo un diseño completamente al azar (DCA) y la prueba de comparación múltiple de Tukey ($\alpha = 0.05$), cuyos resultados se presentan a continuación.

5.2.1 pH

El análisis de varianza mostró que el tipo de pectina no influyó significativamente sobre el pH de las muestras evaluadas. Al ser el p-valor mayor que 0.05, no



existieron diferencias estadísticas en el pH entre las pectinas correspondientes a los tratamientos T13, T4 y la pectina comercial (ver Anexo C, tabla 13).

5.2.2 Acidez titulable

El análisis de varianza (ANOVA) mostró que existieron diferencias significativas en la acidez titulable entre las pectinas evaluadas. Estos resultados indican que el tipo de pectina (T13, T4 y comercial) influyó significativamente en los valores de acidez titulable (ver Anexo C, tabla 14).

La prueba de comparación múltiple de Tukey mostró que la pectina comercial presentó la mayor acidez titulable (19.335 %), diferenciándose significativamente de las pectinas extraídas de la cascara de chirimoya, en los tratamientos T13 (10.670 %) y T4 (11.705 %). Por otro lado, no se observaron diferencias significativas entre T13 y T4, ya que ambas muestras fueron agrupadas en el mismo grupo estadístico (B) (ver Anexo C, tabla 15).

5.2.3 Contenido de metoxilos

El análisis de varianza (ANOVA) no evidenció diferencias significativas en el contenido de metoxilos entre las pectinas evaluadas. Asimismo, la prueba de Tukey agrupó a T13, T4 y la pectina comercial en un mismo grupo estadístico (A), confirmando que las diferencias observadas entre sus medias no fueron estadísticamente significativas (ver Anexo C, tabla 16).

5.2.4 Grado de esterificación

El análisis de varianza (ANOVA) mostró que el tipo de pectina no influyó significativamente en el grado de esterificación de las muestras evaluadas, debido a que el valor de p fue mayor que 0.05 (ver Anexo C, tabla 17).

5.2.5 Humedad

El análisis de varianza (ANOVA) mostró que existieron diferencias significativas en el contenido de humedad entre las pectinas evaluadas. Estos resultados indican que el tipo de pectina influyó significativamente en el contenido de humedad de las muestras, al ser el valor de p menor que 0.05 (ver Anexo C, tabla 18).



La prueba de comparación múltiple de Tukey mostró que el tratamiento T13 presentó un contenido de humedad significativamente mayor que la pectina comercial. Por su parte, el tratamiento T4 ocupó una posición intermedia, sin presentar diferencias significativas respecto a T13 ni a la pectina comercial, al compartir grupos estadísticos con ambas muestras (AB) (ver Anexo C, tabla 19).

5.2.6 Viscosidad

El análisis de varianza (ANOVA) mostró que existieron diferencias significativas en la viscosidad entre las pectinas evaluadas. Estos resultados indican que el tipo de pectina influyó significativamente en la viscosidad de las muestras, al ser el valor de p menor que 0.05 (ver Anexo C, tabla 20).

La prueba de comparación múltiple de Tukey mostró que la pectina comercial y la obtenida en el tratamiento T13 presentaron valores de viscosidad estadísticamente similares, al pertenecer al mismo grupo (A). En contraste, la pectina correspondiente al tratamiento T4 presentó una viscosidad significativamente menor, al ubicarse en un grupo estadístico diferente (B) (ver Anexo C, tabla 21).

5.3 Comparación de las propiedades funcionales de la pectina extraída y la pectina comercial

Las propiedades funcionales se evaluaron en las pectinas obtenidas de los tratamientos T13 y T4, correspondientes al mayor y menor rendimiento, respectivamente, y se compararon con una pectina comercial. Los resultados de la capacidad gelificante, capacidad emulsionante y capacidad espesante se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8 — Comparación de las propiedades funcionales de la pectina extraída y la pectina comercial

Propiedad funcional	T13	T4	Pectina comercial
Capacidad gelificante	Gel firme	Gel débil	Gel firme
Capacidad emulsionante (%)	76.33 ± 1.53^b	67.00 ± 1.73^c	91.00 ± 1.00^a
Capacidad espesante (mPa·s)	9.493 ± 0.369^a	5.760 ± 0.858^b	10.980 ± 1.960^a
NOTA			

Los valores cuantitativos corresponden al promedio $\pm$ desviación estándar de tres repeticiones experimentales ($n = 3$). T13 y T4 corresponden a los tratamientos de mayor y menor rendimiento de extracción, respectivamente

5.3.1 Capacidad gelificante

La capacidad gelificante mostró diferencias en el comportamiento de las pectinas evaluadas. La pectina comercial y el tratamiento T13 presentaron un gel firme, mientras que el tratamiento T4 formó un gel débil, evidenciando una menor capacidad para formar una estructura gelificada bajo las condiciones del ensayo.

5.3.2 Capacidad emulsionante

El análisis de varianza (ANOVA) mostró diferencias altamente significativas en la capacidad emulsionante entre las pectinas evaluadas. Estos resultados indican que el tipo de pectina influyó significativamente en la capacidad emulsionante de las muestras analizadas (ver Anexo D, tabla 22).

La prueba de comparación múltiple de Tukey mostró que la pectina comercial presentó la mayor capacidad emulsionante (91.00 %), diferenciándose significativamente de las pectinas obtenidas en los tratamientos T13 (76.33 %) y T4 (67.00 %). Asimismo, el tratamiento T13 presentó una capacidad emulsionante significativamente mayor que T4, evidenciando diferencias estadísticas entre las tres pectinas evaluada (ver Anexo D, tabla 23).

5.3.3 Capacidad espesante

El análisis de varianza (ANOVA) mostró diferencias significativas en la capacidad espesante entre las pectinas evaluadas. Estos resultados indican que el tipo de pectina influyó significativamente en la capacidad espesante de las muestras analizadas. (ver Anexo C, tabla 24).

La prueba de comparación múltiple de Tukey mostró que la pectina comercial y la obtenida en el tratamiento T13 presentaron capacidades espesantes estadísticamente similares, al pertenecer al mismo grupo (A). En contraste, la pectina correspondiente al tratamiento T4 presentó una capacidad espesante significativamente menor, al ubicarse en un grupo estadístico diferente (B) (ver Anexo C, tabla 25).



5.4 Caracterización estructural de la pectina

5.4.1 Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

La espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) fue utilizada para identificar los principales grupos funcionales presentes en las muestras de pectina extraída y pectina comercial. Esta técnica permitió evaluar las características estructurales del polisacárido mediante el análisis de las bandas de absorción observadas en los espectros infrarrojos obtenidos para cada muestra, tal como se muestra en las Figuras 23, 24 y 25.

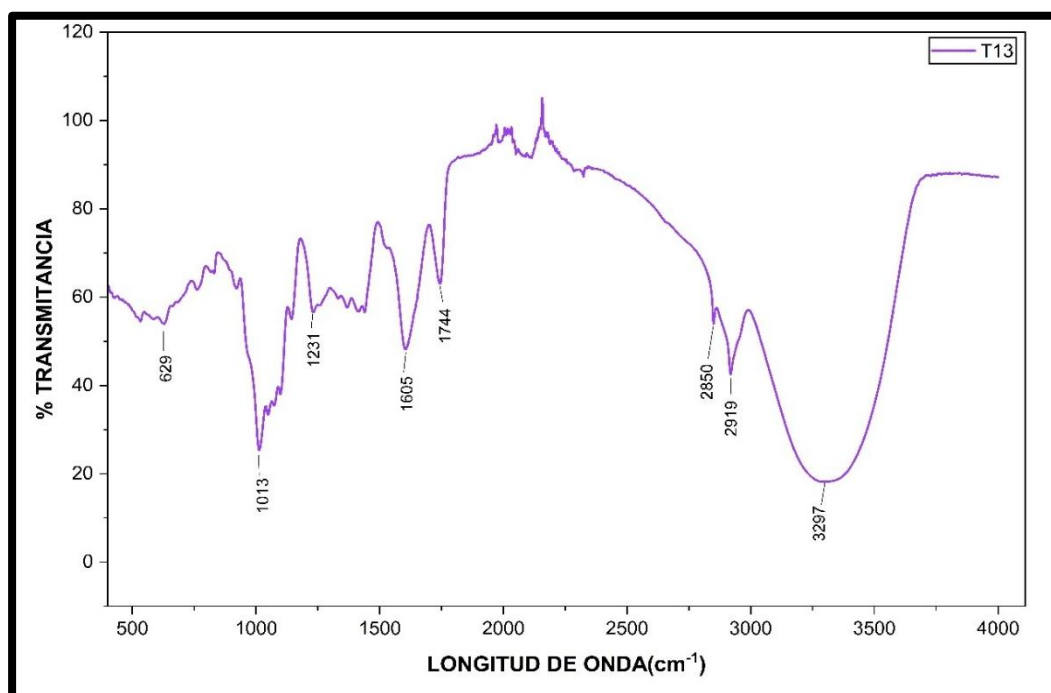


Figura 18 — Espectro FTIR de la pectina extraída correspondiente al tratamiento T13 (alto rendimiento)

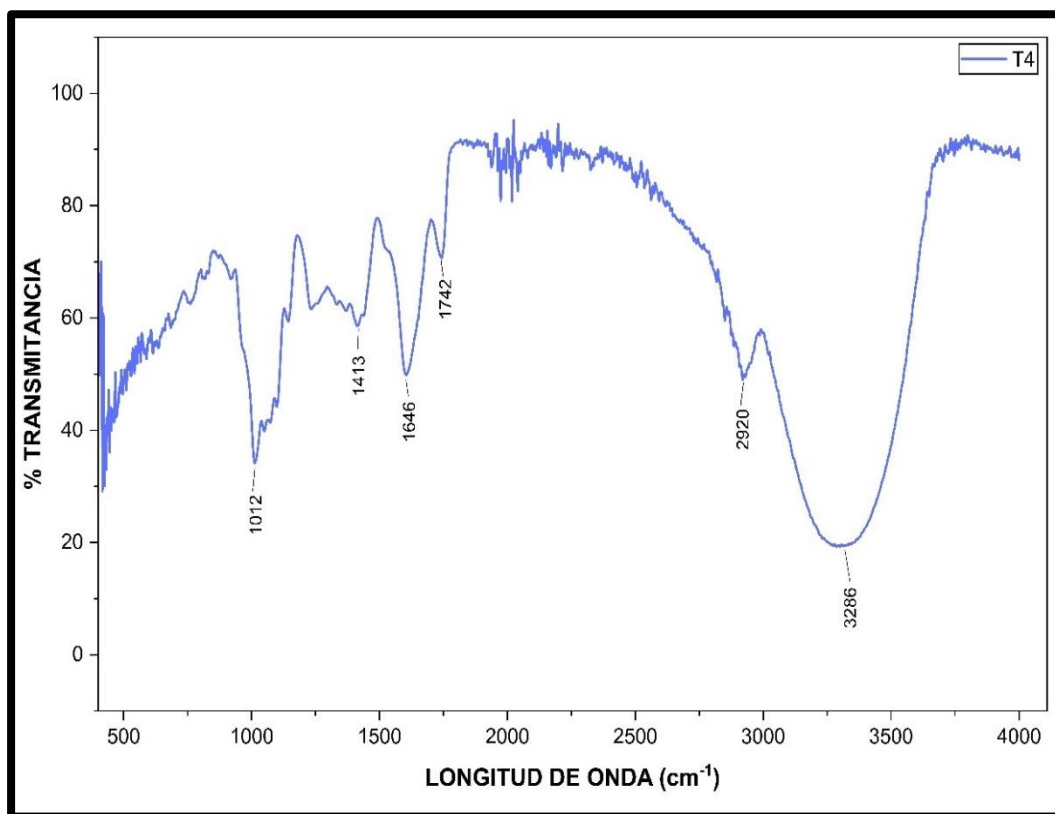


Figura 19 — Espectro FTIR de la pectina extraída correspondiente al tratamiento T4 (bajo rendimiento)

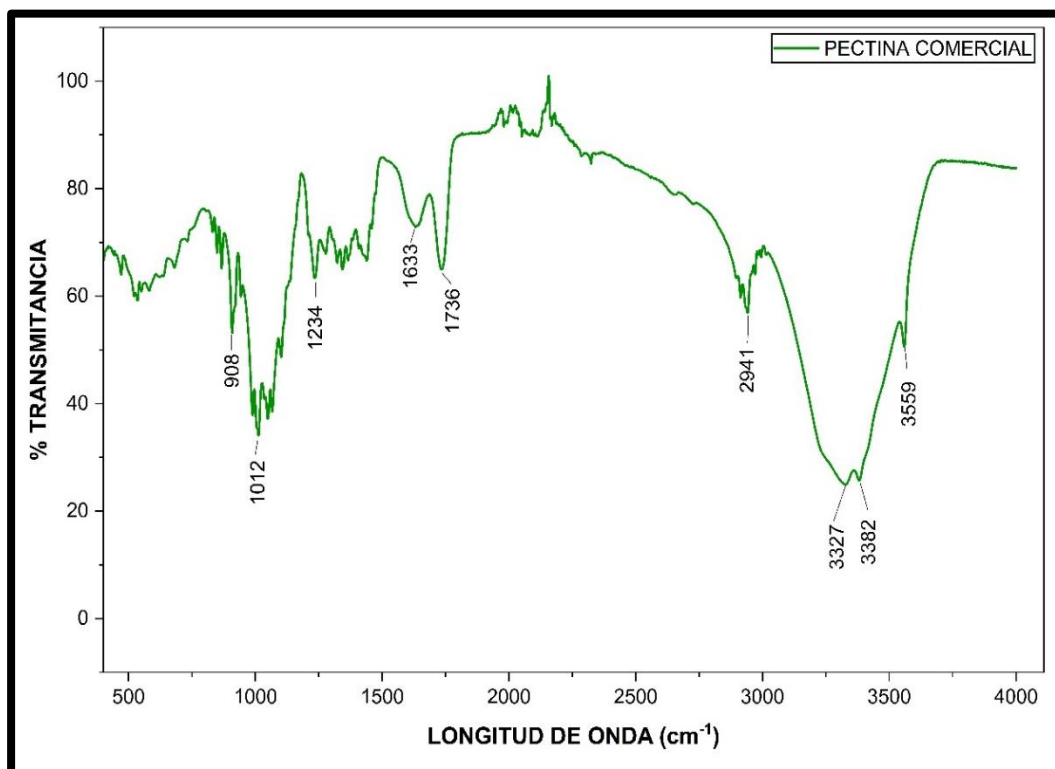


Figura 20 — Espectro FTIR de la pectina comercial

5.8.2. Descripción de bandas FTIR

Los espectros FTIR obtenidos para las muestras T13, T4 y la pectina comercial evidenciaron bandas características asociadas a la estructura química de la pectina. En todas las muestras se observaron bandas amplias entre 3286 y 3382 cm^{-1} , correspondientes a vibraciones de estiramiento del grupo hidroxilo (O–H), relacionadas con la naturaleza hidrofílica del polisacárido y la presencia de enlaces de hidrógeno.

Asimismo, se identificaron señales entre 2919 y 2941 cm^{-1} asociadas a vibraciones de estiramiento C–H de grupos metileno y metoxilo presentes en la cadena péctica. Las bandas registradas alrededor de 1736–1744 cm^{-1} fueron atribuidas a vibraciones del grupo carbonilo esterificado (C=O), relacionadas con los grupos metil-éster del ácido galacturónico. De igual manera, se observaron bandas entre 1605 y 1633 cm^{-1} correspondientes a vibraciones asimétricas del grupo carboxilato (COO^-), indicando la presencia de grupos carboxilo libres característicos de pectinas de bajo metoxilo. Finalmente, las señales registradas entre 1000 y 1234 cm^{-1} estuvieron asociadas a vibraciones C–O–C y enlaces glucosídicos propios de la estructura polisacáridica de la pectina. Tabla 17.

Tabla 9 — Principales bandas FTIR identificadas en las muestras de pectina

Número de onda (cm^{-1})	Grupo funcional	Asignación
3286 – 3382	O–H	Vibración de estiramiento de grupos hidroxilo asociados a polisacáridos y enlaces de hidrógeno
2919 – 2941	C–H	Vibración de estiramiento de grupos metileno y metoxilo
1736 – 1744	C=O	Vibración de grupos carbonilo esterificados correspondientes a grupos metil-éster del ácido

		galacturónico
1605 – 1633	COO ⁻	Vibración asimétrica de grupos carboxilato libres característicos de pectinas de bajo metoxilo
1400 – 1450	C–H / COO ⁻	Vibraciones de deformación de grupos metilo y carboxilo
1230 – 1245	C–O	Vibraciones de enlaces éster y grupos acetilo
1000 – 1140	C–O–C	Vibraciones de enlaces glucosídicos y estructura polisacáridica
830 – 950	β-glicosídicos	Región asociada a enlaces glucosídicos del homogalacturonano

En términos generales, el espectro correspondiente al tratamiento T13 presentó mayor similitud con la pectina comercial en comparación con el tratamiento T4, evidenciando una mejor conservación de los grupos funcionales característicos de la estructura péctica. La Tabla 16 presenta las principales bandas FTIR identificadas en las muestras evaluadas. Las señales observadas estuvieron asociadas a grupos funcionales característicos de la estructura química de la pectina, incluyendo grupos hidroxilo, carbonilo esterificado, carboxilato y enlaces glucosídicos propios de polisacáridos pécticos.

5.3 Contrastación de hipótesis

5.3.1 Hipótesis general

Las condiciones de extracción influyen en las propiedades fisicoquímicas y funcionales de la pectina obtenida a partir de la cáscara de chirimoya (*Annona cherimola*).

- **H₀:** Las condiciones de extracción no influyen en las propiedades fisicoquímicas y funcionales de la pectina obtenida a partir de la cáscara de chirimoya.



- **H₁:** Las condiciones de extracción influyen en las propiedades fisicoquímicas y funcionales de la pectina obtenida a partir de la cáscara de chirimoya.
- **Decisión estadística:** $p\text{-valor} < 0.05$ (ANOVA factorial)
- **Conclusión:** Los resultados permiten aceptar la hipótesis alternativa (H₁), evidenciándose variaciones en las propiedades fisicoquímicas y funcionales de las pectinas obtenidas bajo diferentes condiciones de extracción. El tratamiento T13 presentó mejores características que T4, mientras que el ANOVA factorial confirmó una influencia significativa de las condiciones experimentales sobre el rendimiento de pectina ($p = 0.003 < 0.05$).

5.3.2 Hipótesis específica

5.3.2.1 Hipótesis específica del rendimiento

Las condiciones de extracción, considerando la temperatura, el pH, el tiempo y la relación extracto-etanol (v/v), influyen significativamente en el rendimiento de pectina obtenida a partir de la cáscara de chirimoya (*Annona cherimola*).

- **H₀:** Las condiciones de extracción no influyen significativamente en el rendimiento de pectina obtenida a partir de la cáscara de chirimoya.
- **H₁:** Las condiciones de extracción influyen significativamente en el rendimiento de pectina obtenida a partir de la cáscara de chirimoya.
- **Conclusión:** Se rechaza la hipótesis nula (H₀) y se acepta la hipótesis alternativa (H₁), concluyéndose que las condiciones de extracción influyen significativamente en el rendimiento de pectina. La prueba de Tukey permitió identificar al tratamiento T13 como el de mayor rendimiento (1.518 %), bajo las condiciones de 80 °C, pH 2.5, 1 h de extracción y una relación extracto-etanol de 1:7 (v/v); mientras que el tratamiento T4 presentó el menor rendimiento (0.350 %).



5.3.2.2 Hipótesis específica relacionada con el análisis de las propiedades fisicoquímicas

Las pectinas obtenidas de la cáscara de chirimoya (*Annona cherimola*) con mayor y menor rendimiento y la pectina comercial presentan diferencias en sus propiedades fisicoquímicas.

- **H₀:** Las pectinas obtenidas de la cáscara de chirimoya con mayor y menor rendimiento y la pectina comercial no presentan diferencias significativas en sus propiedades fisicoquímicas.
- **H₁:** Las pectinas obtenidas de la cáscara de chirimoya con mayor y menor rendimiento y la pectina comercial presentan diferencias significativas en sus propiedades fisicoquímicas.
- **Decisión estadística:** Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA) y la prueba de comparación múltiple de Tukey ($\alpha = 0.05$) para cada una de las propiedades fisicoquímicas evaluadas.
- **Conclusión:** Los resultados del ANOVA y de la prueba de comparación múltiple de Tukey evidenciaron diferencias significativas en la acidez titulable, el contenido de humedad y la viscosidad ($p < 0.05$), mientras que el pH, el contenido de metoxilos y el grado de esterificación no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$). En conjunto, estos resultados indican que las pectinas obtenidas en los tratamientos T13 y T4 y la pectina comercial presentan diferencias en algunas de sus propiedades fisicoquímicas; por tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1).



5.3.2.3 Hipótesis específica sobre la caracterización de las propiedades funcionales

Las pectinas obtenidas de la cáscara de chirimoya (*Annona cherimola*) con mayor y menor rendimiento y la pectina comercial presentan diferencias en sus propiedades funcionales.

- **H₀:** Las pectinas obtenidas de la cáscara de chirimoya con mayor y menor rendimiento y la pectina comercial no presentan diferencias significativas en sus propiedades funcionales.
- **H₁:** Las pectinas obtenidas de la cáscara de chirimoya con mayor y menor rendimiento y la pectina comercial presentan diferencias significativas en sus propiedades funcionales.
- **Decisión estadística:** Las propiedades funcionales cuantitativas (capacidad emulsionante y capacidad espesante) fueron evaluadas mediante un análisis de varianza (ANOVA) bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA) y la prueba de comparación múltiple de Tukey ($\alpha = 0.05$). La capacidad gelificante fue evaluada de forma descriptiva.
- **Conclusión:** Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) y de la prueba de comparación múltiple de Tukey evidenciaron diferencias significativas en la capacidad emulsionante ($p < 0.001$) y en la capacidad espesante ($p = 0.006$) entre las pectinas evaluadas. Asimismo, la evaluación descriptiva de la capacidad gelificante mostró un gel firme para la pectina comercial y el tratamiento T13, mientras que el tratamiento T4 presentó un gel débil. En conjunto, estos resultados evidencian diferencias en las propiedades funcionales de las pectinas obtenidas en los tratamientos T13 y T4 y de la pectina comercial; por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1).

5.4 Discusión

5.4.1 Rendimiento

El rendimiento de pectina alcanzó un valor máximo de 1.518 ± 0.926 % el tratamiento T13 (80 °C, pH 2.5, 1 h y relación extracto-etanol 1:7, v/v), mientras que T4 presentó el menor rendimiento (0.350 ± 0.150 %). El ANOVA del arreglo factorial 2^4 evidenció un efecto significativo del modelo sobre el rendimiento ($p = 0.003$). Asimismo, la prueba de Tukey ubicó a T13 en el grupo A, aunque sin diferencias significativas respecto a los tratamientos del grupo AB. Entre los factores evaluados, el pH, tiempo de extracción y la relación extracto-etanol presentaron efectos significativos, mientras que la temperatura no mostró un efecto individual significativo.

El mayor rendimiento de T13 puede atribuirse a la combinación experimentales, que favoreció la solubilización y recuperación de las sustancias pécticas presentes en la pared celular. Este comportamiento concuerda con diversos autores, quienes señalan que el rendimiento depende de las condiciones de extracción, particularmente del pH y la temperatura, debido a su influencia en la conversión de la protopectina insoluble en sustancias pécticas solubles (May, 1990; Voragen et al., 2009; Fishman et al., 2007; Yapo et al., 2007). Asimismo, se ha reportado que medios ácidos, generalmente entre pH 1.5 y 3.0, y temperaturas cercanas a 80 °C favorecen la recuperación de pectina (Torres-Mendoza et al., 2023; Escobedo, 2013; García-García et al., 2023). Sin embargo, en el presente estudio, el efecto de la temperatura estuvo condicionado por su interacción con otros factores, como lo demuestra la interacción significativa temperatura $\times$ relación extracto-etanol ($p = 0.009$).

Nguyen et al. (2022) reportaron rendimientos de hasta 17.61 % en cáscara de fruta del dragón, mientras que James et al. (2025) obtuvieron un rendimiento máximo de 21.5 % en cáscara de mango. Estos valores fueron superiores al máximo obtenido en la presente investigación (1.518 %). Sin embargo, la comparación debe realizarse con cautela, debido a las diferencias en la materia prima, las condiciones de extracción y la base empleada para expresar el rendimiento. En el presente estudio se utilizó cáscara fresca de chirimoya, sin secado previo, con la finalidad de evitar posibles modificaciones del material durante esta operación.



Las diferencias entre estudios pueden explicarse por las características propias de la materia prima, como el contenido inicial de sustancias pécticas y la estructura de la pared celular, así como por las condiciones de extracción y recuperación utilizadas. Además, condiciones excesivamente severas pueden favorecer la degradación de las cadenas pécticas y disminuir la recuperación del biopolímero, lo que resalta la importancia de controlar la combinación de las variables del proceso (Belkheiri et al., 2021).

En conjunto, los resultados muestran que el rendimiento de pectina estuvo condicionado tanto por las características de la materia prima como por las condiciones del proceso. La combinación experimental aplicada en el tratamiento T13 favoreció la mayor recuperación de pectina a partir de la cáscara fresca de chirimoya, evidenciando el potencial de este residuo como materia prima alternativa para la obtención de pectina mediante extracción ácida.

5.4.2 Propiedades fisicoquímicas de la pectina

Las propiedades fisicoquímicas de las pectinas evaluadas fueron analizadas mediante un Diseño Completamente al Azar (DCA). El análisis estadístico evidenció diferencias significativas entre las muestras para la acidez titulable, el contenido de humedad y la viscosidad, mientras que el pH, el contenido de metoxilos y el grado de esterificación no presentaron diferencias significativas. Estos resultados indican que las condiciones de extracción influyeron de manera diferenciada sobre las propiedades fisicoquímicas de la pectina obtenida a partir de la cáscara de chirimoya.

La Tabla 7 muestra diferencias en las propiedades fisicoquímicas de las pectinas evaluadas. Los valores de pH de T13 (3.223 ± 0.238) y T4 (4.023 ± 0.025) confirmaron el carácter ácido de las pectinas extraídas, asociado a la presencia de grupos carboxilo en los residuos de ácido galacturónico (Ranganna, 1986). Estos resultados fueron similares a los reportados por Domínguez y Mendoza (2024) en pectina obtenida de cáscara de lima dulce. El análisis de varianza indicó que el pH no presentó diferencias significativas entre las pectinas evaluadas ($p > 0.05$), lo que evidencia que las condiciones de extracción no modificaron de manera importante esta propiedad. Por su parte, la pectina comercial presentó mayor acidez titulable (19.335 ± 1.097 %) que T13 y T4. Esta propiedad sí presentó



diferencias significativas, comportamiento que podría relacionarse con variaciones en la proporción de grupos carboxilo libres y en las características estructurales de las muestras (Owens et al., 1952).

Respecto al contenido de metoxilos, T13 y T4 presentaron valores de $1.147 \pm 0.403 \%$ y $0.837 \pm 0.528 \%$, respectivamente, mientras que la pectina comercial registró $0.620 \pm 0.310 \%$, evidenciando un bajo contenido de grupos metoxilo en las tres muestras. Estos valores fueron inferiores a los reportados por Flores y Mozombite (2023) y por Domínguez y Mendoza (2024), diferencias que podrían atribuirse a la fuente vegetal y a las condiciones de extracción empleadas. El análisis estadístico mostró que tanto el contenido de metoxilos como el grado de esterificación no presentaron diferencias significativas. Todas las muestras presentaron grados de esterificación inferiores al 50 %, clasificándose como pectinas de bajo metoxilo, resultado que coincide con lo reportado por Voragen et al. (2009) y Coral y Marín (2022).

En relación con la humedad, la pectina comercial presentó el menor valor ($10.983 \pm 0.281 \%$), seguida de T4 ($11.940 \pm 0.633 \%$) y T13 ($12.813 \pm 0.907 \%$), y esto estuvo de acuerdo con resultados citados en la literatura científica. Según Ranganna (1986), las pectinas comerciales suelen presentar contenidos inferiores al 12 %. El análisis de varianza mostró diferencias significativas en el contenido de humedad, siendo T13 la muestra con mayor contenido de humedad.

Respecto a la viscosidad, la pectina comercial presentó el mayor valor ($10.980 \pm 1.960 \text{ mPa}\cdot\text{s}$), seguida de T13 ($9.493 \pm 0.369 \text{ mPa}\cdot\text{s}$) y T4 ($5.760 \pm 0.858 \text{ mPa}\cdot\text{s}$). Asimismo, la viscosidad presentó diferencias significativas, observándose que T13 mostró un comportamiento estadísticamente similar al de la pectina comercial, lo que evidencia que las condiciones de extracción favorecieron la obtención de una pectina con propiedades reológicas comparables. Estos resultados coinciden con lo señalado por Wan-Ling et al. (2022) y con el intervalo de 1.77 a 12.57 mPa·s, reportado por Cruz (2023) para pectinas obtenidas de cáscara de cacao.

Aunque el rendimiento de extracción fue inferior al reportado para otras fuentes vegetales, la pectina obtenida de la cáscara de chirimoya, especialmente la



correspondiente al tratamiento T13, presentó propiedades fisicoquímicas, funcionales y estructurales comparables a las de la pectina comercial. Estos resultados sugieren que este residuo agroindustrial posee potencial para la obtención de pectina con aplicaciones en la industria alimentaria, aunque la optimización del proceso de extracción permitiría incrementar su rendimiento.

5.5.3 Propiedades funcionales de la pectina

Las propiedades funcionales también fueron evaluadas mediante un Diseño Completamente al Azar (DCA). El análisis estadístico mostró diferencias significativas en la capacidad emulsionante y la capacidad espesante entre las pectinas evaluadas, mientras que la capacidad gelificante fue analizada de forma descriptiva debido a su naturaleza cualitativa. Estos resultados evidencian que las condiciones de extracción influyeron en el comportamiento funcional de las pectinas, observándose un desempeño más favorable en el tratamiento T13, cuyas propiedades fueron más próximas a las de la pectina comercial.

La capacidad gelificante mostró diferencias entre las pectinas evaluadas. La pectina obtenida en el tratamiento T13 presentó un gel firme, similar al observado en la pectina comercial, mientras que T4 formó un gel débil. Este comportamiento podría estar relacionado con las características estructurales de las pectinas, particularmente con el bajo grado de esterificación y la disponibilidad de grupos carboxilo no esterificados, los cuales favorecen la formación de una red tridimensional en presencia de iones calcio mediante el modelo de “caja de huevo” (Voragen et al., 2009). Asimismo, Sharma et al. (2021) indican que las pectinas de bajo metoxilo pueden formar geles en sistemas con bajas, concentraciones de azúcar característica de interés para diversas aplicaciones alimentarias. Estos resultados concuerdan con Bonilla et al. (2024) y con Coral y Marín (2022), quienes reportaron una adecuada capacidad gelificante en pectinas de bajo metoxilo obtenidas a partir de residuos frutales de cáscara de pitahaya amarilla y cáscara de piña.

El análisis estadístico mostró diferencias significativas en la capacidad emulsionante y la capacidad espesante entre las pectinas evaluadas ($p < 0.05$). La pectina comercial presentó la mayor capacidad emulsionante ($91.00 \pm 1.00 \%$), seguida por T13 ($76.33 \pm 1.53 \%$), y T4 ($67.00 \pm 1.73 \%$), mientras que la



capacidad espesante de T13 (9.493 ± 0.369 mPa·s) fue estadísticamente similar a la de la pectina comercial (10.980 ± 1.960 mPa·s) y superior a la de T4 (5.760 ± 0.858 mPa·s). Estas diferencias podrían atribuirse a la composición química y a las características estructurales de las pectinas, las cuales influyen en la estabilización de emulsiones y en el incremento de la viscosidad del medio (Nadar, Arora y Shastri, 2022; Wan-Ling et al., 2022). Asimismo, los valores de capacidad espesante obtenidos se encontraron dentro del intervalo reportado por Cruz (2023) para pectinas extraídas de cáscara de cacao. En conjunto, los resultados evidencian que la pectina obtenida en el tratamiento T13 presentó propiedades funcionales comparables a las de la pectina comercial, lo que resalta su potencial para su aplicación como agente gelificante, espesante y estabilizante en productos alimentarios.

5.4.3 Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

La caracterización mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) permitió identificar bandas características de los polisacáridos pécticos en las muestras evaluadas. Las señales amplias entre 3286 y 3382 cm^{-1} se atribuyeron al estiramiento de los grupos hidroxilo (O–H), asociados con los enlaces de hidrógeno y el carácter hidrofílico de la pectina, en concordancia con lo reportado por Nadar, Arora y Shastri (2022). Asimismo, las bandas entre 2919 y 2941 cm^{-1} correspondieron al estiramiento de enlaces C–H de grupos metileno y metoxilo.

Las bandas localizadas entre 1736 y 1744 cm^{-1} se atribuyeron al estiramiento del grupo carbonilo (C=O) de los grupos carboxilo esterificados, región relacionada con la presencia de grupos metil-éster y el grado de esterificación de la pectina (Voragen et al., 2009). La presencia de estas señales fue coherente con los bajos contenidos de metoxilos y grados de esterificación inferiores al 50 % obtenidos experimentalmente, confirmando la clasificación de las muestras como pectinas de bajo metoxilo.

Las bandas registradas entre 1605 y 1633 cm^{-1} se asociaron con las vibraciones asimétricas de los grupos carboxilato (COO^-), evidenciando la presencia de grupos carboxilo no esterificados, característica propia de las pectinas de bajo metoxilo (Sharma et al., 2021). Estos resultados coinciden con Coral y Marín



(2022), quienes reportaron bandas similares en pectinas obtenidas de cáscara de piña. Asimismo, las señales entre 1000 y 1234 cm^{-1} correspondieron a vibraciones de los enlaces C–O, C–O–C y enlaces glucosídicos, región conocida como la huella espectral de los carbohidratos, característica de los polisacáridos pécticos (Mantilla et al., 2021).

En conjunto, los espectros FTIR de T13, T4 y la pectina comercial mostraron las principales bandas características de la pectina, confirmando la presencia de los grupos funcionales propios de este polisacárido. No obstante, el tratamiento T13 presentó un perfil espectral más similar al de la pectina comercial que T4, resultado que coincide con sus mejores propiedades fisicoquímicas y funcionales, especialmente en la viscosidad y en las capacidades gelificante, emulsionante y espesante.



CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Se extrajo pectina de la cáscara de chirimoya (*Annona cherimola*) mediante hidrólisis ácida bajo diferentes factores de temperatura, pH, tiempo y relación extracto-etanol (v/v). La pectina obtenida presentó características de pectina de bajo metoxilo y propiedades fisicoquímicas y funcionales que evidencian su potencial para aplicaciones en la industria alimentaria.
- Se determinó que el tratamiento T13 (80 °C, pH 2.5, tiempo de extracción de 1 h y relación extracto-etanol 1:7 (v/v)) presentó el mayor rendimiento de extracción (1.518 %), mientras que el tratamiento T4 (60 °C, pH 1.5, tiempo de extracción 2 h y relación extracto-etanol 1:13(v/v)) registró el menor rendimiento (0.350 %). El análisis factorial mostró que el pH, el tiempo de extracción y la relación extracto-etanol influyeron significativamente en el rendimiento de la pectina.
- Se determinó que las pectinas obtenidas en los tratamientos de mayor y menor rendimiento presentaron características de pectinas de bajo metoxilo, con grados de esterificación inferiores al 50 %. El análisis estadístico evidenció diferencias significativas en la acidez titulable, el contenido de humedad y la viscosidad, mientras que el pH, el contenido de metoxilos y el grado de esterificación no presentaron diferencias significativas entre las pectinas evaluadas.
- La comparación entre las pectinas obtenidas y la pectina comercial evidenció que la pectina correspondiente al tratamiento T13 presentó mayor similitud en sus propiedades fisicoquímicas y funcionales. Asimismo, la caracterización mediante espectroscopía FTIR muestra que la estructura de la pectina obtenida T3 es comparable a la de la pectina comercial.



6.2 Recomendaciones

- Evaluar métodos de extracción alternativos, como extracción asistida por ultrasonido o microondas, con la finalidad de mejorar el rendimiento y las propiedades fisicoquímicas y funcionales de la pectina obtenida a partir de la cáscara de chirimoya.
- Investigar la aplicación de la pectina obtenida en productos alimentarios como mermeladas, bebidas, recubrimientos comestibles y productos reducidos en azúcar, a fin de evaluar su comportamiento funcional y estabilidad en sistemas alimentarios reales.
- Promover el aprovechamiento de residuos de chirimoya en la región Apurímac mediante programas de innovación, investigación y transferencia tecnológica orientados al fortalecimiento de la economía circular y la sostenibilidad agroindustrial.
- Continuar investigaciones relacionadas con técnicas avanzadas de caracterización, como microscopía electrónica de barrido (SEM), análisis térmico y resonancia magnética nuclear (RMN), con la finalidad de ampliar el conocimiento sobre la estructura, morfología y funcionalidad de la pectina extraída.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGUERA, M.T., BLANCO, A., LOSADA, J.L. y SÁNCHEZ, P., 2020. Integración de elementos cualitativos y cuantitativos en metodología observacional. *Ámbitos. Revista Internacional de Comunicación*, no. 49, ISSN 1988-5733. DOI 10.12795/Ambitos.2020.i49.04.

AOAC INTERNATIONAL, 2019. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 21. ed. Gaithersburg: AOAC International.

AURIA, D., 2024. *Manejo agronómico del cultivo de chirimoya (Annona cherimola Mill) en el Ecuador* [en línea]. Tesis de grado. S.l.: BABAHOYO: UTB, 2024. [consulta: 14 enero 2025]. Disponible en: <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/16015>.

BELKHEIRI, A., FOROUHAR, A., URSU, A.V., DUBESSAY, P., PIERRE, G., DELATTRE, C., DJELVEH, G., ABDELKAFI, S., HAMDAMI, N. y MICHAUD, P., 2021. Extraction, Characterization, and Applications of Pectins from Plant By-Products. *Applied Sciences*, vol. 11, no. 14, ISSN 2076-3417. DOI 10.3390/app11146596.

BENASSI, L., ALESSANDRI, I. y VASSALINI, I., 2021. Assessing Green Methods for Pectin Extraction from Waste Orange Peels. *Molecules*, vol. 26, no. 6, ISSN 1420-3049. DOI 10.3390/molecules26061766.

BOAKYE, P.G., OKYERE, A.Y., BHARATHI, R., MURAI, T. y ANNOR, G.A., 2023. Propiedades fisicoquímicas y nutricionales de productos extruidos de cereales de la tribu *Triticeae* – Una revisión. *Food Chemistry Advances*, vol. 3, ISSN 2772-753X. DOI 10.1016/j.focha.2023.100379.

BONE-QUINTERO, J., LARA-CEVALLOS, V. CANCHINGRE-BONE, M. y MOSQUERA-QUINTERO, G., 2022. *Obtención de pectina y su uso en la producción de mermelada a partir del cacao (Theobroma cacao L.)*. En línea. Sapienza: International Journal of Interdisciplinary Studies, vol. 3, n.º 6, pp. 289–297. ISSN 2675-9780. Disponible en: <https://doi.org/10.51798/sijis.v3i6.556>. [consultado el 06/04/2026].



BONILLA LUCERO, G.M.B., LÓPEZ SAMPEDRO, S.E., ALMEIDA GUZMÁN, M.E. y BAÑO AYALA, D.J., 2024. Caracterización de pectina obtenida a partir de cáscaras de pitahaya (*Selenicereus megalanthus*). *Revista Recursos Naturales Producción y Sostenibilidad*, vol. 3, no. 1, ISSN 2953-6561. DOI 10.61236/renpys.v3i1.589.

CCORAHUA, L., 2021. Determinación químico bromatológica y fitoquímica de las semillas de *Annona Cherimola* (chirimoya) que crece en la Provincia de Huarochiri - Lima. [en línea], [consulta: 20 enero 2025]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.13028/3410>.

CHACHA, K., RAMOS, E. y SÁNCHEZ, S., 2021. El proyecto de investigación: la metodología de la investigación científica o jurídica. *Revista Conrado*, vol. 17, no. 81, ISSN 1990-8644.

CHANG, J., MAHESAN, D., ABDUL, N. binti y BAINI, R., 2022. Characterization and optimization of extracted pectin from unripe banana and mango fruit peels. *Materials Today: Proceedings*, vol. 65, no. 22, ISSN 2214-7853. DOI 10.1016/j.matpr.2022.03.580.

CHARCHALAC, L., 2008. Efecto del agente de extracción y tiempo de hidrólisis ácida en el rendimiento de pectina de cáscaras de maracuyá (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*). [en línea]. S.l.: Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2016. [consulta: 10 febrero 2025]. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/5401>.

CIEZA, S., 2020. Efecto de un recubrimiento comestible a base de goma detara (*caesalpinia spinosa*) y gel de sábila (*aloe barbadensis miller*), sobre las características fisicoquímicos y microbiológicas en cubos de mango (*mangifera indica* l) CV. Kent Almacenados en refrigeración. En: Accepted: 2021-02-08T17:42:04Z, *Repositorio Institucional - UCV* [en línea], [consulta: 19 julio 2024]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/52629>.

CORAL, V. y MARÍN, F., 2022. *Caracterización fisicoquímica de la cáscara de piña (Ananas comosus) variedad cayena lisa para la obtención de pectina* [en línea]. Tesis de maestría. Iquitos: Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. [consulta: 16 enero 2025]. Disponible en: <https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/8189>.



CRUZ, D., 2023. *Determinación de parámetros óptimos en la obtención de pectina a partir de la cáscara de cacao (Theobroma cacao L.) del clon CCN 51* [en línea]. Tesis de grado. Huánuco: Universidad Nacional Hermilio Valdizán. [consulta: 16 enero 2025]. Disponible en: <https://repositorio.unheval.edu.pe/item/4f6a582e-eb55-4ed4-a5b6-4bcba3a5e297>.

CUBERO, N., MONFERRER, A. y VILLALTA, J., 2002. *Aditivos alimentarios*. S.l.: Ediciones Mundi-Prensa. ISBN 978-84-8476-088-7.

CUI, J., ZHAO, C., FENG, L., HAN, Y., DU, H., XIAO, H. y ZHENG, J., 2021. Pectins from fruits: Relationships between extraction methods, structural characteristics, and functional properties. *Trends in Food Science & Technology*, vol. 110, ISSN 0924-2244. DOI 10.1016/j.tifs.2021.01.077.

DOMINGUEZ, D. y MENDOZA LUIS, S., 2024. *Optimización del pH, tiempo y temperatura para el rendimiento de pectina a partir de cáscara de lima dulce (Citrus limetta)* [en línea]. Tesis de maestría. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo. [consulta: 15 enero 2025]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14414/22989>.

EL FIHRY, N., EL MABROUK, K., EECKHOUT, M., SCHOLS, H.A., FILALI-ZEGZOUTI, Y. y HAJJAJ, H., 2022. Physicochemical and functional characterization of pectin extracted from Moroccan citrus peels. *LWT*, vol. 162, ISSN 0023-6438. DOI 10.1016/j.lwt.2022.113508.

ESCALANTE, J., OSORES, S.L., GABRIEL, C. y VILCHEZ, H., 2023. Automated System for the Classification of Cherimoyas by Neural Network. *2023 International Conference on Control, Robotics and Informatics (ICCRI)* [en línea]. S.l.: s.n., pp. 86-89. [consulta: 14 enero 2025]. DOI 10.1109/ICCRI58865.2023.00022. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10432659>.

ESCOBEDO, G.M., 2013. *Valorización de la cáscara de maracuyá (passiflora edulis f. flavicarpa deg.) como sub producto para obtener pectina usando como agente hidrolizante ácido cítrico*[en línea]. Tesis de grado.Ecuador: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo- Facultad de Ingeniería Escuela De Ingeniería Industrial. [consulta: 05 abril 2026]. Disponible en: <https://1library.co/document/yjox0vpz-valorizacion-cascara-maracuya-passiflora-flavicarpa-producto-hidrolizante-citrico.html>



FERRARO, A., SIGHANO, S., CAPUTO, R., COFONE, F., DESIDERIO, G. y GENNARI, O., 2024. *Fluorescence Profile of Calabrian Opuntia ficus-indica Cladodes Extract: a Promising Low-cost Material for Technological Applications* [en línea]. 3 junio 2024. S.l.: arXiv. [consulta: 19 agosto 2024]. arXiv:2406.01287. Disponible en: <http://arxiv.org/abs/2406.01287>.

FISHMAN, M. L.; COOKE, P. H.; CHAU, H. K.; COFFIN, D. R.; HOTCHKISS, A. T. *Global structures of high methoxyl pectin from solution and in gels*. *Biomacromolecules*, 2007, vol. 8, no. 2, p. 573–578. <https://doi.org/10.1021/bm0607729>

FLORES, D. y MOZOMBITE, F., 2023. *Extracción de pectina de dos variedades de cáscaras de sandía (Citrullus lanatus) costeña y regional* [en línea]. Tesis de maestría. Iquitos: Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. [consulta: 15 enero 2025]. Disponible en: <https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/9843>.

FREITAS, L. de, RAZ, A. y FABI, J., 2022. The Complex Biological Effects of Pectin: Galectin-3 Targeting as Potential Human Health Improvement? *Biomolecules*, vol. 12, no. 2, ISSN 2218-273X. DOI 10.3390/biom12020289.

GARCÍA-GARCÍA, P. M.; GALINDO-ALCÁNTARA, A.; RUIZ-ACOSTA, S. C. 2023. Métodos de extracción de pectina en frutos: revisión sistemática. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, Núm. Esp. III, e3728. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/era/v10nspe3/2007-901X-era-10-iii-e3728.pdf>

GARCÍA, N., CELY, N. y MÉNDEZ, P., 2024. Study of the Pectinase Production from Soursop and Cherimoya Pulp for Agro-Industrial Waste Reduction in Colombia. *Waste and Biomass Valorization*, vol. 15, no. 11, ISSN 1877-265X. DOI 10.1007/s12649-024-02604-2.

GARCÍA M., MÁRQUEZ, L., REYES, M., ORTIZ, I., SIERRA, M. y FERNÁNDEZ, E., 2020. Changes in nutrient contents in peel, pulp, and seed of cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) in relation to organic mulching on the Andalusian tropical coast (Spain). *Scientia Horticulturae*, vol. 263, ISSN 0304-4238. DOI 10.1016/j.scienta.2019.109120.



GARCÍA, A., FERNÁNDEZ, Á., ROJAS, A., CÁDIZ, M. DE LA L., VILLEGAS, M. DEL C., FERNÁNDEZ, P., ARRÁEZ, D., y SEGURA, A. 2022. Bioactive Ingredients of Custard Apple (*Annona cherimola* Mill.) by-Products as an Industrial Interest for the Development of Products with High Added Value. *Biology and Life Sciences Forum*, 18(1). <https://doi.org/10.3390/Foods2022-13002>

GAYOSO , G. y CHANG, L., 2017. *Annona cherimola* Mill. «chirimoya» (Annonaceae), una fruta utilizada como alimento en el Perú prehispánico. *Arnaldoa*, vol. 24, no. 2, ISSN 2413-3299. DOI 10.22497/arnaldoa.242.24213.

GENTILE, C., MANNINO, G., PALAZZOLO, E., GIANGUZZI, G., PERRONE, A., SERIO, G. y FARINA, V., 2020. Pomological, Sensorial, Nutritional and Nutraceutical Profile of Seven Cultivars of Chirimoya (*Annona cherimola* Mill). *Foods*, vol. 10, no. 1, ISSN 2304-8158. DOI 10.3390/foods10010035.

GONZÁLEZ, M., 2013. Chirimoya (*Annona cherimola* Miller), frutal tropical y sub-tropical de valores promisorios. *Cultivos Tropicales*, vol. 34, no. 3, ISSN 0258-5936.

HAAG, G., 2021. *Obtención de extractos y fracciones bioactivas de “chirimoya”, Annona cherimola* Mill. (Annonaceae) [en línea]. Tesis. S.l.: Universidad Nacional de La Plata. [consulta: 20 enero 2025]. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/117773>.

HELENO, A., 2023. *Análisis de la producción de parfait de chirimoya (Annona cherimola) como complemento al ingreso económico de las familias en la parroquia Caracol* [en línea]. Tesis de grado. S.l.: BABAHOYO: UTB, 2023. [consulta: 20 enero 2025]. Disponible en: <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/14923>.

HEREDIA, A., JIMENEZ, J., FERNANDEZ, J., GUILLEN, R., & RODRIGUEZ, R. (2003). *Fibra alimentaria*. España: Consejo superior de investigaciones científicas. ISBN: 9788400081089.

HUAMANI, F., 2023. Compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y ácidos orgánicos de tres variedades de tuna (*Opuntia ficus-indica*) de la Comunidad Mutca - Aymaraes. [en línea], [consulta: 16 diciembre 2024]. Disponible en: <http://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/1279>.



JAIME, F., 2022. Competitividad y la cadena productiva de la chirimoya (*Annona cherimola*) de la provincia de Huaura, Lima, Perú. [en línea], [consulta: 14 enero 2025]. Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/5627>.

JIA-YI, JIN-SONGIAO, L., JUN-RU, Q., WEN-XIN, J. y XIAO-QUAN, Y., 2021. Structural and physicochemical properties of pectin-rich dietary fiber prepared from citrus peel. *Food Hydrocolloids*, vol. 110, ISSN 0268-005X. DOI 10.1016/j.foodhyd.2020.106140.

JURADO, D., TULCÁN, Y. y GONZÁLEZ, A., 2023. Perspectivas de valorización de residuos de frutas a partir de sus características físicas: *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* [en línea], vol. 24, no. 1, [consulta: 14 enero 2025]. ISSN 2500-5308. DOI 10.21930/rcta.vol24_num1_art:3016. Disponible en: <https://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/3016>.

LI, T., ZHENG, J., NOUSIAS, O., YAN, Y., MEINHARDT, L.W., GOENAGA, R., ZHANG, D. y YIN, Y., 2024. The American Cherimoya Genome Reveals Insights into the Intra-Specific Divergence, the Evolution of Magnoliales, and a Putative Gene Cluster for Acetogenin Biosynthesis. *Plants*, vol. 13, no. 5, ISSN 2223-7747. DOI 10.3390/plants13050636.

MALDONADO, Y. y SALAZAR, S., 2010. Extracción de pectina mediante el método de hidrólisis ácida en frutos de maushan (*vasconcellea weberbaueri* (harms)v.m. Badillo) en dos índices de madurez provenientes del distrito de San Miguel de Soloco, región Amazonas. En: Accepted: 2016-10-10T21:49:22Z, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza [en línea], [consulta: 10 febrero 2025]. Disponible en: <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/959>.

MANNINO, G., GENTILE, C., PORCU, A., AGLIASSA, C., CARADONNA, F. y BERTEA, C.M., 2020. Chemical Profile and Biological Activity of Cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) and Atemoya (*Annona atemoya*) Leaves. *Molecules*, vol. 25, no. 11, ISSN 1420-3049. DOI 10.3390/molecules25112612.

MANTILLA, M., DURÁN, D. y SIERRA, R., 2021. Extraction of Pectin from Mango (*Mangifera Indica*) Peels. *European Biomass Conference and Exhibition*, vol. 1, no. 29, DOI 10.5071/29thEUBCE2021-3BV.10.2.



MATUTE, T., 2019. *Evaluación de la pectina extraída de la cáscara de la chirimoya (Annona cherimola), determinando su capacidad de modificador reológico* [en línea]. Tesis de grado. S.l.: s.n. [consulta: 14 enero 2025]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18451>.

MAY, D. *Industrial pectins: Sources, production and applications*. En línea. Carbohydrate Polymers, vol. 12 (enero de 1990), n.º 1, pp. 79–99. ISSN 0144-8617. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0144-8617\(90\)90105-2](https://doi.org/10.1016/0144-8617(90)90105-2). [consultado el 05/04/2026].

MINISTERIO DE DESARROLLO AGRARIO Y RIEGO, 2021. CHIRIMOYA. [en línea]. Lima, Perú: Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1828918/Dossier%20Chirimoya.pdf>.

MORALES, B., BAUTISTA, J. y VERGARA, C., 2020. Pollinating insects of cherimoya (*Annona cherimola* Miller) in La Molina, Lima, Peru. *Peruvian Journal of Agronomy*, vol. 4, no. 1, ISSN 2616-4477. DOI 10.21704/pja.v4i1.1451.

NADAR, C., ARORA, A. y SHASTRI, Y., 2022. Sustainability Challenges and Opportunities in Pectin Extraction from Fruit Waste. *ACS Engineering Au*, vol. 2, no. 2, DOI 10.1021/acsengineeringau.1c00025.

NAVARRO, B., 2021. Asistencia técnica a productores de Chirimoya (*Annona cherimola* Miller) para producción de patrones bajo condiciones de Costa Central - Huaura. En: Accepted: 2021-10-28T19:37:38Z [en línea], [consulta: 14 enero 2025]. Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4992>.

NGUYEN, K., MAI, H., TRAN, T. y NGUYEN, T., 2022. Evaluation of parameters affecting the process of extraction pectin from red flesh dragon fruit peel. *Materials Today: Proceedings*, vol. 51, no. 8, ISSN 2214-7853. DOI 10.1016/j.matpr.2021.12.165.

ORELLANA, J., HADIDI, M., BOUDECHICHE, M., ORTEGA, M., GONZALEZ, D., MORENO, A., KOWALCZEWSKI, P., BORDIGA, M. y MOUSAVI KHANEGAH, A., 2022. Extraction Optimization, Functional and Thermal Properties of Protein from Cherimoya Seed as an Unexploited By-Product. *Foods*, vol. 11, no. 22, ISSN 2304-8158. DOI 10.3390/foods11223694.



OROZCO, K. y VILLA, S., 2021. *Evaluación del proceso de obtención de una biopelícula a partir de pectina extraída de la pulpa de café arábica* [en línea]. Tesis de maestría. Bogota: Fundación Universitaria de América. [consulta: 16 enero 2025]. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/8689>.

OWENS, H., MCCREADY, R., SHEPHERD, T. y SHULTS, E., 1952. Methods used at Western Regional Research Laboratory for extraction and analysis of pectic materials [en línea]. S.l.: [Albany, CA]: Bureau of Agricultural and Industrial Chemistry, Agricultural Research Administration, U.S. Dept. of Agriculture. [consulta: 10 febrero 2025]. Disponible en: <http://archive.org/details/methodsusedatwes340owen>.

PADILLA, G. y MARÍN, E., 2022. Análisis fisicoquímico de néctares de tres frutales nativos de la amazonía peruana para evaluar propiedades termofísicas que influyen en el tratamiento térmico. [en línea], [consulta: 15 enero 2024]. Disponible en: <https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/8216>.

POPENOE, H., KING, S., LEÓN, J., SUMAR, KL, VIETMEYER, N. Y DAFFORN, M. 1989. Cultivos perdidos de los incas: plantas poco conocidas de los Andes con potencial para el cultivo mundial. *The National Academies Press*, Washington DC. California Avocado Society 1970-71 Yearbook 54: 133-139.

PICOT-ALLAIN, M., RAMASAWMY, B. y EMMAMBUX, M., 2022. Extraction, Characterisation, and Application of Pectin from Tropical and Sub-Tropical Fruits: A Review. *Food Reviews International*, vol. 38, no. 3, ISSN 8755-9129. DOI 10.1080/87559129.2020.1733008.

RAHMAN, M., KHAN, S., AHMED, M., JONY, M., DAS, P. y UDDIN, M., 2023. Extraction of pectin from Elephant Apple and Pomelo fruit peels: Valorization of fruit waste towards circular economy. *Food Chemistry Advances*, vol. 3, no. 1, ISSN 2772-753X. DOI 10.1016/j.focha.2023.100544.

RANGANNA, S., 1986. Handbook of analysis and quality control for fruit and vegetable products [en línea]. S.l.: New Delhi : Tata McGraw-Hill. [consulta: 10 febrero 2025]. ISBN 978-0-07-451851-9. Disponible en: <http://archive.org/details/handbookofanalys0000rang>.



ROJAS, A., RODRÍGUEZ, L., CÁDIZ, M., GARCÍA, A., FUENTES, E., VILLEGAS, M., PALOMO, I., ARRÁEZ, D. y SEGURA, A., 2022. Determination of the Bioactive Effect of Custard Apple By-Products by In Vitro Assays. *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 23, no. 16, ISSN 1422-0067. DOI 10.3390/ijms23169238.

ROJAS, A., RODRÍGUEZ, L., CÁDIZ-GURREA, M. DE LA L., GARCÍA-VILLEGAS, A., FUENTES, E., VILLEGAS-AGUILAR, M. DEL C., PALOMO, I., ARRÁEZ-ROMÁN, D., y SEGURA, A. 2022. Determination of the Bioactive Effect of Custard Apple By-Products by In Vitro Assays. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(16), 9238. <https://doi.org/10.3390/ijms23169238>

ROMAN-BENN, A., CONTADOR, C., LI, M., LAM, H., AH-HEN, K., ULLOA, P. y RAVANAL, M., 2023. Pectin: An overview of sources, extraction and applications in food products, biomedical, pharmaceutical and environmental issues. *Food Chemistry Advances*, vol. 2, no. 1, ISSN 2772-753X. DOI 10.1016/j.focha.2023.100192.

ROMERO, S. y PAIMA, H., 2024. *Caracterización y optimización del proceso de extracción de pectina a partir del fruto de anihuayo Plinia clausa Mc Vaugh.* [en línea]. Tesis de maestría. Iquitos: Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. [consulta: 15 enero 2025]. Disponible en: <https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/10571>.

RUBIANO, V., MONTAÑA, M. y DA SILVA, N., 2022. Pectinas: extracción, usos e importancia en la agroindustria. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 6, no. 5, ISSN 2707-2215. DOI 10.37811/cl_rcm.v6i5.3498.

RUIZ, C. y VALENZUELA, M., 2022. *Metodología de la investigación* [en línea]. S.l.: Fondo Editorial UNAT. [consulta: 10 septiembre 2024]. Disponible en: <https://fondoeditorial.unat.edu.pe/index.php/EdiUnat/catalog/book/4>.

SALAZAR, C. y HINCAPIÉ, G., 2023. Evaluation of sources and methods of pectin extraction from fruit and Vegetable wastes: A Systematic Literature Review (SLR). *Food Bioscience*, vol. 10, no. 51.

SANCHEZ, G., CASTRO, C., ALVAREZ, G., FLORES, J., BARRIGA, M., 2019. Compuestos fenólicos y actividad antioxidante de los extractos de la hoja de chirimoya



(Annona cherimola Mill). *Revista Colombiana de Química*, vol. 48, no. 2, ISSN 0120-2804. DOI 10.15446/rev.colomb.quim.v48n2.76029.

SENTHILKUMAR, T., PRABHAVATHI, S., ALAGESAN, A., PUNITHA, A., VIDHYA, D., SINGH, B. y MALATHI, G., 2024. Evaluation, Flowering Behavior Physico-chemical and Keeping Quality of Custard Apple: A Review. *Journal of Experimental Agriculture International*, vol. 46, no. 3, ISSN 2457-0591. DOI 10.9734/jeai/2024/v46i32329.

SHARMA, P., GAUTAM, K., PANDEY, A., GAUR, V., FAROOQUI, A. y YOUNIS, K., 2021. Pectin. *Biomass, Biofuels, Biochemicals*, vol. 1.

SHIVAMATHI, C., GUNASEELAN, S., SOOSAI, M., VIGNESH, N., VARALAKSHMI, P., KUMAR, R., KARTHIKUMAR, S., KUMAR, R., BASKAR, R., RIGBY, S., SYED, A., ELGORBAN, A. y GANESH, I., 2022. Process optimization and characterization of pectin derived from underexploited pineapple peel biowaste as a value-added product. *Food Hydrocolloids*, vol. 123, ISSN 0268-005X. DOI 10.1016/j.foodhyd.2021.107141.

TORRES-MENDOZA, K.; LARA-TAMBACO, R.; LEÓN-ARAUJO, M. Obtención y caracterización de la pectina extraída de la cáscara de pepino (*Cucumis sativus L.*, variedad híbrido Dasher II) y validarla como producto gelificante en compotas. En línea. *Ibero-American Journal of Engineering & Technology Studies*, 2023, vol. 3, n.º 1, pp. 205–223. ISSN 2764-6033. Disponible en: <https://doi.org/10.56183/iberotecs.v3i1.597>. [consulta: 05 abril 2026].

VILLAMIEL, M., 2022. La calidad de los alimentos según un enfoque multidisciplinar. [en línea], [consulta: 17 enero 2025]. ISSN 1139-9325. Disponible en: <https://digital.csic.es/handle/10261/307097>.

WANG, Y., LIU, J., CHEN, L., JIN, S., AN, C., CHEN, L., YANG, B., SCHOLS, H.A., DE VOS, P., BAI, W. y TIAN, L., 2023. Effects of thermal treatments on the extraction and *in vitro* fermentation patterns of pectins from pomelo (*Citrus grandis*). *Food Hydrocolloids*, vol. 141, ISSN 0268-005X. DOI 10.1016/j.foodhyd.2023.108755.



WAN-LING, L., JIN-SONG, L., JUN-RU, Q., WEN-XIN, J., y YANG XIAO-QUAN, 2022. Physicochemical characteristics and functional properties of high methoxyl pectin with different degree of esterification. *Food Chemistry*, vol. 375, ISSN 0308-8146. DOI 10.1016/j.foodchem.2021.131806.

VORAGEN, A.G.J.; COENEN, G.J.; VERHOEF, R.P. y SCHOLS, H.A., 2009. Pectin, a versatile polysaccharide present in plant cell walls. *Structural Chemistry*, vol. 20, no. 2, pp. 263–275. DOI: 10.1007/s11224-009-9442-z

YAPO, B. M., C. ROBERT, I. ETIENNE, B. WATHELET y M. PAQUOT. *Effect of extraction conditions on the yield, purity and surface properties of sugar beet pulp pectin extracts*. En línea. *Food Chemistry*, vol. 100 (enero de 2007), n.º 4, pp. 1356–1364. ISSN 0308-8146. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.12.012>. [consultado el 05/04/2026].

YU, Y., LU, P., YANG, Y., JI, H., ZHOU, H., CHEN, S., QIU, Y., y CHEN, H. 2024. Differences in physicochemical properties of pectin extracted from pomelo peel with different extraction techniques. *Scientific Reports*, 14(1), 9182. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59760-7>

ZHAO, Z., LIU, H., CHENG, X., y WANG, X. 2019. Effect of drying pretreatment methods on structure and properties of pectins extracted from Chinese quince fruit. *International Journal of Biological Macromolecules*, 137, 801-808. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.209>

ZHOU, X., LIU, L., LI, J., WANG, L. y SONG, X., 2022. Extraction and Characterization of Pectin from Jerusalem ArtiChoke Residue and Its Application in Blueberry Preservation. *Coatings*, vol. 12, no. 3, ISSN 2079-6412. DOI 10.3390/coatings12030385.

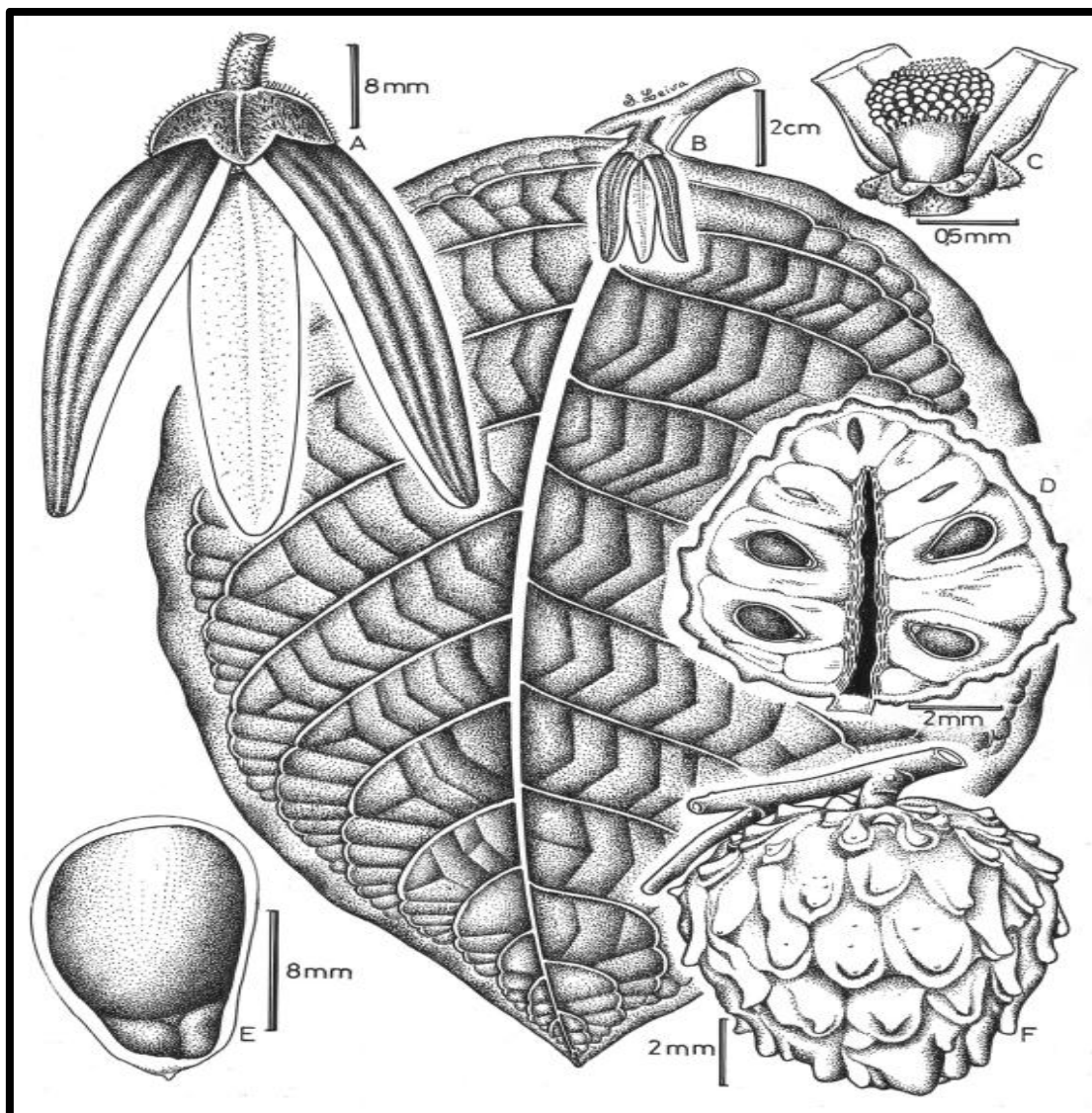


ANEXOS



Anexo A

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y BOTÁNICAS DE (*Annona Cherimola*)

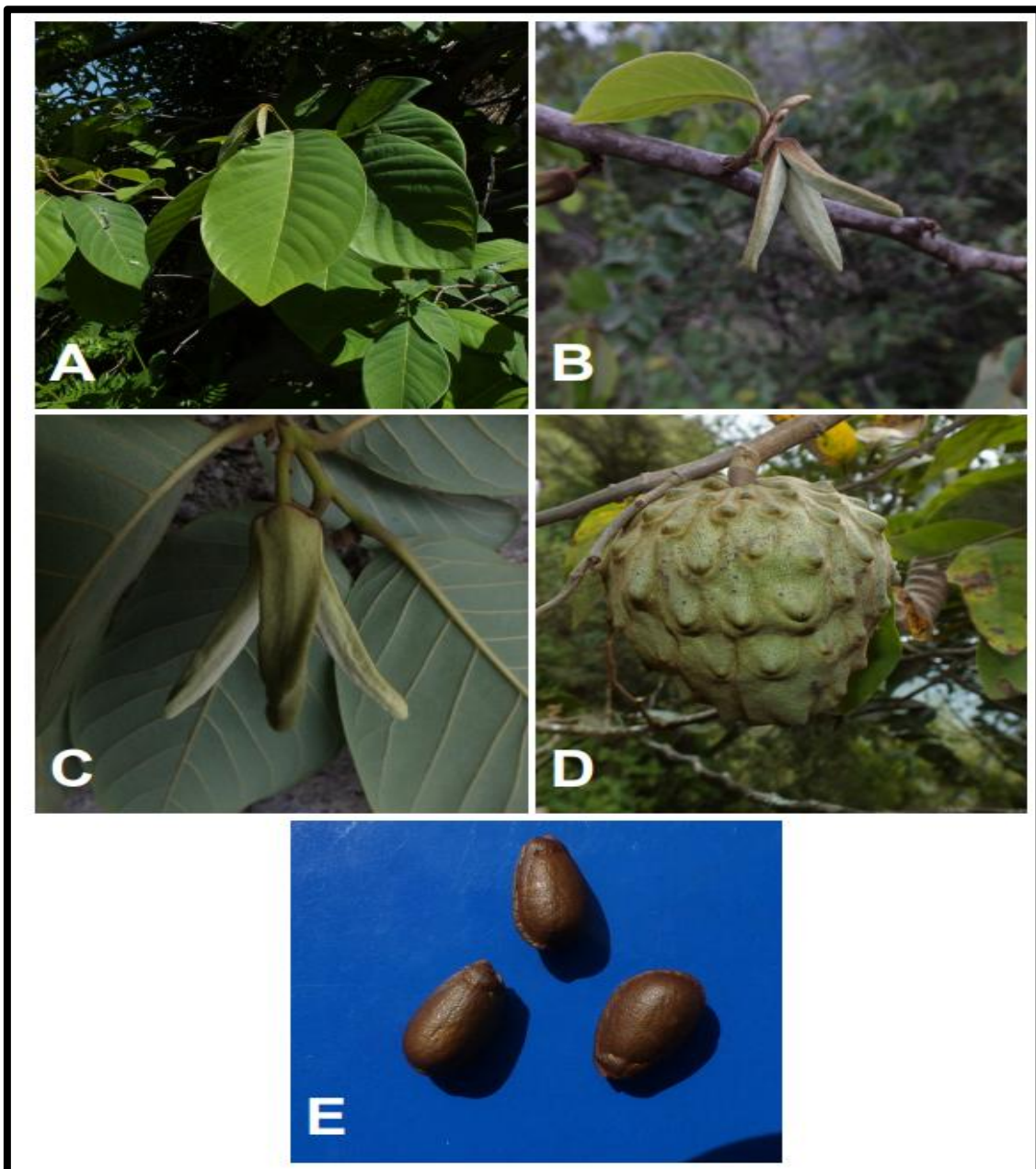


Clave

- A Flor en antesis
- B Rama florífera
- C Inflorescencia
- D Baya en sección longitudinal
- E Semillas
- F Baya

FUENTE: Gayoso y Chang, 2017.

Figura 21 — Gráfica de partes de Chirimoya



Clave

- A Flor en antésis
- B Rama florífera
- C Inflorescencia
- D Baya en sección longitudinal
- E Semillas; F. Baya

FUENTE: Gayoso y Chang, 2017.

Figura 22 — Estructuras vegetativas y reproductivas de (*Annona cherimola*)

Anexo B

RESULTADOS DEL RENDIMIENTO DE LA PECTINA EXTRAIDA DE LA CASCARA DE CHIRIMOYA

Tabla 10 — Datos experimentales para la determinación del rendimiento de la pectina extraída de cáscara de chirimoya

T	Obs.	Peso de placa Petri	Peso de la placa Petri + extracción después del secado	Peso de la muestra seca	Rendimiento
T1	R1	59.065	60.400	1.335	0.89
	R2	59.845	60.415	0.570	0.38
	R3	59.500	60.453	0.953	0.635
T2	R1	58.670	59.570	0.900	0.6
	R2	48.140	49.620	1.480	0.99
	R3	52.900	54.09	1.190	0.793
T3	R1	58.915	59.755	0.840	0.56
	R2	48.020	48.615	0.595	0.4
	R3	49.85	50.57	0.720	0.48
T4	R1	53.825	54.130	0.305	0.2
	R2	49.355	50.100	0.745	0.5
	R3	50.254	50.779	0.525	0.35
T5	R1	48.710	49.720	1.010	0.67
	R2	59.750	60.810	1.060	0.71
	R3	57.855	58.89	1.035	0.69
T6	R1	59.130	60.310	1.450	0.97
	R2	58.700	60.810	1.800	1.2
	R3	59.185	60.81	1.625	1.09
T7	R1	48.150	50.050	1.900	1.27
	R2	59.550	60.750	1.200	0.8
	R3	58.82	60.365	1.545	1.03
T8	R1	47.665	48.690	1.025	0.68
	R2	53.225	54.454	1.229	0.82
	R3	48.785	49.91	1.125	0.75

T9	R1	43.84	45.125	1.285	0.86
	R2	43.25	44.890	1.640	1.09
	R3	43.05	44.52	1.470	0.98
T10	R1	45.215	46.140	0.925	0.62
	R2	46.030	46.990	0.960	0.64
	R3	59.86	60.805	0.945	0.63
T11	R1	47.615	48.460	0.845	0.56
	R2	58.825	59.860	1.035	0.69
	R3	58.875	59.82	0.945	0.63
T12	R1	59.21	59.785	0.575	0.38
	R2	50.875	51.81	0.935	0.62
	R3	52.85	53.6	0.750	0.5
T13	R1	53.065	55.45	2.385	1.59
	R2	47.785	49.825	2.040	1.36
	R3	54.05	56.465	2.415	1.61
T14	R1	44.475	45.12	0.645	0.43
	R2	45.460	46.125	0.665	0.44
	R3	44.56	45.226	0.666	0.44
T15	R1	43.660	44.815	1.155	0.77
	R2	45.460	46.42	0.960	0.64
	R3	44.75	45.812	1.062	0.708
T16	R1	43.305	44.295	0.990	0.66
	R2	43.110	43.815	0.705	0.47
	R3	43.25	44.097	0.847	0.565

Tabla 11— Análisis de varianza del modelo lineal general

Fuente	GL	Suma de cuadrados ajustada (SC)	Cuadrado medio ajustado (CM)	Valor F	Valor p
Temperatura	1	0.00314	0.003136	0.04	0.848
pH	1	0.61246	0.612460	7.33	0.011
Tiempo	1	0.58786	0.587861	7.03	0.012
Relación extracto-etanol (v/v)	1	0.44622	0.446216	5.34	0.027
Interacciones de 2 términos	6	0.94288	0.157147	1.88	0.115
Temperatura x pH	1	0.12567	0.125665	1.50	0.229
Temperatura x Tiempo	1	0.05894	0.058940	0.71	0.407
Temperatura x Relación extracto-etanol (v/v)	1	0.64357	0.643570	7.70	0.009
pH x Tiempo	1	0.02823	0.028227	0.34	0.565
pH x Relación extracto-etanol (v/v)	1	0.08036	0.080360	0.96	0.334
Tiempo x Relación extracto-etanol (v/v)	1	0.00612	0.006120	0.07	0.788
Interacciones de 3 términos	4	1.13543	0.283857	3.40	0.020
Temperatura x pH x Tiempo	1	0.11980	0.119800	1.43	0.240
Temperatura x pH x Relación extracto-etanol (v/v)	1	0.13462	0.134620	1.61	0.214
Temperatura x Tiempo x Relación extracto-etanol (v/v)	1	0.86189	0.861888	10.31	0.003
pH x Tiempo x Relación extracto-etanol (v/v)	1	0.01912	0.019120	0.23	0.636
Interacciones de 4 términos	1	0.23745	0.237445	2.84	0.102
Temperatura x pH x Tiempo x Relación extracto-etanol (v/v)	1	0.23745	0.237445	2.84	0.102
Error	32	2.67428	0.083571		
Total	47	6.63971			
NOTA					
GL es el grado de libertad;					



MC es el cuadrado medio ajustado;
F es el estadístico de Fisher;
p es el nivel de significancia.

Tabla 12 — Comparación de medias del rendimiento de pectina mediante la prueba de Tukey

TRATAMIENTOS	N	Media	Agrupación	
T13	3	1.518	A	
T6	3	1.097	A	B
T7	3	1.033	A	B
T9	3	0.975	A	B
T2	3	0.793	A	B
T8	3	0.751	A	B
T15	3	0.708	A	B
T5	3	0.690	A	B
T1	3	0.625		B
T10	3	0.628		B
T11	3	0.627		B
T16	3	0.565		B
T12	3	0.503		B
T3	3	0.479		B
T14	3	0.437		B
T4	3	0.350		B

NOTA

Las medias que no comparten una misma letra son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

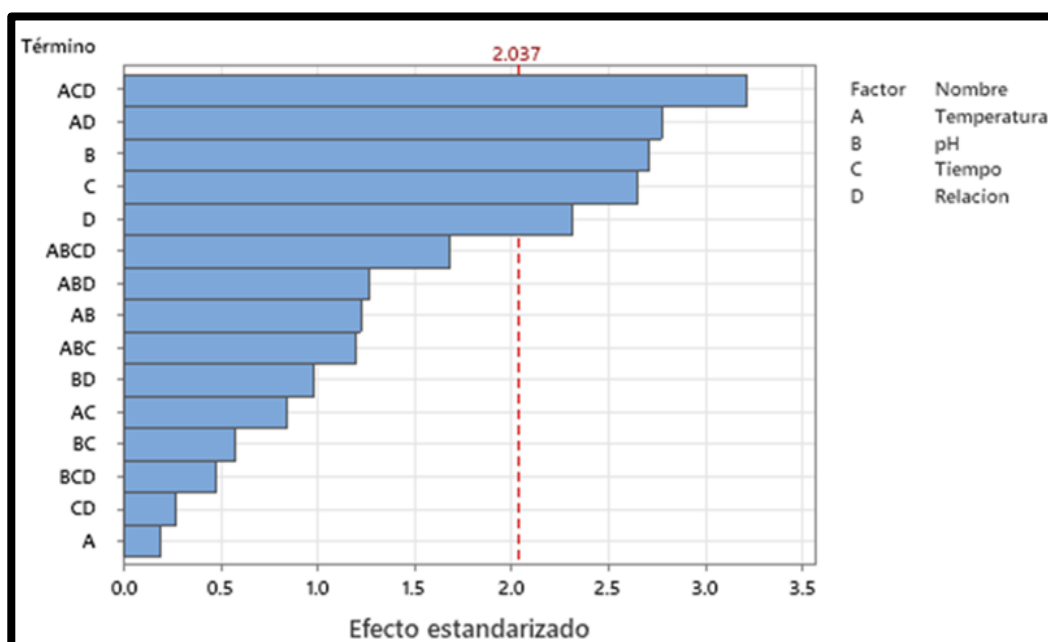


Figura 23 — Diagrama de Pareto de los efectos estandarizados del arreglo factorial 2^4 sobre el rendimiento de pectina

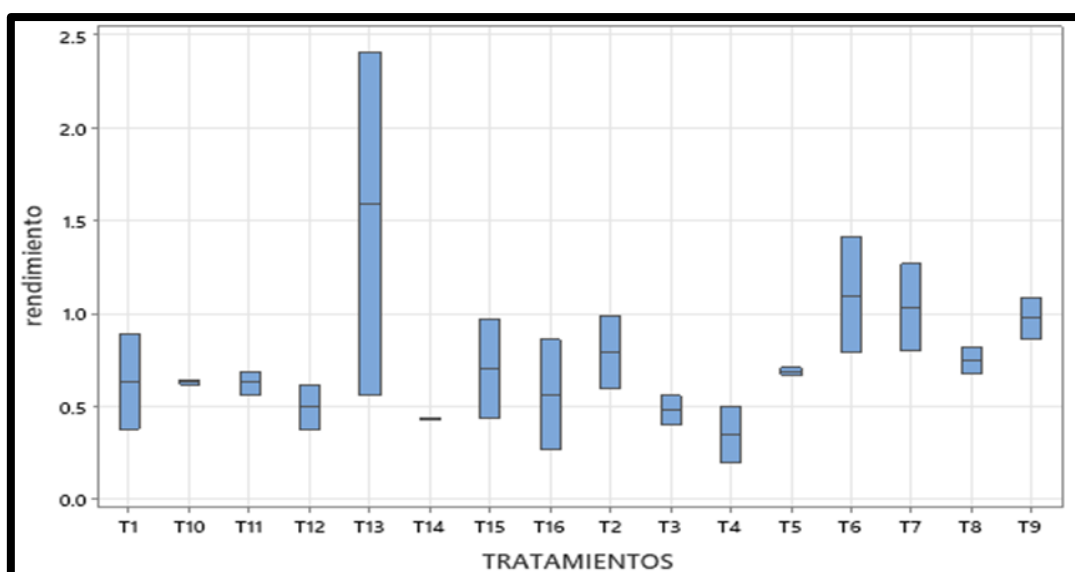


Figura 24 — Diagrama de cajas y bigotes del rendimiento de pectina según tratamientos

Anexo C

COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LA PECTINA OBTENIDA EN LOS TRATAMIENTOS T13 Y T4 Y DE LA PECTINA COMERCIAL

Tabla 13 — Análisis de varianza (ANOVA) del pH de la pectina extraída y la pectina comercial

Fuente		GL	SC Ajustada	CM Ajustada	F	P-valor
Tratamiento		2	0.9800	0.4900	4.06	0.077
Error		6	0.7250	0.1208		
Total		8	1.7050			
NOTA <i>GL</i> es los grados de libertad; <i>SC</i> es la suma de cuadrados; <i>CM</i> es el cuadrado medio; <i>F</i> es el estadístico de Fisher; <i>p</i> es el nivel de significancia.						

Tabla 14 — Análisis de varianza (ANOVA) de la acidez titulable de la pectina obtenida a partir de cáscara de chirimoya (*Annona cherimola*) y de la pectina comercial

Fuente	GL	SC Ajustada	CM Ajustada	F	p-valor
Tratamiento	2	134.386	67.193	62.52	0.000
Error	6	6.448	1.075		
Total	8	140.834			
NOTA <i>GL</i> es los grados de libertad; <i>SC</i> es la suma de cuadrados; <i>CM</i> es el cuadrado medio; <i>F</i> es el estadístico de Fisher; <i>p</i> es el nivel de significancia.					

Tabla 15 — Comparación de medias de la acidez titulable mediante la prueba de Tukey

Tratamiento	N	Media (%)	Agrupación
Comercial	3	19.335	A
T4	3	11.705	B
T13	3	10.670	B
NOTA Medias que no comparten la misma letra presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).			

Tabla 16 — Análisis de varianza (ANOVA) del contenido de metoxilos de las pectinas evaluadas

Fuente	GL	SC Ajustada	CM Ajustada	F	p-valor
Tratamiento	2	0.4209	0.2105	1.18	0.370
Error	6	1.0725	0.1787		
Total	8	1.4934			
NOTA <i>GL</i> es los grados de libertad; <i>SC</i> es la suma de cuadrados; <i>CM</i> es el cuadrado medio; <i>F</i> es el estadístico de Fisher; <i>p</i> es el nivel de significancia.					

Tabla 17 — Análisis de varianza (ANOVA) del grado de esterificación de las pectinas evaluadas

Fuente	GL	SC Ajustada	C M Ajustada	F	P – valor
Tratamiento	2	327.4	163.68	2.44	0.168
Error	6	402.9	67.15		
Total	8	730.3			
NOTA <i>GL</i> es los grados de libertad; <i>SC</i> es la suma de cuadrados;					

CM es el cuadrado medio;
F es el estadístico de Fisher;
p es el nivel de significancia.

Tabla 18 — Análisis de varianza (ANOVA) del contenido de humedad de las pectinas evaluadas

Fuente	GL	SC Ajustada	CM Ajustada	F	P – valor
Tratamiento	2	5.027	2.5134	5.77	0.040
Error	6	2.613	0.4355		
Total	8	7.640			

NOTA

GL es los grados de libertad;
SC es la suma de cuadrados;
CM es el cuadrado medio;
F es el estadístico de Fisher;
p es el nivel de significancia.

Tabla 19 — Prueba de comparación múltiple de Tukey para el contenido de humedad de las pectinas evaluadas

Tratamiento	N	Media	Agrupación	
T13	3	12.813	A	
T4	3	11.940	A	B
Comercial	3	10.983		B

NOTA

Medias que no comparten la misma letra presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).

Tabla 20 — Análisis de varianza (ANOVA) de la viscosidad de las pectinas evaluadas

Fuente	GL	SC Ajustada	CM Ajustada	F	P – valor
Tratamiento	2	43.486	21.743	13.95	0.006
Error	6	9.353	1.559		
Total	8	52.838			
NOTA <i>GL</i> es los grados de libertad; <i>SC</i> es la suma de cuadrados; <i>CM</i> es el cuadrado medio; <i>F</i> es el estadístico de Fisher; <i>p</i> es el nivel de significancia.					

Tabla 21 — Prueba de comparación múltiple de Tukey para la viscosidad de las pectinas evaluadas

Tratamiento	N	Media	Agrupación	
Comercial	3	10.99	A	
T13	3	9.493	A	
T4	3	5.760		B
NOTA Medias que no comparten la misma letra presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).				

Anexo D

**COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES DE LA PECTINA
EXTRAÍDA Y LA PECTINA COMERCIAL**

Tabla 22 — Análisis de varianza (ANOVA) de la capacidad emulsionante de las pectinas evaluadas

Fuente	GL	SC Ajustada	CM Ajustada	F	p – valor
Tratamiento	2	878.22	439.111	208.00	0.000
Error	6	12.67	2.111		
Total	8	890.89			
NOTA Medias que no comparten la misma letra presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).					

Tabla 23 — Prueba de comparación múltiple de Tukey para la capacidad emulsionante de las pectinas evaluadas

Tratamiento	N	Media	Agrupación		
Comercial	3	91.000	A		
T13	3	76.333		B	
T4	3	67.00			C
NOTA Medias que no comparten la misma letra presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).					

Tabla 24 — Análisis de varianza (ANOVA) de la capacidad espesante de las pectinas evaluadas

Fuente	GL	SC Ajustado	CM Ajustado	F	p-valor
Tratamiento	2	43.456	21.728	13.96	0.006
Error	6	9.336	1.556		
Total	8	52.792			
NOTA <i>GL</i> es los grados de libertad; <i>SC</i> es la suma de cuadrados; <i>CM</i> es el cuadrado medio; <i>F</i> es el estadístico de Fisher; <i>p</i> es el nivel de significancia.					

Tabla 25 — Prueba de comparación múltiple de Tukey para la capacidad espesante de las pectinas evaluadas

Tratamiento	N	Media	Agrupación	
Comercial	3	10.99	A	
T13	3	9.487	A	
T4	3	5.760		B
NOTA Medias que no comparten la misma letra presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).				

Anexo D

**EVIDENCIA FOTOGRÁFICA DE LOS PROCEDIMIENTOS PARA LA
OBTENCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE LA CÁSCARA DE CHIRIMOYA**

	
Chirimoya	Cáscara de Chirimoya
	
Desactivación enzimática	Trituración en mortero
	
Hidrólisis ácida	Filtración

Figura 25 — Evidencia fotográfica del proceso de obtención de pectina a partir de la cáscara de chirimoya: Paso 1. Preparación de la materia prima

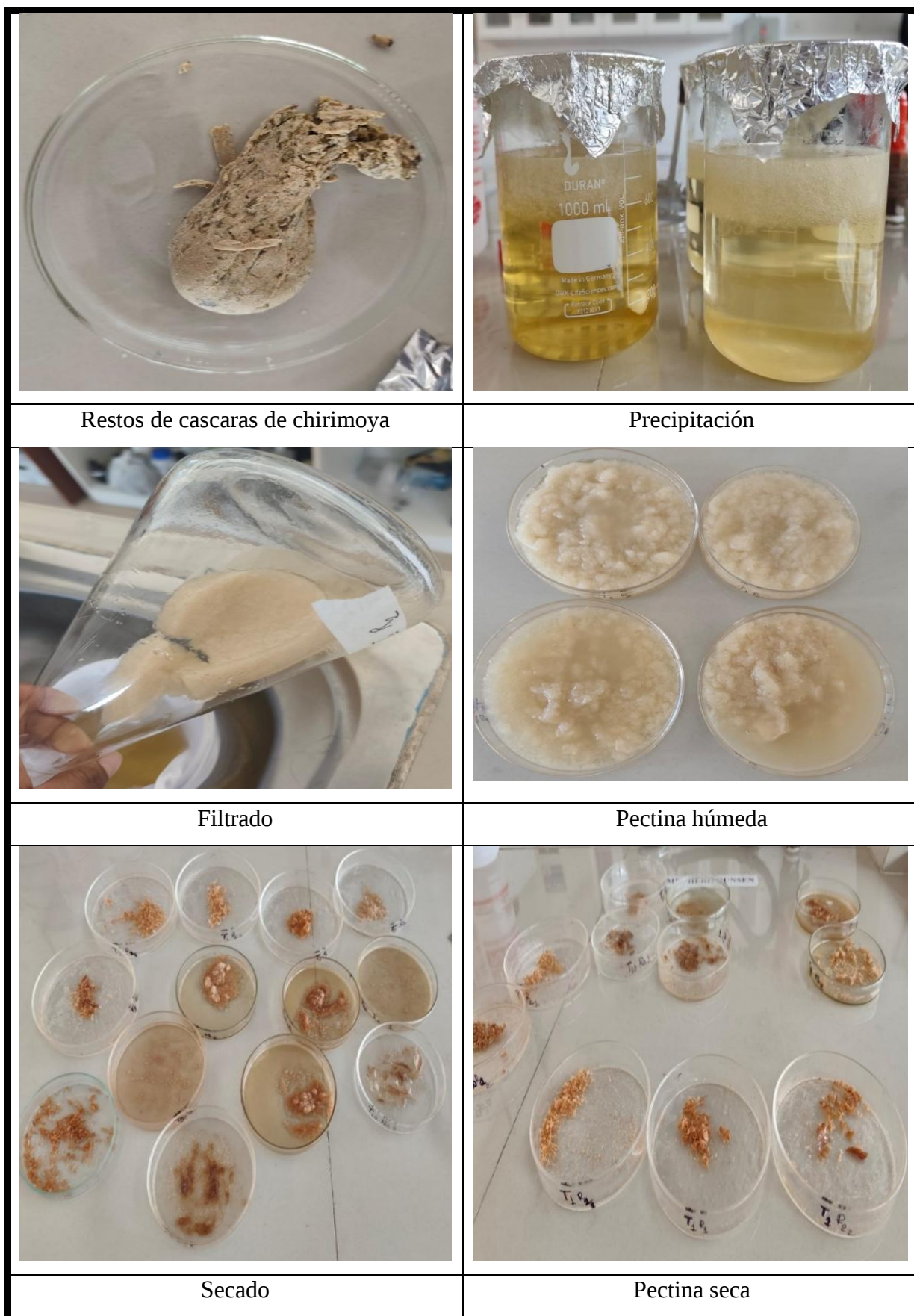


Figura 26 — Evidencia fotográfica del proceso de obtención de pectina a partir de la cáscara de chirimoya: Paso 2. Acondicionamiento de la materia prima

	
Determinación de acides titulable	Resultado de acides titulable
	
Titulación, para la determinación de contenido metoxílico	Determinación de contenido metoxílico
	
Resultados de contenido metoxílico	Determinación de pH

Figura 27 — Evidencia fotográfica del proceso de obtención de pectina a partir de la cáscara de chirimoya: Paso 3. Determinación de las características fisicoquímicas

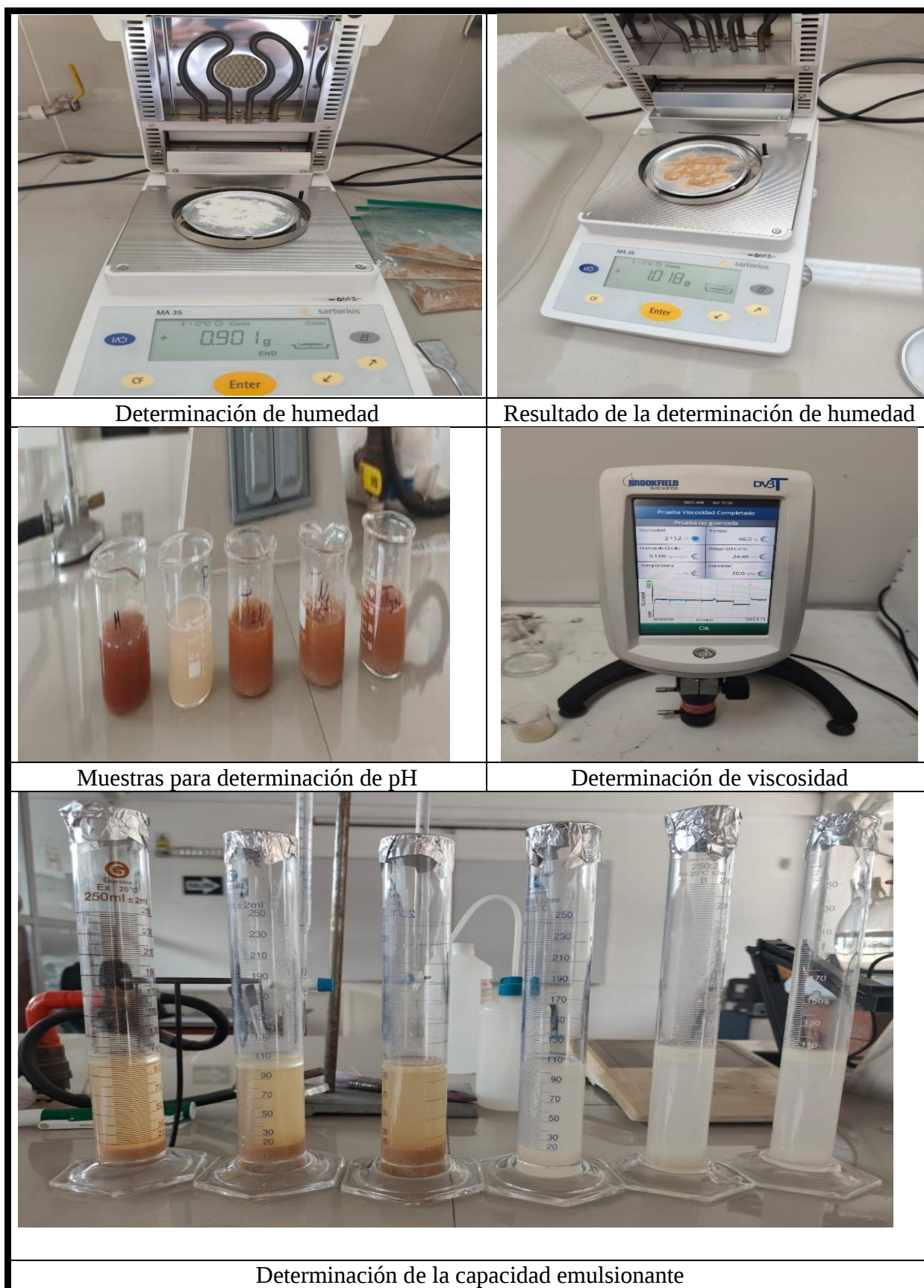


Figura 28 — Evidencia fotográfica del proceso de obtención de pectina a partir de la cáscara de chirimoya: Paso 4. Determinación de las propiedades funcionales