

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

ESCUELA DE POSGRADO

**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA**



TESIS:

**Parámetros óptimos para la extracción de pectina a partir de
la cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.) y su aplicación en
productos alimentarios**

Para optar el grado académico de:
MAESTRA EN INGENIERÍA AMBIENTAL

PRESENTADO POR:
Bach. Grace Angie BAUTISTA BENDAÑO

ASESORA:
Mg. Leidy Diana MEDINA QUIQUIN

AYACUCHO - PERÚ

2025

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mi madre, quien me apoya incondicionalmente a lo largo de mi crecimiento profesional, en momentos de dificultad y días felices.

A mi hermana quien a su corta edad entiende la importancia de la empatía y solidaridad, y con su silencio o palabras puede brindar el apoyo y calidez que se necesita.

AGRADECIMIENTO

A Dios, en quien encuentro paz a pesar de la tempestad, su infinito amor y cariño.

Agradezco a mis padres por su apoyo incondicional, en especial a mi madre Irene Bendaño, quien con su infinito amor de madre me impulsa a mejorar como persona y profesional, mis logros académicos se los agradezco a ella, pues sin su disciplina impartida en mí no habría sido posible alcanzar mayor éxito.

Agradezco a la amistad que es un fruto que se cultiva con cariño, respeto, empatía, a Jessica Burgos, más que una amiga es una hermana con quien crecimos a lo largo de los años, quien está presente en las buenas y malas, me apoya a seguir adelante para cumplir mis sueños, aquella persona incondicional, la amistad más valiosa, símbolo de resiliencia; Rosmery Carolina, mi gran amiga, la mujer más perseverante que conozco y quien motiva a perseguir tus sueños. Así, también a mis queridas amigas Mireya, Vilialina, personas vitamina que la vida me ofreció como un gran regalo de confianza, aprecio, respeto, admiración.

Agradezco a mi alma mater la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por acogerme en sus aulas.

A mis docentes de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia quienes me impartieron grandes conocimientos para mi vida profesional. Un especial agradecimiento al Ing. Alberto Luis Huamani Huamani, por sus enseñanzas y motivación para la conclusión final de mis estudios de posgrado.

Mis más sinceros agradecimientos, a mi asesora de tesis, la Ing. Leidy Diana Medina Quiquin, por su gran apoyo y motivación en el desarrollo de la presente tesis.

INDICE

	Pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
INDICE	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
INDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
1.1 Descripción de la realidad problemática	3
1.2 Formulación del problema	5
1.2.1 Problema principal	5
1.2.2 Problemas secundarios	5
1.3 Objetivos de la investigación	5
1.3.1 Objetivo general	5
1.3.2 Objetivos específicos	5
1.4 Justificación e importancia de la investigación	6
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	8
2.1.1 Antecedentes a nivel internacional	8
2.1.2 Antecedentes a nivel nacional	10
2.2 CACAO	11
2.2.1 Variedades de cacao en el Perú	12
2.2.2 VRAE 99	15
2.2.3 Tipos de residuos de cacao	15
2.2.4 Usos de la cáscara de cacao	18
2.2.5 Composición de la cáscara de cacao	19
2.3 PECTINA	21

2.3.1 Fuentes de extracción de pectinas	21
2.3.2 Aplicación de la pectina	22
2.4 CLASIFICACIÓN DE LAS SUSTANCIAS PÉPTICAS	22
2.5 COMPOSICIÓN QUÍMICA Y ESTRUCTURA DE LA PECTINA	22
2.6 CLASIFICACIÓN DE LA PECTINA	23
2.6.1 Pectinas de alto metoxilo	24
2.6.2 Pectinas de bajo metoxilo	24
2.7 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LA PECTINA	24
2.8 PARÁMETROS DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DE LA PECTINA	26
2.9 FACTORES DE GELIFICACIÓN	26
2.10 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE PECTINA	26
2.10.1 Extracción de pectinas por agua caliente	26
2.10.2 Extracción de pectinas por hidrólisis ácida	26
2.10.3 Extracción ácido – catalizada	27
2.10.4 Extracción de pectinas asistidas por microondas	27
2.10.5 Extracción enzimática de pectinas	27
2.11. MÉTODO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA	27
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	28
3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN	28
3.2 MATERIALES Y MÉTODOS	28
3.2.1 Materia prima	28
3.2.2 Materiales	28
3.4 MÉTODOS	31
3.4.1 Tipo y nivel de investigación	31
3.4.2 Diseño de investigación	31
3.4.3 Operacionalización de variables	33
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	33
3.5.1 Técnicas de recolección de datos	33
3.5.1.1 Preparación de la muestra	33

3.5.1.2 Pectina de la cáscara de cacao	35
3.5.1.3 Determinación del porcentaje de humedad	36
3.6. Técnicas de procedimiento y análisis de datos	36
3.6.1 Parámetros óptimos de los factores de operación	37
3.7 Calidad de la pectina	39
3.7.1 Determinación del peso equivalente y acidez libre	39
3.7.2 Determinación del contenido de metoxilo	41
3.7.3 Determinación del grado de esterificación	41
3.8 Elaboración de jalea	41
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	43
4.1 Humedad de la cáscara de cacao	43
4.2 Pectina en la cáscara de cacao	45
4.3 Efecto del tamaño de partícula en la extracción	45
4.4 Efecto de la agitación en la extracción	47
4.5 Efecto del tiempo de contacto en la extracción	50
4.6 Efecto de la relación de cáscara de cacao con la solución ácida	51
4.7 Efecto de la temperatura en la extracción	53
4.8 Optimización de los factores que influyen en el rendimiento de extracción de pectina	54
4.9 Rendimiento de extracción de pectina con los valores óptimos	59
4.10 Calidad de la pectina obtenida	60
4.11 Elaboración de jalea	61
CONCLUSIONES	63
RECOMENDACIONES	64
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
ANEXOS	71

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Taxonomía del cacao	12
Tabla 2 Variedades de cacao	12
Tabla 3 Composición fisicoquímica de la cáscara de cacao en fresco (% p/p)	20
Tabla 4 Especificaciones oficiales de pureza para pectinas comerciales	24
Tabla 5 Diseño factorial de la extracción de pectina	32
Tabla 6 Operacionalización de variables	33
Tabla 7 Porcentaje de humedad de la cáscara de cacao	44
Tabla 8 Porcentaje de pectina de la cáscara de cacao	45
Tabla 9 Porcentaje de rendimiento de la pectina extraída según el tamaño de partícula	45
Tabla 10 Porcentaje de rendimiento de pectina extraída según la velocidad de agitación	48
Tabla 11 Porcentaje de rendimiento de pectina extraída según el tiempo de contacto	50
Tabla 12 Porcentaje de rendimiento de pectina extraída según la cantidad de solución ácida	52
Tabla 13 Porcentaje de rendimiento de pectina extraída según la temperatura	53
Tabla 14 Valores óptimos para la extracción de pectina	59

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Cacao de la variedad criollo	14
Figura 2 Variedad de cacao VRAE 99 "Ganso"	14
Figura 3 Variedad de cacao CCN51	14
Figura 4 Variedad de cacao ICS	15
Figura 5 Quebrado de cacao de mazorcas dañadas	16
Figura 6 Efecto del pH en la viscosidad de algunos almidones: a) maíz, b) papa y c) sorgo	21
Figura 7 Estructura molecular básica de la pectina	23
Figura 8 Clasificación de la pectina	24
Figura 9 Flujograma de secado de la cáscara de cacao	34
Figura 10 Esquema de obtención de la fracción másica porcentual de pectina total en la matriz	35
Figura 11 Determinación del porcentaje de humedad de la cáscara de cacao	36
Figura 12 Diagrama de flujo de extracción de pectina	38
Figura 13 Procedimiento para determinar el rendimiento de extracción de pectina	39
Figura 14 Procedimiento para determinar el peso equivalente	40
Figura 15 Diagrama de flujo de elaboración de jalea	42
Figura 16 Materia prima cáscaras de cacao	44
Figura 17 Muestras de tamaño de partícula de la cáscara de cacao	46
Figura 18 Porcentaje de rendimiento de pectina extraída en función al tamaño de partícula	47
Figura 19 Porcentaje de rendimiento de pectina extraída en función a la velocidad de agitación	49
Figura 20 Porcentaje de rendimiento de pectina extraída en función al tiempo de contacto	51
Figura 21 Porcentaje de rendimiento de pectina extraída en función a la cantidad de solución ácida	53
Figura 22 Porcentaje de rendimiento de pectina extraída en función a la temperatura	54
Figura 23 Superficie de respuesta del porcentaje de rendimiento, factor tiempo de contacto y cantidad de solución ácida	54
Figura 24 Superficie de respuesta del porcentaje de rendimiento, factor tiempo de contacto y temperatura	55

Figura 25 Superficie de respuesta del porcentaje de rendimiento, factor cantidad de solución ácida y temperatura	57
Figura 26 Optimización del proceso de extracción de pectina	59
Figura 27 Esquema de la elaboración de la jalea con la pectina obtenida	62
Figura 28 Jalea obtenida	62

RESUMEN

En la presente tesis se evaluaron los factores que influyen en la obtención de pectina a partir de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao L.*) para su aplicación en productos alimentarios. El diseño metodológico utilizado es del tipo factorial AxB, donde se evalúa el efecto de los factores que influyen en el proceso de extracción (variables independientes); observando como respuesta el porcentaje de rendimiento de extracción (variable dependiente). Para cada variable independiente, se experimentó con diferentes niveles con el objetivo de observar el rendimiento de extracción. Los datos se obtuvieron mediante una búsqueda univariada, que implica trabajar con una sola variable a la vez mientras las demás se mantienen constantes. Utilizando el método de optimización de superficie de respuesta logramos obtener el óptimo resultado en cuanto al rendimiento de la obtención de pectina a partir de la cáscara de cacao. Como resultados se obtuvo que el contenido promedio de pectina en la cáscara es del 11,34 %, con un tamaño de partícula óptimo de 0,5 x 0,5 cm que facilita su extracción. Se estableció que la velocidad de agitación óptima es de 300 RPM y que el tiempo de extracción ideal es de 65 minutos. Con una relación cáscara/solución ácida de 1:9, y la temperatura óptima de hidrólisis ácida es de 87 °C, logrando un rendimiento máximo de extracción del 43,75 % con los parámetros óptimos. La pectina extraída presentó un grado de metoxilación del 3,01 %, y con ella se elaboró un producto alimentario como es la jalea.

Palabras claves: cáscara de cacao, extracción de pectina, parámetros óptimos, grado de metoxilo.

ABSTRACT

In this thesis, the factors influencing the extraction of pectin from cocoa (*Theobroma cacao L.*) peel for its application in food products were evaluated. The methodological design used is a factorial AxB type, where the effect of the factors that influence the extraction process (independent variables) is evaluated; the extraction yield percentage (dependent variable) is observed as a response. For each independent variable, experiments were conducted at different levels to observe the extraction yield. The data were obtained through a univariate search, which involves working with one variable at a time while keeping the others constant. Using the response surface optimization method, we were able to achieve the optimal result in terms of pectin extraction yield from cocoa peel. The results showed that the average pectin content in the peel is 11.34 %, with an optimal particle size of 0.5 x 0.5 cm, which facilitates extraction. It was established that the optimal stirring speed is 300 RPM, and the ideal extraction time is 65 minutes. With a peel/acid solution ratio of 1:9 and an optimal acid hydrolysis temperature of 87 °C, a maximum extraction yield of 43.75 % was achieved under optimal parameters. The extracted pectin had a degree of methoxylation of 3.01 %, and a food product, such as jelly, was made with it.

Keywords: cocoa shell, pectin extraction, optimal parameters, methoxyl degree.

INTRODUCCIÓN

En el sector cacaotero, es ampliamente conocido el elevado volumen de residuos generados durante las etapas de beneficio y poscosecha. En la mayoría de los casos, estos residuos son dispuestos al aire libre sin recibir tratamiento alguno, lo que genera impactos negativos tanto ambientales como fitosanitarios. La cáscara de cacao, una vez retirados los granos del interior de la mazorca, presenta una morfología ovalada que le permite retener agua de lluvia, convirtiéndose en un ambiente propicio para el desarrollo de plagas y vectores como *Phytophthora* spp., hormigas y otros insectos que afectan directamente a las plantas y frutos del cultivo (Colonia, 2012).

Frecuentemente, estos residuos no cuentan con una disposición final adecuada ni son sometidos a procesos de compostaje o tratamientos biológicos, lo que puede derivar en problemas edáficos. Entre los principales efectos se encuentra el incremento de la acidez del suelo, acompañado de una disminución de la disponibilidad de nutrientes esenciales como potasio (K), fósforo (P) y calcio (Ca), y un aumento de magnesio (Mg). Además, la acumulación de residuos favorece el crecimiento de microorganismos y hongos patógenos, los cuales pueden resultar perjudiciales para el desarrollo de las plantas (Delgado, 2018).

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un cultivo tropical de alto valor comercial, principalmente destinado a la industria chocolatera. No obstante, la cáscara de cacao representa un subproducto de difícil manejo, cuyo inadecuado aprovechamiento genera problemas de contaminación ambiental. Diversas investigaciones han explorado alternativas de valorización de este residuo, destacándose su uso en la alimentación animal debido a su contenido de fibra y compuestos bioactivos. Sin embargo, también se ha planteado su potencial incorporación en la dieta humana, dada su composición rica en fibra dietética, polifenoles y minerales (MINCETUR, 2023).

Las pectinas, por su parte, son polisacáridos estructurales presentes en las paredes celulares de los tejidos vegetales, formadas principalmente por cadenas de ácido galacturónico. Su extracción se ha desarrollado a partir de residuos agroindustriales como la pomaza de manzana y cáscaras de cítricos, materias primas que han mostrado altos rendimientos de obtención. La industria alimentaria, así como la farmacéutica y cosmética, han incrementado la demanda de pectina por sus propiedades gelificantes,

estabilizantes y espesantes, que la convierten en un ingrediente funcional de alto valor (Sánchez et al., 2011).

En el mercado nacional, la pectina comercial presenta un costo elevado, estimado en S/ 159,00 por kilogramo (Ocompra.com Perú, s. f.), siendo en su mayoría importada y obtenida de cáscaras de frutas cítricas (Brito y Ruíz, 2020). Por tanto, la cáscara de cacao se plantea como una alternativa viable y sostenible para la extracción de pectina, considerando que representa aproximadamente el 52 % del peso húmedo total de la mazorca. Si este residuo no es aprovechado, continúa generando problemas ambientales, como la emisión de olores, la atracción de vectores —entre ellos los chinches, causantes de la pudrición negra del cacao— y el incremento de patógenos en campo (Calderón, 2017).

En el Perú, el cultivo de cacao abarca una superficie aproximada de 144 232 hectáreas, equivalente al 3,5 % de la superficie agrícola nacional. En este contexto, el aprovechamiento integral de la materia prima representa una estrategia alineada con los principios de la economía circular, contribuyendo a reducir residuos, minimizar la huella ambiental y generar valor agregado. Bajo el enfoque de las 9R de la circularidad, se promueve un uso más inteligente y prolongado de los productos y sus componentes, incentivando la aplicación útil de materiales provenientes de todas las fracciones del fruto: cáscara, mucílago, placenta y granos de cacao (MINCETUR, 2023).

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción de la realidad problemática

En la actualidad, uno de los temas de mayor relevancia a nivel mundial es la preservación del medio ambiente, ya que con el paso de los años se ha evidenciado que el ser humano es el principal responsable de la degradación del planeta. Entre los factores que contribuyen a esta problemática se encuentra la inadecuada gestión de los residuos orgánicos, los cuales generan impactos ambientales significativos, como emisión de olores desagradables, lixiviados contaminantes, gases de efecto invernadero —principalmente metano— y la proliferación de vectores biológicos (Ministerio del Ambiente, s. f.).

En el caso del Perú, la Ley General del Ambiente (Ley N.º 28611) y el Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) establecen el marco normativo para la protección y gestión ambiental, así como los lineamientos para la evaluación de proyectos que puedan generar impactos negativos sobre los ecosistemas (Ministerio del Ambiente, s. f.).

A nivel global, se observa una distribución desigual en la generación de desechos. Los países de altos ingresos, que representan solo el 16 % de la población mundial, generan aproximadamente el 34 % de los residuos del planeta. En tanto, Asia oriental y el Pacífico aportan cerca del 23 % del total global. En Latinoamérica, según datos del Banco Mundial (2018), México genera un 44 % de residuos orgánicos, Chile un 50 %, mientras que en Estados Unidos y Canadá un 32 % de estos desechos son destinados al compostaje.

El cultivo de cacao ha mostrado un crecimiento sostenido en países como Perú, Colombia, Ecuador y Brasil, lo que, si bien representa un avance económico,

también ha provocado un incremento en la cantidad de residuos agroindustriales, especialmente de cáscaras de cacao. Tras la extracción de las almendras, estas cáscaras suelen acumularse en los campos, atrayendo plagas y enfermedades que afectan la sanidad de las plantaciones. En Puerto El Carmen de Putumayo (Ecuador), por ejemplo, se reporta una producción anual de 8,85 toneladas de cáscara de cacao (Suárez & Marín, 2019). En San Vicente de Chucurí (Colombia), se estima que entre el 74 % y 86 % del material procesado se convierte en residuo. La acumulación de estas cáscaras produce lixiviados que arrastran bases como Ca, Mg, K y Na, provocando descensos en el pH del suelo y alteraciones en su equilibrio químico (Rojas, 2019).

En el caso peruano, el Ministerio del Ambiente (MINAM) reportó que en el año 2019 se generaron 7 781 904,29 toneladas de residuos sólidos municipales, de los cuales el 54,64 % correspondía a residuos orgánicos, cifra que aumentó a 55,7 % en 2020 (Comex Perú, 2022). Asimismo, se estima que cada año se desperdician alrededor de 140 mil toneladas de cáscara de cacao en el país (Servindi, 2011).

En el ámbito local, la Municipalidad Distrital de Pichari (La Convención, Cusco), en su Plan de Manejo de Residuos Sólidos 2021–2024, reportó una generación diaria de 18 297,75 toneladas de residuos, de los cuales el 69,44 % corresponde a materia orgánica. Sin embargo, solo una fracción mínima, principalmente residuos alimentarios, hojas y pastos, son aprovechados mediante compostaje o lombricultura (MDP, 2021).

Desde el punto de vista composicional, la cáscara de cacao contiene vitaminas A y C, así como minerales (calcio y magnesio), fibra dietética y pectina. Este último componente posee alto valor industrial, ya que es ampliamente utilizado como gelificante, espesante, estabilizante, emulsificante y texturizante en las industrias alimentaria y cosmética. A nivel internacional, la pectina es importada por países como Argentina, Francia, México, Dinamarca y Brasil, lo cual eleva su costo comercial, a pesar de provenir de desechos agroindustriales como las cáscaras de naranja y manzana (Cobeñas & Guerrero, 2018).

Ante este panorama, resulta necesario revalorizar los residuos del cacao, en particular la cáscara de la variedad VRAE 99, una de las más cultivadas en la zona del Valle de los Ríos Apurímac, Ene y Mantaro (VRAEM), a través de su aprovechamiento como materia prima para la obtención de pectina mediante

hidrólisis ácida. La pectina se emplea de manera destacada en la elaboración de mermeladas, jaleas y otros productos alimentarios, por lo que su extracción local permitiría reducir costos de importación, agregar valor a los subproductos del cacao y disminuir el impacto ambiental negativo asociado al manejo inadecuado de residuos (Barazarte et al., 2008).

En consecuencia, la presente investigación busca evaluar los parámetros que influyen en el rendimiento de extracción de pectina a partir de la cáscara de cacao variedad VRAE 99, con el objetivo de optimizar su aprovechamiento, fortalecer la sostenibilidad del cultivo y promover la economía circular en la cadena productiva del cacao.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema principal

¿Qué factores influyen en la obtención de pectina a partir de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao L.*) para su aplicación en productos alimentarios?

1.2.2 Problemas secundarios

- ¿Cuál es el tamaño de partícula de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao L.*)?
- ¿Cuál es la velocidad de agitación?
- ¿Cuál es el tiempo de contacto en la hidrólisis ácida?
- ¿Cuál es la relación de cáscara de cacao y solución ácida?
- ¿Cuál es la temperatura en la hidrólisis ácida?
- ¿Cuál es el rendimiento de extracción de pectina?
- ¿Cuál es la calidad de la pectina obtenida a partir de cáscara de cacao?
- ¿Qué producto alimentario es posible elaborar con la pectina a partir de cáscara de cacao (*Theobroma cacao L.*)?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Determinar los factores que influyen en la obtención de pectina a partir de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao L.*) para su aplicación en productos alimentarios.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar el tamaño de partícula de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao L.*).

- Determinar la velocidad de agitación.
- Determinar el tiempo de contacto en la hidrólisis ácida.
- Determinar la relación de cáscara de cacao y solución ácida.
- Determinar la temperatura en la hidrólisis ácida.
- Determinar el rendimiento de extracción de pectina.
- Determinar la calidad de la pectina obtenida a partir de cáscara de cacao (*Theobroma cacao L.*).
- Elaborar un producto alimentario con la pectina obtenida a partir de cáscara de cacao.

1.4 Justificación e importancia de la investigación

1.4.1 Justificación de la investigación

La explotación comercial del cacao (*Theobroma cacao L.*) genera un volumen considerable de residuos orgánicos, principalmente cáscaras, que poseen un potencial aprovechamiento industrial en la producción de pectina. Si bien el incremento de la producción cacaotera conlleva beneficios socioeconómicos para los agricultores, también produce impactos ambientales negativos, como la acumulación de residuos en los cultivos, la formación de lixiviados que alteran la composición del suelo, la emisión de olores desagradables producto de la descomposición y la liberación de gases de efecto invernadero. Además, estos desechos pueden favorecer la proliferación de vectores y enfermedades que deterioran las plantaciones y reducen su vida productiva (Rojas, 2019).

En el distrito de Pichari, ubicado en la provincia de La Convención, región Cusco, se registran aproximadamente 1 554,65 hectáreas de cultivo de cacao, constituyéndose en una de las principales actividades económicas locales. La mayoría de los productores dependen de este cultivo como fuente de ingresos. En este contexto, la presente investigación busca ofrecer una alternativa sostenible para el aprovechamiento de la cáscara de cacao, actualmente subutilizada, a fin de mitigar el impacto ambiental generado por su disposición inadecuada y promover su valorización como materia prima para la obtención de pectina mediante hidrólisis ácida.

El propósito de este estudio es determinar los parámetros óptimos para la extracción de pectina a partir de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao L.*) y evaluar su posible aplicación en productos alimentarios, como mermeladas o jaleas. De obtenerse resultados favorables, los agricultores podrían diversificar el uso del cacao,

mejorar su conocimiento técnico y ampliar el valor agregado de su producción (Suárez & Marín, 2019).

Asimismo, esta investigación aportará información técnica relevante sobre las variables críticas del proceso de extracción, tales como el tamaño de partícula, la velocidad de agitación, el tiempo de contacto, la relación entre cáscara y solución ácida, y la temperatura de extracción, constituyendo una referencia valiosa para profesionales y estudiantes vinculados al sector agroindustrial y específicamente a la cadena productiva del cacao.

1.4.2 Importancia de la investigación

La relevancia de este estudio se manifiesta tanto en el ámbito científico como en el industrial. Desde una perspectiva tecnológica, se enfoca en la valorización de un subproducto agroindustrial que habitualmente se desecha, al evaluar su potencial para la obtención de pectina, un polisacárido natural ampliamente utilizado en la industria alimentaria como agente gelificante, estabilizante y espesante (Liew et al., 2014).

Definir los parámetros óptimos de extracción, tales como el pH, la temperatura y el tiempo de reacción, es esencial para maximizar el rendimiento y la calidad de la pectina, lo cual puede incrementar la eficiencia del proceso productivo y mejorar la funcionalidad del producto en diversas aplicaciones industriales (Ciriminna et al., 2016).

Además, la utilización de la cáscara de cacao como fuente alternativa de pectina impulsa prácticas sostenibles, promueve la economía circular y contribuye a reducir la contaminación ambiental derivada de los residuos agrícolas. Desde un enfoque social, este aprovechamiento puede generar beneficios económicos y laborales para las comunidades cacaoteras, fomentando la innovación tecnológica y el desarrollo rural sostenible (Mollea et al., 2008).

En conjunto, esta investigación tiene el potencial de impactar positivamente en múltiples dimensiones, al articular sostenibilidad ambiental, aprovechamiento de subproductos, desarrollo científico y fortalecimiento de la competitividad del sector cacaotero.

CAPÍTULO II

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 Antecedentes a nivel internacional

Rodríguez et al. (2022), en su estudio titulado “*Extracción de pectina a partir de la hidrólisis ácida del cacao (Theobroma cacao L.) y su aplicación en la obtención de biopelículas*”, plantearon como objetivo el desarrollo de biopelículas utilizando pectina extraída del cacao mediante el método de hidrólisis ácida. Para ello, se emplearon los ácidos cítrico y clorhídrico, sometiendo las muestras a una temperatura constante de 90 °C y valores de pH de 2, 3 y 4, respectivamente. Los resultados demostraron que el ácido clorhídrico, a un pH de 3,0, permitió obtener el mayor rendimiento de extracción con un 1,88 %, mientras que el ácido cítrico, bajo las mismas condiciones de pH, produjo un 1,06 % de pectina. La caracterización de la pectina extraída se realizó utilizando la metodología propuesta por Owens.

Por su parte, Suárez y Marín (2019), en la investigación denominada “*Rendimiento de la pectina de cáscara de cacao (Theobroma cacao L.) como estabilizante en mermelada de naranja*”, tuvieron como propósito generar alternativas de aprovechamiento industrial de las cáscaras de cacao de las variedades Nacional y CCN-51. La obtención de pectina se efectuó mediante hidrólisis ácida, evaluando posteriormente su rendimiento como agente estabilizante en una mermelada de naranja. La pectina obtenida presentó un alto grado de metoxilación, con valores de esterificación comprendidos entre 53,13 % y 58,83 %, lo que indica su capacidad para formar geles en presencia de azúcares y ácidos. Además, se determinó que el rendimiento dependió directamente del volumen de la solución de hidrólisis y del alcohol empleado durante la precipitación.

Rengifo y Macías (2019), en su estudio “*Evaluación de dos métodos de extracción de pectina de la cáscara de cacao (Theobroma cacao L.)*”, establecieron como objetivo

identificar el método de extracción que proporcione mayor rendimiento y solubilidad en la pectina obtenida a partir de la cáscara de cacao. Para ello, compararon los métodos de hidrólisis ácida y enzimática, concluyendo que el proceso más eficiente fue la hidrólisis ácida, ya que permitió alcanzar un mayor rendimiento de extracción. Asimismo, señalaron que los espectros de grupos carboxílicos esterificados y no esterificados obtenidos por ambos métodos mostraron similitudes con los patrones de la pectina comercial.

Barazarte et al. (2008), en su trabajo "*La cáscara de cacao (Theobroma cacao L.): una posible fuente comercial de pectinas*", tuvieron como finalidad extraer pectinas de la cáscara de cacao bajo diferentes condiciones de temperatura, analizando sus propiedades químicas más relevantes. Para el proceso se empleó EDTA al 0,5 % y valores de pH de 3, 4 y 5, junto con temperaturas de 60, 75 y 90 °C. Los resultados confirmaron la viabilidad de obtener pectina con características químicas de interés industrial; sin embargo, enfatizaron la necesidad de optimizar los parámetros de extracción para maximizar el rendimiento. Determinaron que las condiciones óptimas para obtener una pectina de mejor calidad correspondieron a un pH de 4 y una temperatura de 90 °C.

En la tesis desarrollada por Llano y Betancourt (2009), denominada "*Extracción de pectinas a partir de los subproductos del beneficio del cacao*", se propuso diseñar un proceso a escala de laboratorio para la obtención de pectina a partir de residuos generados por la industria del cacao. Utilizando un diseño factorial y aplicando el método de hidrólisis ácida, se evaluaron las variables tiempo, temperatura y pH, concluyendo que estas no presentaron una influencia significativa sobre el rendimiento. Los mejores resultados obtenidos correspondieron a un grado de metoxilación del 95,45 % y un rendimiento del 5,39 %, alcanzados a un tiempo de 25 minutos y un pH de 2.

De acuerdo a Llano y Betancourt (2009), en la tesis: "*Extracción de pectinas a partir de los subproductos del beneficio del cacao*"; plantearon como objetivo diseñar un proceso a escala de laboratorio para la extracción de pectinas a partir de residuos de la industria del cacao y evaluaron la posibilidad de extracción de pectina y mediante un diseño factorial, desarrollaron la extracción empleando el método de hidrólisis ácida, y llegaron a concluir que los factores de estudio tiempo, temperatura y pH no presentaron significancia frente al rendimiento, los mejores resultados de 95,45 % de grado de metoxilación y 5,39 % de rendimiento lo obtuvieron con tiempo de 25 minutos, pH igual a 2.

2.1.2 Antecedentes a nivel nacional

Rivas (2018), en su investigación titulada “*Evaluación de la calidad de la cáscara de cacao (Theobroma cacao L.) y su impacto en el medio ambiente en la región San Martín, Perú*”, tuvo como propósito analizar la calidad de la cáscara de cacao y su influencia ambiental en dicha región. Para ello, se recolectaron muestras provenientes de cuatro provincias y se realizaron análisis fisicoquímicos que incluyeron la determinación de humedad, cenizas, proteínas, fibra, lípidos, taninos y alcaloides. Asimismo, se evaluó el impacto ambiental generado por la acumulación de estos residuos. Los resultados revelaron que la cáscara de cacao presenta un alto contenido de fibra y taninos, mientras que los niveles de proteína y lípidos fueron bajos.

Calderón (2017), en su estudio “*Obtención y caracterización de pectina a partir de la cáscara de cacao (Theobroma cacao L.) variedad CCN-51 procedente del distrito de Pajarillo, provincia de Mariscal Cáceres, Tarapoto*”, se propuso extraer pectina de la variedad CCN-51, la más cultivada en el país y perteneciente al grupo de cacaos trinitarios. Se aplicó un método de extracción bajo condiciones controladas de pH y tiempo, a una temperatura de 85 °C, utilizando ácido cítrico como agente extractante y alcohol isopropílico como agente precipitante. Los resultados evidenciaron un contenido de metoxilo del 6,69 % y un grado de esterificación del 7,42 %.

Del Águila y Zegarra (2016), en la tesis “*Extracción de pectina por hidrólisis ácida y precipitación alcohólica a partir de las cáscaras de cacao híbrido CCN-51 (Theobroma cacao L.) para la fabricación de un prototipo de empaque alimentario, Pucallpa, región Ucayali 2015*”, desarrollaron un proceso de extracción de pectina empleando ácidos cítrico y clorhídrico bajo distintas condiciones de temperatura y pH, con el propósito de elaborar empaques alimentarios biodegradables. Los resultados demostraron que al utilizar ácido cítrico a 90 °C y pH 3 se obtuvo una pectina adecuada para la formulación de prototipos de empaques. Se determinó que la proporción óptima para la elaboración de estos fue de 3 % de pectina y 1,5 % de glicerina.

Nizama (2015), en la investigación denominada “*Obtención y caracterización de pectina a partir de cáscara de cacao (Theobroma cacao L.)*”, tuvo como finalidad caracterizar la pectina extraída de la cáscara de cacao mediante el proceso de hidrólisis ácida. Se empleó cáscara deshidratada como materia prima, la cual presentó un contenido de humedad del 6,12 %. El mayor rendimiento se obtuvo a un pH de 2 y un tiempo de hidrólisis de 60 minutos, alcanzando 9,95 g/100 g. La pectina obtenida fue

clasificada como de alto metoxilo, con un grado de metoxilación de 71,93 %. Se evidenció que las interacciones entre las variables tiempo y agente de extracción, así como tiempo y pH, ejercieron un efecto significativo, especialmente al emplear ácido cítrico con tiempos de hidrólisis de 60 a 90 minutos.

2.2 CACAO

El cacao (*Theobroma cacao L.*) constituye un cultivo de gran relevancia en diversos países de América Latina y África, debido a su alto valor económico y nutricional. Este producto es reconocido por sus propiedades benéficas para la salud humana, principalmente por su elevado contenido de antioxidantes y compuestos bioactivos, que contribuyen al bienestar general.

La planta presenta un porte intermedio con un tallo de tamaño mediano. Los frutos, comúnmente denominados mazorcas de cacao, alcanzan longitudes que oscilan entre 10 y 42 cm, mostrando una morfología variable que puede ser lisa o rugosa, dependiendo de la variedad cultivada. Asimismo, su coloración varía desde tonalidades amarillas hasta naranjas, características distintivas que permiten identificar el tipo de cacao.

Las semillas o almendras de cacao son el principal insumo en la elaboración de diversos subproductos agroindustriales, tales como el chocolate, la manteca de cacao, bebidas y otros derivados. En los últimos años, múltiples investigaciones han buscado aprovechar integralmente el fruto y otras partes del árbol, explorando su potencial en distintas aplicaciones. Por ejemplo, se han evaluado las hojas por su actividad antioxidante, y la cáscara como fuente alternativa de energía, insumo para alimentos balanceados destinados a animales menores, o ingrediente funcional en la formulación de productos alimenticios, como galletas dirigidas a personas con malestares estomacales (Delgado, 2018).

Tabla 1
Taxonomía del cacao

Nombre	Clasificación
Reino	Plantae
Sobrereino	Tracheobionta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Dilleniidae
Orden	Malvales
Familia	Sterculiaceae
Subfamilia	Byttnerioideae
Género	Theobroma
Especie	Cacao L.

Fuente: (Maroto et al., 2017)

En el Perú se dispone de una amplia diversidad genética de cacao (*Theobroma cacao* L.), entre las que destacan las variedades CCN-51, Chuncho, Villa Vista, Cacao Blanco y Criollo. Estas se encuentran principalmente distribuidas en la zona de selva peruana y presentan atributos sensoriales diferenciados, caracterizados por aromas intensos, sabores complejos y perfiles organolépticos agradables, cualidades que aportan valor agregado a su comercialización nacional e internacional. 2.2.1 Variedades de cacao en el Perú

En Perú se pueden ubicar diversos genotipos de cacao, cada una con características particulares en cuanto a sabor, aroma, color y tamaño de las semillas.

Tabla 2
Variedades de cacao

Variedad	Características
CCN-51	Es una variedad híbrida de alta productividad y resistencia a enfermedades. Los granos son grandes y de color morado claro
ICS	Variedad híbrida. Los granos son de tamaño medio y color marrón claro.
Criollo	Cacao fino de aroma. Los granos son pequeños y de color marrón claro
Nacional	Cacao fino de aroma. Granos grandes y de color morado oscuro

A continuación, se mencionan algunas de las variedades más comunes:

1. Cacao Nacional: reconocido como cacao fino de aroma, la variedad es originaria del país y se cultiva en diversas regiones como San Martín, Piura, Amazonas, Cusco, entre otros. las semillas son de pequeñas y el sabor y aroma son muy apreciados en la elaboración de chocolates de alta calidad. Esta variedad es susceptible a enfermedades, por lo que su cultivo requiere de cuidados especiales.
2. CCN-51: Variedad híbrida, desarrollada en los años 60 con el principal objetivo de mejorar la producción y resistencia a enfermedades. Se cultiva en diversas regiones del país, principalmente en la Selva Central, San Martín y Ucayali. Sus semillas son de tamaño grande y su sabor y aroma son más neutros en comparación al cacao Nacional. Es una variedad muy productiva y resistente, por lo que su cultivo se ha expandido en los últimos años.
3. ICS: variedad híbrida, creada en los años 80 en Ecuador. Se caracteriza por ser una variedad resistente a enfermedades y tener una alta producción. En Perú se cultiva principalmente en San Martín y Ucayali.
4. Criollo: Es una variedad antigua y poco común en el país. Se caracteriza por tener semillas de tamaño pequeño y sabor y aroma muy pronunciados. Se cultiva principalmente en la región de Cusco.

Es importante mencionar que existen otras variedades de cacao que se cultivan en el país, cada una con características particulares. Además, es común encontrar híbridos entre estas variedades.

En el VRAEM (Valle de los Ríos Apurímac, Ene y Mantaro) del Perú se cultivan diferentes variedades de cacao, entre las más comunes se encuentran el criollo, CCN51, ICS y la VRAE 99.

Figura 1

Cacao de la variedad criollo



Nota. cacao criollo, toma fotográfica de la chacra del socio Alexander Paravicino de la asociación ASPA Paraíso – Pichari – La Convención – Cusco.

Figura 2

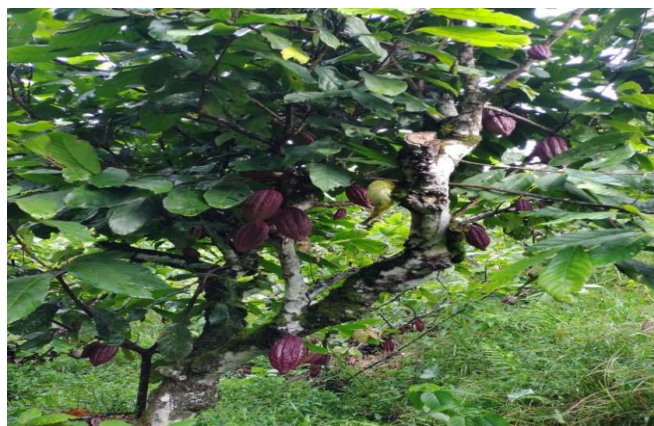
Variedad de cacao VRAE 99 “Ganso”



Nota. En la figura se encuentra la Sra. Daria Hinostroza en cosecha de cacao, socia de la Cooperativa Qori Warmi

Figura 3

Variedad de cacao CCN51



Nota. fotografía tomada de la chacra del Sr. Antonio Jerí, variedad de cacao CCN51

Figura 4

Variedad de cacao ICS



Nota. Ing. Grace Bautista, en la parcela demostrativa de cacao VRAE con la variedad de cacao ICS

A continuación, describiremos la variedad que se empleó en la presente investigación.

2.2.2 VRAE 99

El clon VRAE 99 proviene de una colección genética foránea, la cual ha demostrado una adecuada adaptación a los suelos secos de la selva peruana. Sus mazorcas presentan dimensiones pequeñas y una forma redondeada, con una coloración verde en estado inmaduro y amarilla al alcanzar la madurez fisiológica. Las semillas, de configuración elíptica en sección longitudinal e intermedia en sección transversal, poseen un peso promedio de 0,9 g, lo que las clasifica dentro de la categoría de semillas pequeñas respecto a otros clones evaluados. El fruto, por su parte, es grande y ligeramente rugoso.

Este clon evidencia una buena tolerancia a enfermedades fitopatógenas, tales como la escoba de bruja, la moniliasis y la pudrición parda. En condiciones de alta densidad de plantación y bajo un manejo agronómico adecuado, el rendimiento potencial puede alcanzar aproximadamente 3000 kg/ha. Además, destaca por generar semillas con aroma de intensidad media, características que lo convierten en un material vegetal de interés para programas de mejoramiento genético (García, 2005, citado en Delgadillo, 2023).

Es importante precisar que el término “clon” hace referencia a una planta o grupo de plantas genéticamente idénticas, derivadas de una planta madre seleccionada, propagadas de manera asexual mediante estacas, acodos o injertos (García, 2010, p. 3). En la misma línea, Coronado (2009) señala que un clon corresponde a un material genéticamente uniforme, obtenido a partir de un solo individuo y multiplicado exclusivamente por métodos vegetativos (p. 7)

2.2.3 Tipos de residuos de cacao

2.2.3.1 Cáscara de cacao

De acuerdo con Del Águila y Zegarra (2016), la cáscara de cacao representa aproximadamente el 90 % del peso total del fruto, constituyendo el principal residuo generado durante la producción. Este subproducto supone un problema recurrente para los productores, ya que su uso directo como abono sin compostaje previo puede propiciar la proliferación de enfermedades, particularmente aquellas provocadas por el hongo *Phytophthora* spp., agente causal de la mazorca negra. Los mismos autores exploraron la utilización de la cáscara en la alimentación de ganado bovino; sin embargo, su aprovechamiento resulta limitado debido a la presencia de alcaloides que reducen su palatabilidad y dificultan su metabolización en los animales.

La cáscara constituye un subproducto relevante de la industria chocolatera, representando cerca del 20 % del peso total de las semillas procesadas. Este residuo es rico en compuestos fenólicos y fibra dietética, lo cual le confiere potencial para su aplicación en las industrias alimentaria y farmacéutica, además de su uso como fertilizante orgánico o fuente de energía mediante procesos de valorización.

Durante la transformación industrial del cacao, se generan diversos residuos, entre ellos la cáscara, la cual equivale entre 52 % y 70 % del peso húmedo del fruto. Su composición química incluye aproximadamente 35 % de lignina, 30 % de celulosa y 10 % de hemicelulosa, mientras que el porcentaje restante corresponde a otros compuestos extractivos. Asimismo, las cenizas derivadas de la combustión de estas cáscaras contienen una alta concentración de óxido de potasio (K_2O), con valores comprendidos entre 57,1 % y 61,4 %, lo que las convierte en una fuente potencial de nutrientes para su reutilización agrícola como abono. A través de procesos termoquímicos como la gasificación, dichas cenizas pueden transformarse en productos de interés para la agricultura (Ángel et al., 2015, citado por Delgado, 2018, p. 15).

Ramírez et al. (2014) mencionan que la cáscara de cacao es considerada un desecho de alto volumen, dado que, por cada tonelada de grano seco producida, se generan alrededor de diez toneladas de cáscara húmeda, lo cual representa un excedente considerable que debe ser gestionado de manera eficiente (p. 12).

En este contexto, las cáscaras de cacao constituyen la mayor proporción del fruto y, en consecuencia, el principal residuo sólido de la cadena productiva del cacao. Su acumulación en campo, sin un manejo adecuado, genera problemas ambientales y operativos, afectando tanto al suelo como al entorno agrícola. No obstante, estudios recientes han demostrado que las cáscaras frescas pueden ser utilizadas como suplemento alimenticio para el ganado bovino, contribuyendo así a la reducción del impacto ambiental y al aprovechamiento sostenible de los subproductos agrícolas (Suárez y Orosco, 2014, citado en Calderón, 2017).

Este residuo se obtiene tras el partido de la mazorca y la extracción de las almendras de cacao, constituyendo un material fibroso con un contenido significativo de minerales, carbohidratos y pectina (0,89–1 %) (Brito y Ruiz, 2020).

Pese a su potencial aprovechamiento, en muchos casos las cáscaras son desechadas sin tratamiento previo, lo cual incrementa los riesgos de contaminación ambiental. Según Rengifo y Macías (2019), la ausencia de procesos de valorización o transformación agroindustrial en las distintas etapas del proceso productivo representa un problema de alcance global. En el contexto peruano, donde la producción de cacao ha experimentado un crecimiento sostenido en las últimas décadas, la disposición inadecuada de las cáscaras puede generar afectaciones al suelo y a los recursos hídricos, evidenciando la necesidad de promover estrategias sostenibles de manejo de residuos.

Figura 5

Quebrado de cacao de mazorcas dañadas



Nota. Socia de la Asociación ASPA Paraíso, realizando el quiebre de mazorcas afectadas por vectores.

La disposición de los residuos de cacao en Perú se realiza principalmente mediante la quema de la cáscara como combustible para la producción de energía en las propias plantaciones de cacao. Este método puede tener un impacto ambiental negativo debido a la emisión de gases de efecto invernadero y a la liberación de contaminantes atmosféricos. También se han reportado problemas de salud para las comunidades cercanas a las plantaciones debido a la exposición a los humos de la quema de la cáscara (Brito y Ruíz, 2020).

Otro tipo de residuos que se generan son los residuos sólidos que se les conoce como placenta de cacao, que es la parte media dónde se encuentran sostenidas los granos de cacao (Delgado, 2018).

2.2.3.2 Mucílago de cacao

En el Perú, la gestión de los residuos del cacao se realiza principalmente mediante la quema de las cáscaras como fuente de energía en las propias zonas productoras. Sin embargo, esta práctica genera efectos ambientales negativos, debido a la emisión de gases de efecto invernadero y liberación de contaminantes al aire, lo que puede ocasionar problemas de salud en las comunidades cercanas por la exposición continua al humo (Brito y Ruíz, 2020).

Adicionalmente, durante el procesamiento del cacao se generan otros tipos de desechos sólidos, como la placenta del cacao, parte interna del fruto que sostiene los granos, y que también constituye un residuo orgánico relevante (Delgado, 2018).

Por otro lado, los residuos líquidos derivados de la hidrólisis natural de la pulpa del cacao durante el proceso de postcosecha se denominan mucílago de cacao. Este subproducto tiene importancia económica y ambiental, ya que de cada 400 kg de cacao en baba pueden obtenerse cerca de 20 litros de mucílago (Ntiamoah y Afrane, 2008, citados por Delgado, 2018).

El mucílago rodea las semillas del cacao y está compuesto por aproximadamente 10 a 15 % de azúcares, 1 % de pectina y 1,5 % de ácido cítrico. Parte de esta pulpa es esencial para la fermentación de las almendras, en la que se generan alcohol y ácido acético, aunque entre 5 y 7 % del mucílago se pierde como exudado (Sánchez et al., 2019, p. 5).

Desde el punto de vista estructural, el mucílago está conformado por células parenquimatosas esponjosas que contienen una savia rica en azúcares (10–13 %), pentosas (2–3 %), ácido cítrico (1–2 %) y sales minerales (8–10 %). Este componente es fundamental durante la fermentación del grano y, además, puede aprovecharse en la elaboración de productos derivados como mermeladas, jaleas y vinagres (Arteaga, 2013).

La cantidad de mucílago producido varía según la variedad de cacao, aunque, en promedio, de 400 kg de cacao fresco en baba cantidad utilizada en los cajones de fermentación, cerca de una tercera parte corresponde al exudado y el resto al grano seco.

2.2.4 Usos de la cáscara de cacao

a) Producción de biocombustibles:

La cáscara de cacao constituye una fuente potencial de biomasa lignocelulósica, apta para la producción de biocombustibles sólidos, como briquetas y pellets, debido a su elevado contenido de lignina y celulosa (Ouattara et al., 2021).

b) Elaboración de fertilizantes orgánicos:

Este residuo contiene cantidades apreciables de nitrógeno, fósforo y potasio, nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal, lo que permite su aprovechamiento como abono orgánico o insumo para compostaje (Ouattara et al., 2021).

c) Obtención de compuestos bioactivos:

La cáscara posee flavonoides, taninos y ácido ascórbico, con propiedades antioxidantes y antiinflamatorias. Estos compuestos pueden ser extraídos y utilizados en las industrias farmacéutica, alimentaria y cosmética (Campos et al., 2018).

Estudios recientes también demuestran su aplicación en la industria panificadora, particularmente en la elaboración de galletas con alto contenido de fibra, aportando valor agregado al residuo (Ramírez et al., 2014).

2.2.5 Composición de la cáscara de cacao

La cáscara constituye también un subproducto que puede ser empleado para la alimentación bovina, fertilizante para plantas y como materia prima para biodigestores. Autores tal como Nizama (2015) y FAO (2011) menciona la composición fisicoquímica de la cáscara de cacao en (% p/p) que se muestra en la tabla 3.

Tabla 3

Composición fisicoquímica de la cáscara de cacao en fresco (% p/p)

Componentes	% p/p Nizama (2015)	% p/p FAO (2011)
Humedad	85,00	85,10
Proteína	1,07	1,20
Minerales	1,41	-
Grasa	0,02	0,10
Fibra	5,45	4,30
Carbohidratos	7,05	-
Nitrógeno	0,17	8,00
Fósforo	0,02	0,00
Potasio	0,54	-
Pectinas	0,89	-

Fuente: (Nizama, 2015), FAO (2011).

La fibra se compone de polisacáridos y lignina, que son resistentes a la digestión enzimática en el tracto gastrointestinal. Los efectos fisiológicos de las fibras dietéticas varían dependiendo de su capacidad para disolverse en agua. Entre las fibras solubles se encuentran la pectina, el mucílago y las gomas, las cuales son tipos de hemicelulosa soluble y polisacáridos de reserva de las plantas (Nizama, 2015).

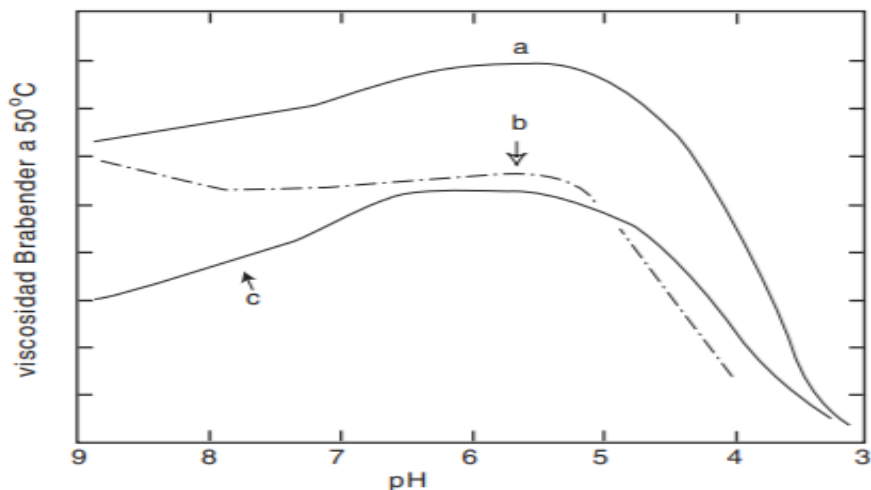
2.3 PECTINA

Las pectinas son polisacáridos de elevado peso molecular, constituidas por polímeros de ácido D-galacturónico unidos mediante enlaces glicosídicos α -(1→4). Los grupos carboxilo presentes en estas unidades se encuentran parcialmente esterificados con metanol y, en ciertos casos, con etanol. La estructura de las cadenas presenta interrupciones debido a la presencia de unidades de L-ramnosa, enlazadas por puentes α -(1→2). Asimismo, pueden incorporar residuos de galactosa, arabinosa, glucosa y xilosa, generalmente en cadenas laterales cortas (Valenzuela, Ortiz y Pérez, 2014).

Las pectinas se hallan de forma natural en una amplia gama de productos vegetales, especialmente en la cáscara de frutas y en la parte externa de los cítricos; en casos particulares, como el níspero, también se encuentran en la pulpa del fruto. Del mismo modo, se han identificado en el exudado y cáscara del cacao. En la industria alimentaria, la pectina cumple funciones como gelificante, espesante, texturizante, emulsificante y estabilizante, siendo su uso más extendido en la elaboración de mermeladas y jaleas (Franco et al., 2010, p. 50)

Figura 6

Efecto del pH en la viscosidad de algunos almidones: a) maíz, b) papa y c) sorgo



Fuente: (Badui, 2006)

De acuerdo con diversos estudios, las pectinas son solubles en agua, formando soluciones viscosas y, bajo condiciones adecuadas, geles estables. El comportamiento de gelificación depende del grado de esterificación de los grupos carboxilo con metanol. Las pectinas con más del 50 % de grupos carboxilo metoxilados generan geles en un pH de 2,8 a 3,5, con un contenido de sólidos solubles cercano al 65 %. Por el contrario,

las pectinas de bajo metoxilo requieren la presencia de cationes divalentes (como calcio) para lograr la formación de geles (Rengifo y Macías, 2019).

2.3.1 Fuentes de extracción de pectinas

La pectina está presente en múltiples fuentes vegetales, principalmente en frutas, verduras y subproductos agroindustriales. En términos comerciales, la mayor proporción de extracción ($\approx 85\%$) proviene de la cáscara de cítricos como naranja, limón, toronja y lima. En segundo lugar, el orujo de manzana representa alrededor del 14 %, y en menor medida la pulpa de remolacha azucarera.

Sin embargo, investigaciones recientes destacan otras fuentes alternativas de pectina, como maracuyá, piña, tomate, cáscara de mango, papaya, plátano y, especialmente, la cáscara de cacao, cuyo aprovechamiento representa una oportunidad para la valorización de residuos agroindustriales (González et al., 2022).

2.3.2 Aplicación de la pectina

Según González et al. (2022), la pectina posee propiedades funcionales destacables para diversas industrias gracias a su capacidad estabilizante, espesante y de formación de geles, además de su bajo contenido en carbohidratos disponibles.

Industria alimentaria: se utiliza en la elaboración de mermeladas, jaleas, gelatinas y conservas; como espesante en productos como mayonesa; y como estabilizante en helados y jugos. En la producción de quesos crema, el uso de pectinato de calcio mejora el rendimiento y la separación de fases tras el corte del cuajo.

Industria farmacéutica y cosmética: se emplea en la formulación de antidiarreicos, ungüentos, pomadas y cremas, además de actuar como coagulante sanguíneo, emulsificante y agente suspensor. También se utiliza en la preparación de medios de cultivo bacteriológico y como antídoto frente a intoxicaciones por metales pesados.

2.4 CLASIFICACIÓN DE LAS SUSTANCIAS PÉPTICAS

Badui (2006) clasifica las sustancias pépticas en distintos grupos de polisacáridos complejos de alto peso molecular, entre los cuales se incluyen los ácidos pépticos y los ácidos péptínicos.

- **Pectinas:** Son ácidos pépticos solubles en agua, formados por ácido poligalacturónico parcialmente esterificado con metanol, con capacidad para formar

geles estables bajo condiciones específicas. También pueden presentarse en forma de sales de sodio, potasio o amonio (Ferreira, 2007, p. 16).

- **Ácidos pécticos:** Compuestos donde los grupos carboxilo del ácido galacturónico se encuentran totalmente desesterificados.
- **Protopectina:** Sustancia péctica insoluble en agua, que mediante hidrólisis controlada se convierte en pectina o ácidos pécticos.
- **Ácidos pectínicos:** Polímeros de ácido galacturónico con bajo grado de esterificación, capaces de formar geles de azúcar bajo condiciones controladas.
- **Sustancias pécticas:** Grupo general de polisacáridos complejos que contienen unidades de ácido anhidrogalacturónico, con grupos carboxilo esterificados con metanol (CH_3OH) o en forma de sales (Ferreira, 2007, p. 16).

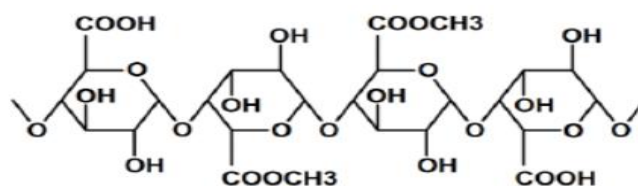
2.5 COMPOSICIÓN QUÍMICA Y ESTRUCTURA DE LA PECTINA

La pectina está constituida por unidades de ácido galacturónico enlazadas α -(1→4), interrumpidas por enlaces α -(1→2). También pueden encontrarse galactosa, glucosa, arabinosa y xilosa, generalmente en cadenas laterales cortas (Ferreira, 2007, p. 17).

Se trata de un polisacárido complejo que contiene aproximadamente 65 % de ácido galacturónico ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_7$). Las cadenas pueden estar formadas por cientos o miles de anillos, alcanzando pesos moleculares entre 50 000 y 150 000 Da. Cada unidad posee un grupo carboxilo (-COOH), el cual puede esterificarse con metanol formando ésteres metílicos (-COOCH₃) o neutralizarse mediante bases (Zegada, 2015).

Figura 7

Estructura molecular básica de la pectina



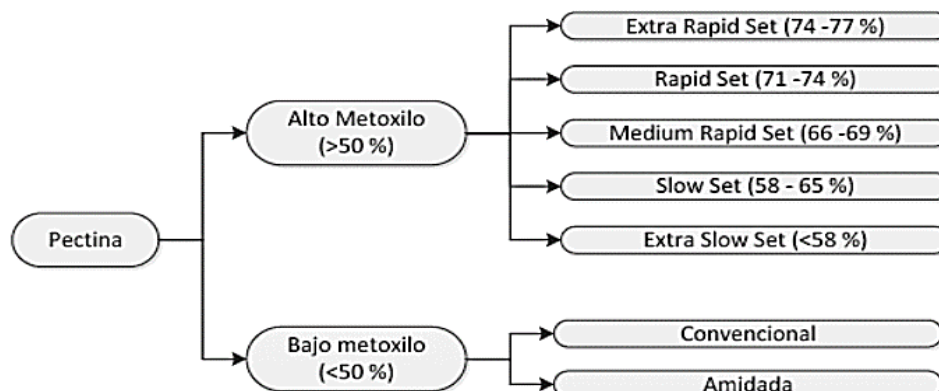
Nota. Imagen tomada de (Zegada, 2015).

2.6 CLASIFICACIÓN DE LA PECTINA

Las pectinas se clasifican en alto y bajo metoxilo, según el grado de metoxilación (porcentaje de grupos carboxílicos esterificados). Se considera que un 7 % de contenido de metoxilo equivale a 50 % de esterificación, límite utilizado para distinguir ambas categorías (Nizama, 2015).

Figura 8

Clasificación de la pectina



Nota: imagen que representa la clasificación de las pectinas de alto y bajo metoxilo, tomada de (Zegada, 2015).

2.6.1 Pectinas de alto metoxilo

Contienen entre 50 % y 80 % de grupos carboxílicos esterificados, lo que las hace solubles en agua y capaces de formar geles firmes en condiciones de alta concentración de azúcar (55–85 %), pH ácido (2,0–4,5) y temperaturas elevadas. Sin embargo, son menos estables en medios alcalinos (Ferreira, 2007). Estas pectinas se subdividen en dos tipos:

- Gelificación rápida: tiempo de formación promedio de 5 minutos, con 68–75 % de esterificación.
- Gelificación lenta: mayor tiempo de formación, con 60–68 % de esterificación (Ferreira, 2007)

2.6.2 Pectinas de bajo metoxilo

Presentan 25–50 % de grupos hidroxilo esterificados, requiriendo cationes divalentes (como Ca^{2+}) para formar geles. Operan en un rango de pH entre 2,8 y 6,5, lo que representa una ventaja frente a las de alto metoxilo, aunque poseen menor plasticidad, firmeza y resistencia térmica (Rengifo y Macías, 2019). La gelificación ocurre incluso entre pH 1–7 y sólidos solubles 0–80 %, siendo el calcio (40–100 mg) el factor determinante (Brito y Ruíz, 2020).

2.7 PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DE LA PECTINA

- a) Solubilidad: La pectina es insoluble en solventes orgánicos, pero altamente soluble en agua, donde forma soluciones coloidales. Agentes como polímeros, proteínas y cationes polivalentes pueden emplearse para precipitarla tras la hidrólisis ácida (Cardeño, 2019; Cedeño, 2019).

- b) Acidez: En su estado puro es neutra, pero en solución muestra comportamiento ácido, con pH entre 2,8 y 3,4, dependiendo del grado de esterificación (Cedeño, 2019).
- c) Viscosidad: Forma soluciones altamente viscosas cuyo comportamiento depende del peso molecular, pH, temperatura y presencia de electrolitos. A mayor grado de esterificación, aumenta la viscosidad (Cedeño, 2019).
- d) Capacidad de gelificación: Las pectinas de alto metoxilo presentan pH óptimo de 3,4 y un 40 % de ésteres desmetoxilados. No obstante, concentraciones excesivas de azúcar (65–70 %) pueden provocar cristalización durante el almacenamiento (Cedeño, 2019).

Tabla 4

Especificaciones oficiales de pureza para pectinas comerciales

CARACTERISTICAS	REFERENCIAS		
	FAO (1978)	FCC (1981)	EEC (1978)
Humedad	máx. 12 %	máx. 12 %	máx. 12 %
Cenizas ácido insolubles	máx. 1 %	máx. 12 %	máx. 1 %
Cenizas totales	-	máx. 10 %	-
Dióxido de sulfuro	máx. 50 mg/kg		máx. 50 mg/kg
Metil sulfato de sodio	-	máx. 1 %	-
Metanol, etanol e isopropanol	máx. 1 %	-	máx. 1 %
Contenido de nitrógeno pectina amidada	máx. 2,5 %	-	máx. 2,5 %
Contenido de nitrógeno pectina	máx. 0,5 %	-	máx. 0,5 %
Acido galacturónico	min. 65 %	-	min. 65 %
Total, de anhidrogalacturónico	-	min. 70 %	-
Grado de Amidación pectina amidada	máx. 25 %	máx. 40 %	máx. 25 %
Grado de esterificación de pectina HM	-	máx. 50 %	-
Grado de esterificación de pectina LM	-	min. 50 %	-
Arsénico	máx. 3 %	máx. 3 %	máx. 3 %
Plomo, ppm	máx. 10 %	máx. 10 %	máx. 10 %
Cobre, ppm	máx. 50 %	-	-
Zinc, ppm	máx. 25 %	-	máx. 25 %
Cobre + Zinc, ppm	-	-	máx. 50 %
Metales pesados	-	máx. 0 %	-

Nota: Detalles tomadas de (Cobeñas & Guerrero, 2018)

- FAO: Food and Agriculture Organización,
- FCC: Food Chemical Codex,
- ECC: Environmental Export Council

2.8 PARÁMETROS DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DE LA PECTINA

La calidad se evalúa según el porcentaje de ácido galacturónico, que debe representar al menos 65 % según FAO/FDA, y 74 % según la USP (Zegada, 2015).

Contenido de éster metílico: se determina por titulación con NaOH y expresa el porcentaje de ácido galacturónico esterificado (Kalapathy y Proctor, 2001).

- Grado de metilación: porcentaje de grupos carboxilo metilados, evaluado mediante espectroscopía infrarroja (Freitas et al., 2021).
- Viscosidad: indica la capacidad de formar geles, medida mediante viscosimetría (Kalapathy y Proctor, 2001).
- Contenido de cenizas: refleja la pureza de la pectina, siendo más pura cuando el valor es bajo. Se obtiene por calcinación del peso seco.

2.9 FACTORES DE GELIFICACIÓN

- pH: Valores cercanos a 3,5 favorecen la gelificación, ya que reducen la disociación de los grupos carboxilo.
- En la extracción por hidrólisis ácida, se utilizan pH de 1,6–2,0 y temperaturas de 85–90 °C (Cobeñas y Guerrero, 2018).
- Temperatura: La disminución del movimiento molecular a temperaturas controladas incrementa la formación del gel (Cobeñas y Guerrero, 2018).

2.10 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE PECTINA

La extracción industrial de pectinas se realiza mayoritariamente a partir de cáscaras de cítricos y manzanas. Entre los métodos más comunes se encuentra la extracción ácida, que utiliza ácidos minerales o cítricos y etanol como agente precipitante, variando el rendimiento según el pH y la técnica aplicada (Calderón, 2017). También se aplican métodos acuosos, enzimáticos, catalizados por ácido y asistidos por microondas (Calderón, 2017).

2.10.1 Extracción de pectinas por agua caliente

Consiste en sumergir la materia prima en agua a 100 °C, permitiendo liberar la pectina celular, que luego se precipita con alcohol (Filho et al., 2022).

2.10.2 Extracción de pectinas por hidrólisis ácida

Se realiza a 90 °C durante una hora, empleando ácidos cítrico, clorhídrico, nítrico, fosfórico o sulfúrico. Posteriormente, se concentra y precipita la pectina con alcohol, secándose y tamizándose (Cobeñas y Guerrero, 2018).

2.10.3 Extracción ácido – catalizada

Involucra la disolución de pectina con ácido clorhídrico, seguida de su precipitación alcohólica, obteniendo buenos rendimientos (Naqash et al., 2021).

2.10.4 Extracción de pectinas asistidas por microondas

Este método reduce el tiempo de proceso y mejora el rendimiento y la calidad del producto final, evitando degradación térmica (Cobeñas y Guerrero, 2018).

2.10.5 Extracción enzimática de pectinas

Emplea enzimas pectinasas o celulasas para romper las paredes celulares, facilitando la liberación de pectina con mayor solubilidad, viscosidad y actividad biológica (Rengifo y Macías, 2019; Masmoudi et al., 2008).

2.11. MÉTODO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA

La Metodología de Superficie de Respuesta (RSM) es una herramienta estadística utilizada para la optimización de procesos en los que intervienen múltiples variables (Montgomery, 2017). Combinando análisis de regresión y diseño experimental, esta técnica —introducida por Box y Wilson (1951)— permite identificar valores óptimos que maximizan o minimizan una respuesta objetivo (Myers et al., 2016).

2.11.1. Aplicaciones

La RSM se aplica en sectores como la química, ingeniería, manufactura y agricultura, donde resulta costoso o impráctico evaluar todas las combinaciones posibles de factores. Por ejemplo, en la industria química, permite optimizar el rendimiento de un producto en función de temperatura, tiempo de reacción y concentración de reactivos, modelando las interacciones entre variables y prediciendo la combinación óptima de condiciones (Myers et al., 2016).

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN

La investigación se desarrolló en la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Concretamente, se llevaron a cabo experimentos en los laboratorios dedicados a la “Transferencia de Masa” y al “Análisis de Alimentos”. Estos espacios fueron elegidos debido a su capacidad para brindar las condiciones necesarias y los equipos adecuados para llevar a cabo el estudio de manera óptima. El objetivo de la investigación fue determinar los parámetros óptimos de la extracción de pectina a partir de la cáscara de cacao y la aplicación en productos alimentarios.

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1 Materia prima

Cáscara de cacao (*Theobroma cacao L.*) – Variedad Vrae 99

3.2.2 Materiales

- Beaker de 250 mL
- Papel de filtro
- Termómetro
- pH metro
- Cronómetro
- Espátula
- Embudos de vidrio
- Fiolas
- Lunas de reloj
- Matraz Erlenmeyer
- Papel Filtro

- Probeta
- Soporte Universal
- Tubo de ensayo
- Varillas de vidrio
- Vernier

3.2.3 Equipos

- Estufa: Marca VWR International, eléctrica por convección forzada, interior de acero inoxidable, incorpora 2 bandejas (rejillas), tensión 220 VAC, frecuencia de 50 Hz, regulador de lectura digital.
- Termostato: Marca MLW, rango de temperatura de (-60 °C a +50 °C / + 80 °C a + 160 °C), capacidad 15 L.
- Cocina: Eléctrica, marca Indurama de 2 hornillas
- Balanza Analítica: Capacidad 120 g, precisión 0,0001 g, burbuja de nivel y pies regulables, una de cristal con puertas deslizables y pesada en gramos.
- Agitador: Marca Heidolph, mecánico de varillas, RPM desde 45 a 2000.

3.2.4 Reactivos

- Ácido cítrico ($C_6H_8O_7$)
- Hidróxido de sodio (NaOH)
- Agua destilada
- Alcohol 96 GL

3.4 MÉTODOS

3.4.1 Tipo y nivel de investigación

La investigación es de tipo aplicada y nivel explicativo.

3.4.2 Diseño de investigación

El diseño de la investigación es experimental, la variable independiente se caracteriza por la formación de grupos de intervención organizados en el estudio. En general, una variable independiente es una variable aleatoria que produce un efecto sobre la variable dependiente, en este sentido, el nivel de prueba de la variable independiente producirá un efecto sobre la variable que se pretende influir.

Se empleó la metodología del diseño factorial AXB, que permite examinar la influencia de factores (variables independientes) en la cantidad de pectina extraída (variable

dependiente) de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao L.*). A continuación, se presenta la Tabla 7, la cual detalla el diseño factorial utilizado en el proceso de extracción de pectina.

Tabla 5

Diseño factorial de la extracción de pectina

NIVEL (Y)	FACTOR (X)	Tamaño de partícula		V.A. (RPM)	T.C., con agitación (min)	Relación (C/A)	T (°C)
		<u>A</u> cm	<u>L</u> cm				
I		4,0	4,0	125	30	1:3	75
II		3,0	3,0	190	40	1:5	80
III		2,0	2,0	300	50	1:6	85
IV		1,0	1,0	500	60	1:8	88
V		0,5	0,5	800	80	1:10	92
VI		Fino			90	1:11	95
VII					100	1:12	
VIII						1:13	

Donde:

- X : Representa las variables independientes
- Y : Los niveles en cada variable evaluada
- A : Ancho promedio
- L : Largo promedio
- V.A.: Velocidad de agitación
- RPM : Revoluciones por minuto
- T : Temperatura en grados Celsius
- T.C.: Tiempo de contacto
- C/A : Relación entre la cáscara de cacao y la solución ácida

La estrategia del método que se va a emplear implica la aplicación de la búsqueda univariada. Esta técnica consiste en trabajar exclusivamente con una variable a la vez, manteniendo las demás constantes durante el proceso experimental.

3.4.3 Operacionalización de variables

En la tabla siguiente se detalla las variables, dimensiones e indicadores respectivos.

Tabla 6

Operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Concepto	Indicadores
X Factores que influyen en la extracción (variable independiente)	X ₁ Tamaño de partícula	Se lleva a cabo, por lo general, en una amplia gama de industrias y con frecuencia constituye un parámetro crítico en la fabricación de muchos productos	X _{1.1} . Dimensiones de la partícula
	X ₂ Velocidad de agitación	Se define como las revoluciones por minuto (RPM) del agitador.	X _{2.1} . RPM en la hidrólisis ácida.
	X ₃ Tiempo de contacto	Duración del tiempo que se expone a la extracción ácida.	X _{3.1} . Números de minutos en la operación (min).
	X ₄ Relación de cáscara de cacao y solución ácida.	Es la relación o división entre la cantidad de cáscara de cacao y solución ácida.	X _{4.1} . Relaciones de gramos de cáscara de cacao y solución ácida.
	X ₅ Temperatura del proceso	Es la temperatura a la que se expone la hidrólisis ácida para la extracción de pectina.	X _{5.1} . Grados Celsius de la hidrólisis ácida (°C).
Y Rendimiento de extracción de pectina (variable dependiente)	Y ₁ Porcentaje de extracción de pectina.	Porcentaje del procedimiento de separación de la pectina de la cáscara de cacao.	Y _{1.1} . % de rendimiento de extracción
	Y ₂ Calidad de la pectina	Se refiere al grado de metoxilación que tiene la pectina extraída.	Y _{2.1} . Grado de metoxilación de pectina extraída

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

A continuación, se detallan las técnicas e instrumentos utilizados para la recolección de datos en el marco de esta investigación.

3.5.1 Técnicas de recolección de datos

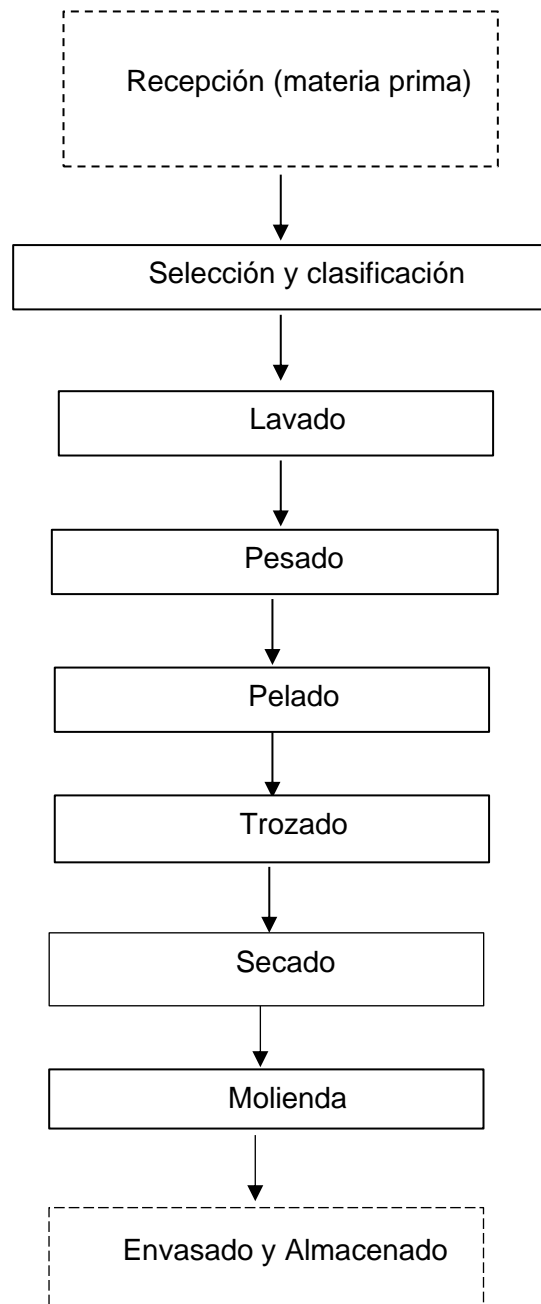
En esta sección se exponen las técnicas empleadas para la recopilación de datos en el contexto de la investigación.

3.5.1.1 Preparación de la muestra

Se presenta la Figura 9 que ilustra el proceso llevado a cabo en la extracción de almidón, con detalles adicionales a continuación:

Figura 9

Flujograma de secado de la cáscara de cacao



- 1. Recepción de la materia prima:** Se recibió la materia prima y se llevó a cabo la selección y clasificación inicial.
- 2. Selección y clasificación:** Mediante un proceso manual, se descartaron las muestras deterioradas o con signos de daño por insectos. Además, se homogeneizó la muestra según criterios de tamaño, forma y color.

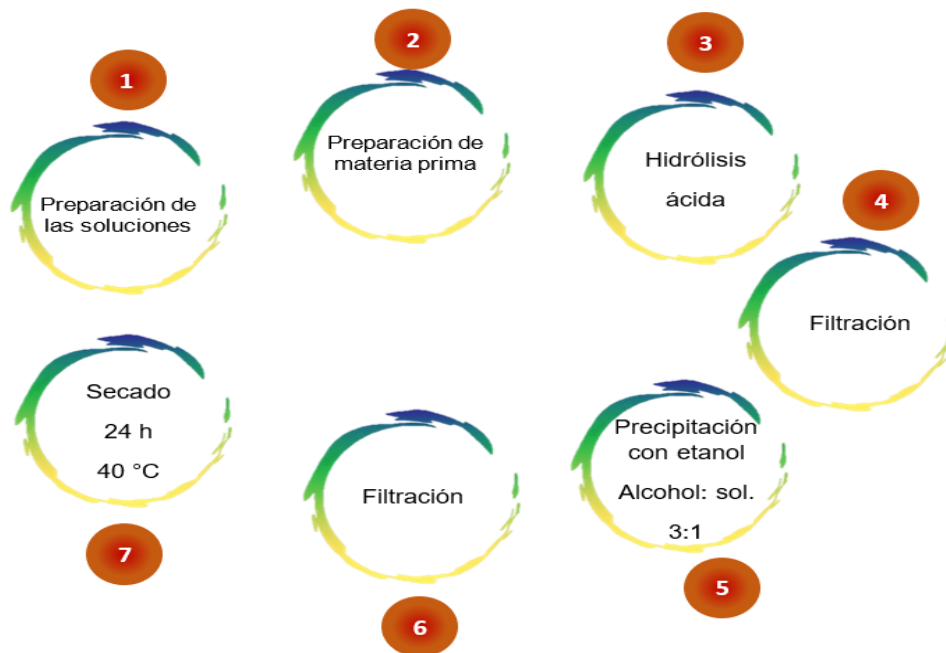
3. **Lavado:** Se procedió al lavado con agua con el fin de eliminar cualquier suciedad que pudiera afectar la calidad del producto obtenido durante el proceso.
4. **Pesado:** Se seleccionaron cuatro kilogramos de muestra, las cuales fueron pesadas y lavadas para determinar el rendimiento final en la obtención de pectina.
5. **Cortado:** Se realizó el cortado o trozado de la cáscara de cacao
6. **Secado:** Se llevó la cáscara a la estufa a 60 °C hasta obtener un peso constante.

3.5.1.2 Pectina de la cáscara de cacao

Para calcular el rendimiento de extracción en cada ensayo realizado, primero se determinó el porcentaje de pectina presente en la matriz sólida, es decir, en la cáscara de cacao.

Figura 10

Esquema de obtención de la fracción másica porcentual de pectina total en la matriz



El procedimiento llevado a cabo se describe a continuación:

- Reducción del tamaño de la cáscara de cacao.
- Se pesaron exactamente 50 g de muestra seca (cáscara de cacao) por triplicado, representando la masa 1 y el papel filtro para cada muestra.
- Realizar el procedimiento de extracción de pectina según la figura 10, con valores máximos de los factores que influyen en mencionada extracción (t = 100 min; T=95 °C; RPM = 300; diámetro de partícula = 0,5 cm; relación 1:15), es decir hasta que

la cáscara de cacao ya no tenga más pectina que extraer.

- Se introdujeron las tres muestras en la estufa y se ajustó la temperatura a 100 °C durante un tiempo suficiente para alcanzar una masa constante.
- Posteriormente, se retiraron las muestras secas y se colocaron en el desecador para que se enfriaran.
- Se registró la masa final (masa 2) de la pectina seca.

3.5.1.3 Determinación del porcentaje de humedad

La humedad en la cáscara de cacao refleja la cantidad de agua presente en ella. Se empleó el método de determinación de humedad por estufa. El procedimiento detallado fue el siguiente:

- Preparación de las muestras para el análisis mediante reducción de tamaño.
- Se pesaron exactamente 3 g de muestra en platillos de reloj completamente limpios y secos. Se registró la masa inicial (masa 1) de la muestra.
- Las muestras se introdujeron en la estufa y se ajustó la temperatura a 100 °C hasta alcanzar una masa constante.
- Una vez secas, se retiraron las muestras de los platillos de reloj y se colocaron en el desecador para su enfriamiento.
- Se registró la masa final (masa 2) de la muestra una vez seca.

Figura 11

Determinación del porcentaje de humedad de la cáscara de cacao



3.6. Técnicas de procedimiento y análisis de datos

En este ítem se describirá el procedimiento efectuado para la determinación del rendimiento de extracción de pectina, la calidad representada por el grado de metoxilo de la pectina obtenida con los parámetros óptimos y su empleo en la elaboración de jalea.

3.6.1 Parámetros óptimos de los factores de operación

Se exploraron diferentes niveles para cada variable independiente con el fin de observar su efecto en el rendimiento de extracción. Los datos obtenidos mediante la búsqueda univariada, que implica manipular una variable a la vez mientras las demás permanecen constantes, fueron procesados utilizando métodos de optimización de superficie de respuesta. Este método nos permite obtener el mejor rendimiento de extracción de pectina de la cáscara de cacao. Se trabajó con las cinco variables independientes pertinentes. A continuación, se detalla el procedimiento correspondiente:

- Se preparó una solución de ácido cítrico al 0,2 % con un pH = 3.
- Se agregó 30 g de cáscara de cacao seca en un vaso precipitado de 500 mL, y añadir la solución de ácido cítrico previamente preparado, las cantidades de la solución ácida varía según los ensayos.
- Se realizó la hidrólisis ácida con los factores o variables independientes con los parámetros determinados.
- Después de la hidrólisis ácida, se filtró a través de papel de filtro y un embudo de vidrio.
- Precipitar la pectina de la solución filtrada mediante la adición de alcohol etílico al 95 % en una proporción de 3:1 (alcohol: solución) y dejar reposar durante 24 horas. En este punto se forma un gel consistente.
- Se filtró la solución obtenida a través de papel de filtro y un embudo de vidrio, y secar el precipitado de pectina en una estufa a una temperatura de 40 ° C durante 24 horas.
- Pesar el precipitado de pectina obtenida y calcular el rendimiento de extracción.

En la figura 12 y 13 se muestra el diagrama de flujo de extracción de pectina y el procedimiento para determinar el rendimiento de extracción respectivamente.

Figura 12

Diagrama de flujo de extracción de pectina

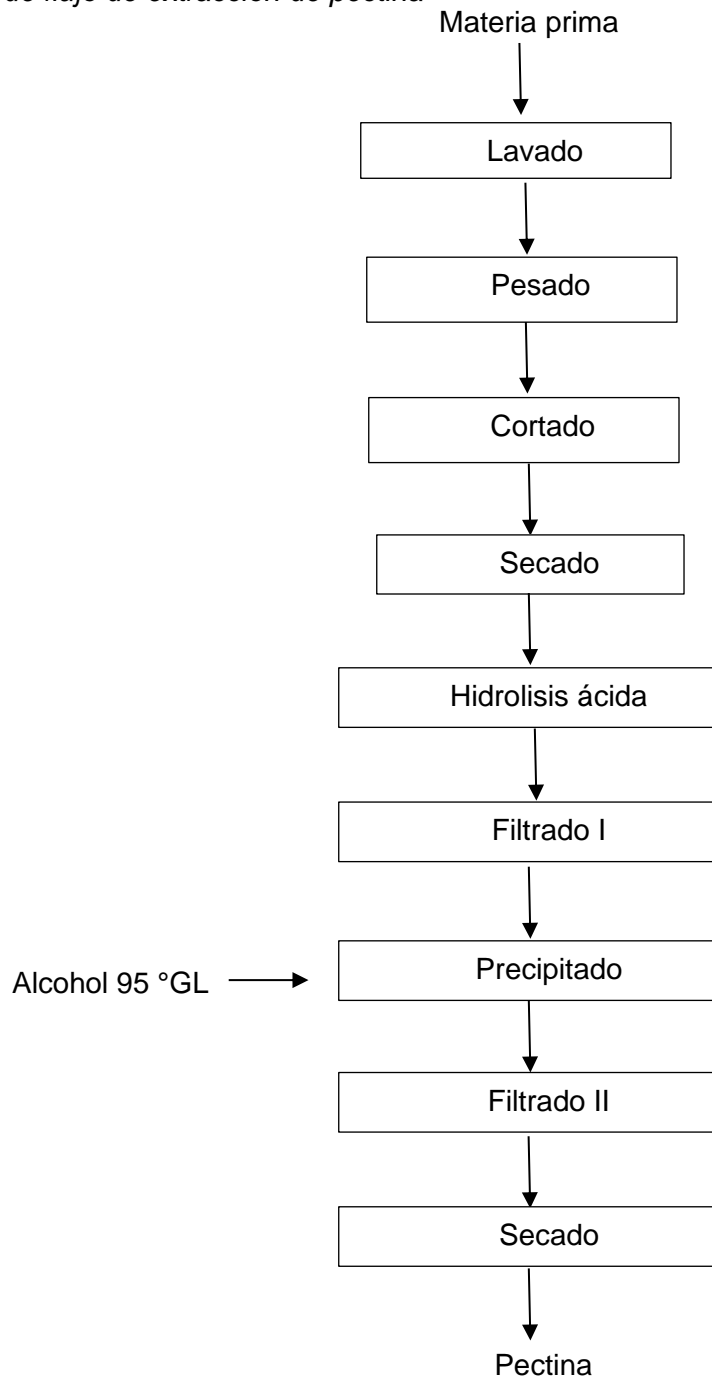
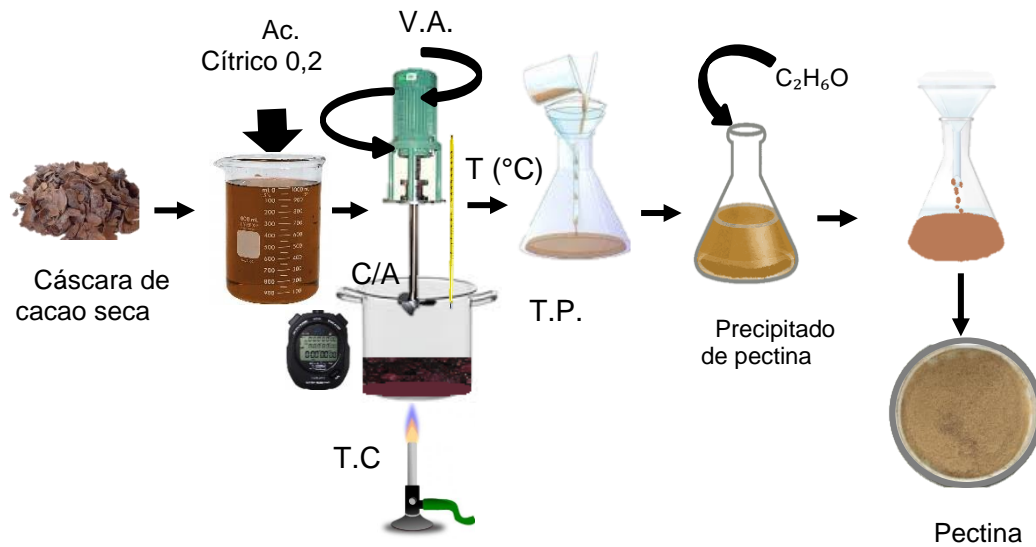


Figura 13

Procedimiento para determinar el rendimiento de extracción de pectina



Donde:

- V.A. : velocidad del agitador
- T : temperatura
- T.C. : tiempo de contacto
- C/A : relación entre la cáscara de cacao y la solución ácida
- T.P. : tamaño de partícula

Para el cálculo del porcentaje de extracción de pectina se aplicó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{g pectina obtenido}}{\text{g pectina en la cáscara de cacao}} \times 100$$

3.7 Calidad de la pectina

3.7.1 Determinación del peso equivalente y acidez libre

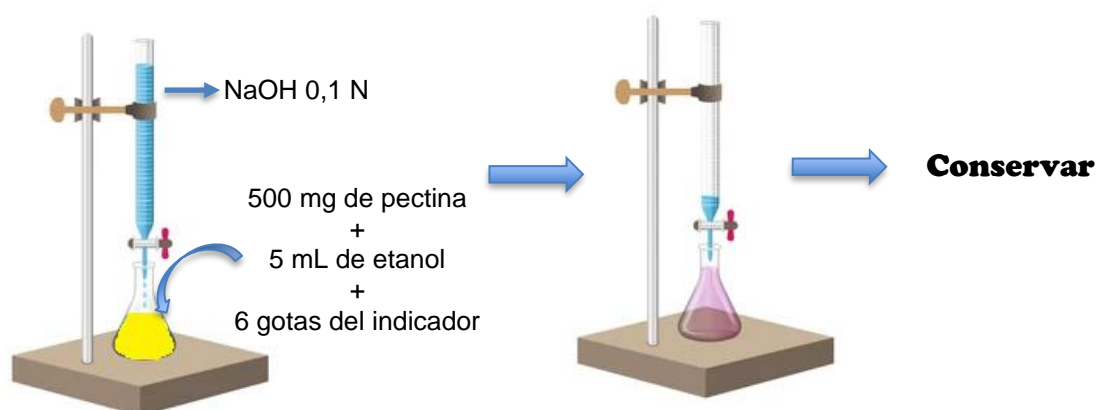
La pectina, expresada en base seca, fue evaluada considerando su acidez libre, porcentaje de metoxilo (%ME), grado de esterificación (%GE) y contenido de ácido galacturónico (%AGG), de acuerdo con la metodología propuesta por Owens (Owens et al., 1952; citado en Mendoza et al., 2017).

La acidez libre se determina como el inverso del peso equivalente. Estas propiedades se cuantificaron mediante titulación con una solución de NaOH, estableciendo la relación entre el peso de la muestra y los miliequivalentes de hidróxido de sodio consumidos durante el proceso. El procedimiento consistió en pesar 500 mg

de pectina en un matraz de 250 mL, humedecerla con 5 mL de etanol absoluto, agregar 100 mL de agua destilada y seis gotas de indicador rojo fenol. Posteriormente, la mezcla se agitó y se tituló con NaOH 0,1 N hasta observar el cambio de color de amarillo a rojo. La solución neutra obtenida se conservó para la posterior determinación del contenido de metoxilo.

Figura 14

Procedimiento para determinar el peso equivalente



$$\text{peso equivalente (mg/meq)} = \frac{\text{peso de la pectina (mg)}}{\text{meq A}}$$

$$\text{miliequivalentes (meq)} = \text{volumen gastado (mL)} \times \text{Normalidad (N)}$$

La determinación de la acidez libre se realizó aplicando la fórmula que relaciona los miliequivalentes de NaOH consumidos —los cuales representan los grupos carboxilos libres presentes en la pectina— con el peso de la muestra analizada (Gamboa, 2009).

Para el procedimiento experimental, se preparó una disolución conteniendo 0,5 g de pectina extraída, a la cual se añadieron 25 mL de agua destilada y cinco gotas de fenolftaleína al 1 % como indicador. Posteriormente, se cargó una bureta con solución de NaOH 0,1 N. La mezcla se mantuvo en agitación magnética durante aproximadamente 30 minutos y, seguidamente, se procedió a titular lentamente con la solución de NaOH 0,1 N hasta observar la aparición de un tono rosado. En ese punto se cerró la llave de la bureta y se registró el volumen de titulación empleado.

$$\text{Acidez libre (meq de carboxilos libres/g)} = \frac{\text{meq A}}{\text{Peso pectina (g)}}$$

Dónde:

meq A = meq de NaOH utilizados en la titulación

3.7.2 Determinación del contenido de metoxilo

Se utilizó con pH neutro que quedó de la valoración del Peso Equivalente, que continua con 500 mg de pectina, se le agregó 12,5 mL de NaOH 0,25 N; al matraz que contiene la solución anterior, se agitó por 10 minutos y se dejó en reposo por 30 minutos, tapado y a temperatura ambiente. Se adicionó 12,5 mL de HCL 0,25 N; para luego proceder a la titulación con NaOH 0,1 N, hasta el punto final obteniéndose una coloración rojiza o a un pH 7,5; Por ser está una reacción reversible, no es necesario agregar más indicador.

$$\% MeO = \frac{meq B \times 31 \times 100}{peso muestra (mg)}$$

Dónde:

31: peso molecular del metóxilo (CH₃O) expresado en mg/meq

meq B = meq de NaOH utilizados en la titulación

El porcentaje de metoxilo indica la proporción de unidades de ácido anhidro galacturónico (AGG) cuyos grupos carboxilos han sido esterificados por metanol (Mejía, 2010).

3.7.3 Determinación del grado de esterificación

El grado de esterificación se midió relacionando los meq B gastados en la titulación de determinación del porcentaje de metoxilación y la suma del total de los meq A gastados en la titulación de determinación del peso equivalente y meq B.

$$\% G.E = \frac{meq B}{(meq B + meq A)} \times 100$$

Dónde:

meq A = miliequivalentes utilizados en la primera titulación NaOH 0,1 mol/L

meq B = miliequivalentes utilizados de NaOH 0,1 mol/L en la segunda titulación para determinar el contenido de metoxilo

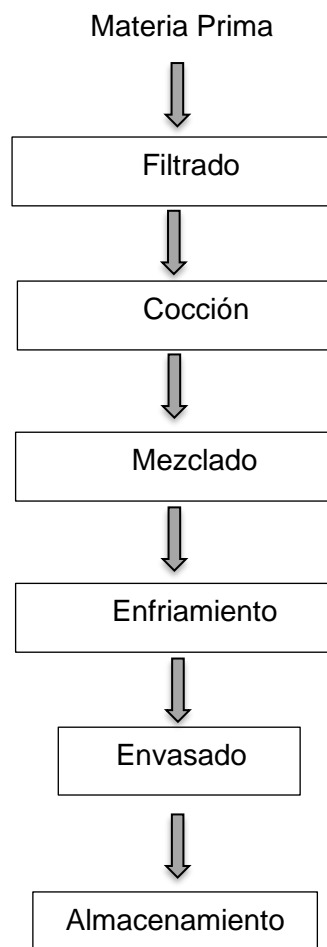
3.8 Elaboración de jalea

Una vez obtenido la pectina se procede a elaborar la jalea, para ello se desarrolló el siguiente flujograma:

1. **Recepción de materia prima:** Se recibe la materia prima, que viene a ser el mucilago de cacao.
2. **Filtrado:** Con una malla se realizó el filtrado a fin de eliminar impurezas presentes.
3. **Cocción:** En una olla se añadió el mucilago de cacao fueron, seguido se añadió la pectina obtenida a partir de la cáscara de cacao.
4. **Mezclado:** Se realizó el mezclado durante el tiempo de 30 minutos hasta conseguir el hervor y tener una consistencia más viscosa.
5. **Enfriamiento:** Se realizó el enfriamiento por 1 hora a temperatura ambiente y se prosiguió a envasar.
6. **Envasado y Almacenamiento:** Se realizó el envasado en frascos de vidrio con tapa y se almaceno a temperatura ambiente.

Figura 15

Diagrama de flujo de elaboración de jalea



IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Se determinaron los valores óptimos de los factores que intervienen en la extracción de pectina a partir de la cáscara de cacao, con el objetivo de alcanzar el máximo rendimiento en el proceso. Durante las pruebas experimentales en laboratorio, se mantuvieron constantes las variables no evaluadas, mientras que cada variable independiente fue modificada de manera controlada para observar su comportamiento individual y definir la curva de mayor extracción. Esto permitió establecer un diseño experimental próximo a la zona de máxima eficiencia del proceso.

Para el análisis de los resultados, se aplicó la metodología de optimización de Superficie de Respuesta (RSM), la cual facilita la identificación de las condiciones óptimas que permiten maximizar el rendimiento de extracción de la pectina.

Las figuras presentadas a continuación muestran las interacciones significativas entre los factores evaluados y su efecto sobre la variable de respuesta. Por ejemplo, en una interacción tipo (AB), los niveles del primer factor (A) se representan en el eje X, mientras que los del segundo factor (B) se ubican en el eje Y.

4.1 Humedad de la cáscara de cacao

La materia prima está conformada por la cáscara de cacao. La cantidad de agua presente en la cáscara de cacao se determinó por medio del método de determinación de la humedad por estufa, cuyo valor es coherente con la bibliografía consultada.

Figura 16

Materia prima cáscaras de cacao



De esta manera se tiene la siguiente tabla que muestra los cálculos del porcentaje de humedad de la cáscara de cacao.

Tabla 7

Porcentaje de humedad de la cáscara de cacao

N°	Porcentaje de humedad (%)
1	83,87
2	81,25
3	86,67
Promedio	83,93

Los resultados que figuran en la tabla nos indica una humedad promedio de 83,93 % de la cáscara de cacao en la variedad Vrae 99, estos datos se asemejan a lo detallados en la bibliografía tal cual lo menciona Nizama, 2015, que el valor de humedad presente en la cascará de cacao es de 85,00 %; (Rengifo y Macías, 2019), nos detalla un valor de 85,10%. Estos datos presentados pueden variar en pequeñas fracciones debido a la variedad de cacao empleado y los pisos ecológicos dónde se realizan los estudios, sin embargo, estos datos que se reflejan no deben variar en mayores proporciones.

4.2 Pectina en la cáscara de cacao

La determinación de la fracción másica porcentual de pectina presente en la cáscara de cacao se llevó a cabo mediante los ensayos de extracción total descritos en el ítem 3.6.1. Los valores obtenidos se muestran a continuación.

Tabla 8

Porcentaje de pectina de la cáscara de cacao

N°	Porcentaje de pectina (%)
1	11,26
2	11,42
3	11,34
Promedio	11,34

En la Tabla 8 se observa un valor promedio de 11,34 % de pectina en la cáscara de cacao. Este resultado difiere de los reportados por diversos autores referenciados en el marco teórico, quienes registraron valores menores debido a que sus cálculos se realizaron considerando la masa total del material de partida.

La ecuación empleada para el cálculo de la fracción másica se enfocó específicamente en el contenido de pectina, lo que explica la diferencia con los valores reportados en otros estudios. Así, Barazarte et al. (2008) reportaron rendimientos de 2,64 a 4,69 g/100 g de pectina obtenida a partir de cáscaras de cacao, mientras que Suárez y Marín (2019) obtuvieron valores de 3,5 % y 3,7 % de pectina extraída. Las discrepancias entre los resultados pueden atribuirse a que los cálculos basados en la masa total podrían incluir otras sustancias solubles no correspondientes a pectina.

Por otro lado, Barazarte et al. (2008) también señalan en sus investigaciones que el contenido de pectina puede encontrarse en un rango de 8 a 10 g/100 g, lo que resalta el potencial de la cáscara de cacao como una fuente viable de este polisacárido. Los resultados obtenidos en el presente estudio, por tanto, evidencian un rendimiento considerablemente alto, reforzando la importancia de esta biomasa como materia prima para la extracción de pectina.

4.3 Efecto del tamaño de partícula en la extracción

En esta sección se analiza el efecto del tamaño de partícula sobre el rendimiento de la extracción de pectina de la cáscara de cacao bajo condiciones univariadas de operación. Para ello, se realizaron ensayos con seis tamaños de partícula diferentes, manteniendo

constantes los demás parámetros experimentales en sus valores máximos: temperatura (95 °C), tiempo de contacto (100 min) y relación sólido-líquido (1:15).

La Figura 17 muestra los distintos tamaños de partícula de la cáscara de cacao de la variedad VRAE 99 (deshidratada) evaluados en los seis niveles experimentales. Los resultados obtenidos en laboratorio se resumen en la Tabla 9, y su representación gráfica se presenta también en la Figura 17.

Tabla 9

Porcentaje de rendimiento de la pectina extraída según el tamaño de partícula

N°	Tamaño de partícula		Rendimiento (% peso)
	Ancho (cm)	Largo (cm)	
1	4	4	17,18
2	3	3	22,23
3	2	2	26,66
4	1	1	30,36
5	0,5	0,5	36,76
6	Fino		41,66

Figura 17

Muestras de tamaño de partícula de la cáscara de cacao

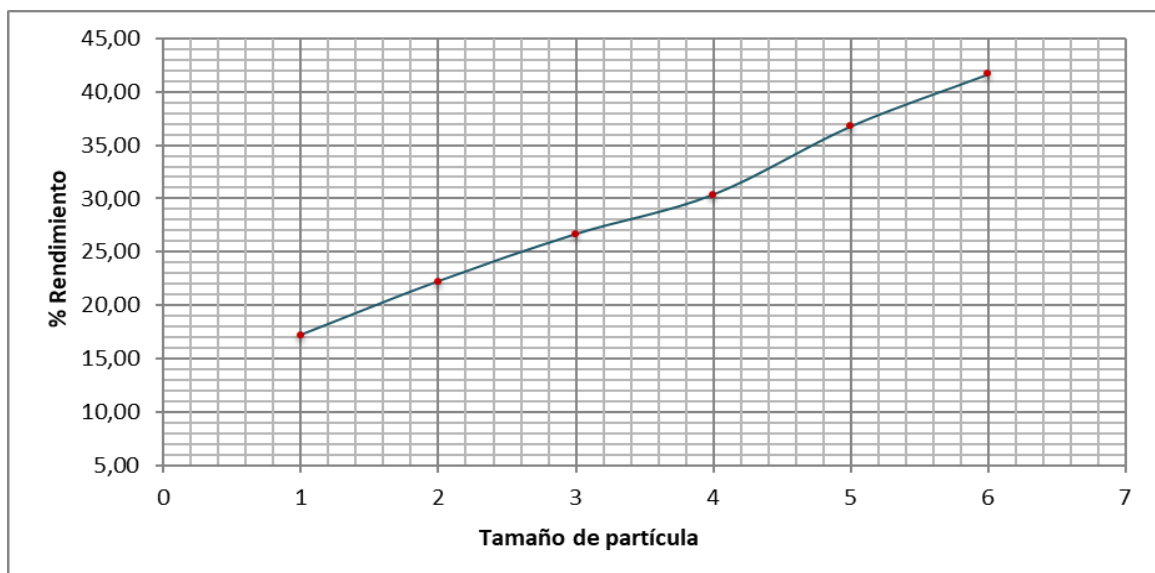


Durante el desarrollo del experimento, se observó una relación inversamente proporcional entre el tamaño de partícula y el rendimiento de extracción. Este comportamiento resulta coherente desde un punto de vista teórico, ya que al reducirse el tamaño de partícula, se incrementa la superficie de contacto interfacial entre la cáscara y la solución ácida, favoreciendo una difusión más eficiente de los compuestos pectínicos hacia el medio líquido.

En consecuencia, la disminución del tamaño de partícula mejora significativamente la eficiencia del proceso de extracción, confirmando que un menor tamaño favorece la liberación de pectina debido a la mayor exposición del material celular a la acción del agente extractante

Figura 18

Porcentaje de rendimiento de pectina extraída en función al tamaño de partícula



Los resultados obtenidos en los ensayos experimentales evidenciaron un incremento significativo en el rendimiento de extracción de pectina conforme se optimizó el tamaño de partícula. A partir de estos hallazgos, se determinó que el tamaño de partícula óptimo para la extracción de pectina a partir de la cáscara de cacao corresponde al tamaño "5", dado que permitió una adecuada filtración y manipulación del material, a diferencia del tamaño "6", el cual presentó dificultades técnicas en el proceso de filtrado debido a su elevada finura.

De acuerdo con lo señalado por Ramírez et al. (2016), la eficiencia del proceso de extracción aumenta cuando las partículas son más finas, ya que una mayor superficie interfacial favorece la transferencia de masa y la liberación de los compuestos

pectínicos. No obstante, cuando las partículas alcanzan un grado de finura excesivo, tienden a aglomerarse, lo que genera resistencia al flujo del solvente y complica la etapa de separación.

La optimización del tamaño de partícula constituye, por tanto, un factor crítico para maximizar el rendimiento del proceso. La relación directa entre la reducción del tamaño de partícula y el incremento en el rendimiento de extracción se explica por la mayor área superficial disponible y la aceleración de la cinética de extracción. Sin embargo, considerando el equilibrio entre eficiencia técnica y viabilidad económica, se concluye que el tamaño de partícula "5" (0,5 × 0,5 cm) representa la opción más adecuada, al facilitar el proceso extractivo y proporcionar un rendimiento elevado sin comprometer la operatividad ni los costos del procedimiento.

4.4 Efecto de la agitación en la extracción

La intensidad de la agitación durante el proceso de hidrólisis ácida ejerce un papel determinante en la dinámica del sistema, ya que una mayor turbulencia del medio contribuye a mantener las partículas en suspensión, optimizando el contacto sólido-líquido y favoreciendo la difusión convectiva de los compuestos solubles hacia la fase líquida.

Para evaluar este efecto, se llevó a cabo la extracción de pectina a diferentes velocidades de agitación expresadas en revoluciones por minuto (RPM), utilizando un agitador marca Heidolph, equipo que además se empleará en la evaluación de las siguientes variables experimentales. Se desarrollaron ensayos a cinco niveles de velocidad, con el fin de determinar la influencia de este parámetro sobre el rendimiento del proceso.

Los resultados obtenidos en esta etapa experimental se resumen en la Tabla 10 y se representan gráficamente en la Figura 19, evidenciando las variaciones en el rendimiento de pectina en función de la intensidad de agitación aplicada.

Tabla 10

Porcentaje de rendimiento de pectina extraída según la velocidad de agitación

N°	Velocidad del agitador (RPM)	Rendimiento (% peso)
1	125	12,69
2	190	17,28
3	300	23,44
4	500	24,87
5	800	26,08

Aunque el equipo de agitación utilizado contaba con un rango operativo de 45 a 2000 RPM, se optó por limitar los ensayos hasta 800 RPM. No se continuó con velocidades superiores debido a que una agitación excesiva provocaba el desplazamiento de las partículas sólidas de la cáscara de cacao hacia las paredes del recipiente, lo que reducía el contacto efectivo entre las fases sólida y líquida y, por ende, afectaba la eficiencia del proceso de extracción.

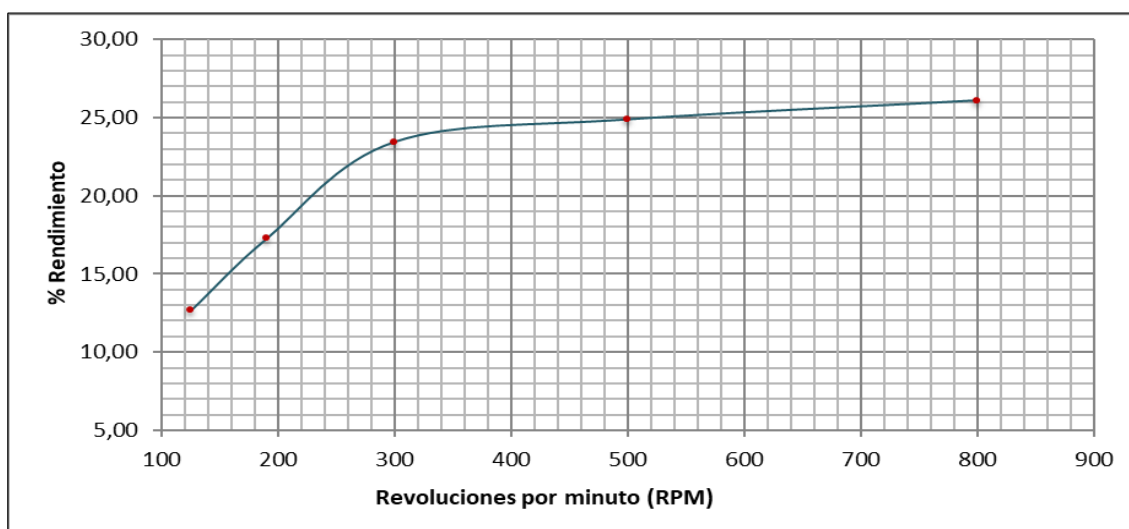
Tal como se aprecia en la Figura 19, el rendimiento de extracción no presentó incrementos significativos a partir de 300 RPM, lo cual indica que una mayor intensidad de agitación no necesariamente mejora el porcentaje de recuperación de pectina. Este comportamiento sugiere que velocidades superiores a 800 RPM no aportarían beneficios adicionales en términos de rendimiento.

De acuerdo con lo reportado por Ramírez et al. (2016), la agitación influye positivamente en la transferencia de masa, al incrementar los coeficientes de intercambio en la interfaz sólido-líquido y evitar la sedimentación o aglomeración de las partículas. Sin embargo, el exceso de turbulencia puede generar un efecto contrario, disminuyendo el tiempo de contacto entre el solvente y la materia prima.

Por esta razón, se estableció como velocidad óptima de operación 800 RPM, alcanzándose un rendimiento promedio del 26,08 % en peso. Dicho valor refleja una zona de estabilidad en la curva de rendimiento, sin variaciones estadísticamente significativas al incrementar la velocidad de agitación, como se muestra de manera específica en la figura correspondiente.

Figura 19

Porcentaje de rendimiento de pectina extraída en función a la velocidad de agitación



Por lo tanto, de los resultados obtenidos se determinó que la velocidad de agitación óptima para la extracción de pectina de la cáscara de cacao es de 300 RPM, ya que a esta velocidad no se origina pérdida de producto, y se puede extraer la pectina de forma controlada.

4.5 Efecto del tiempo de contacto en la extracción

En este caso, se llevaron a cabo los ensayos con el propósito de identificar el tiempo de contacto óptimo, utilizando agitación, entre la cáscara de cacao y la solución ácida. Se establecieron siete niveles de variación del tiempo para evaluar el rendimiento de la pectina extraída.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 11 y en la figura 20.

Tabla 11

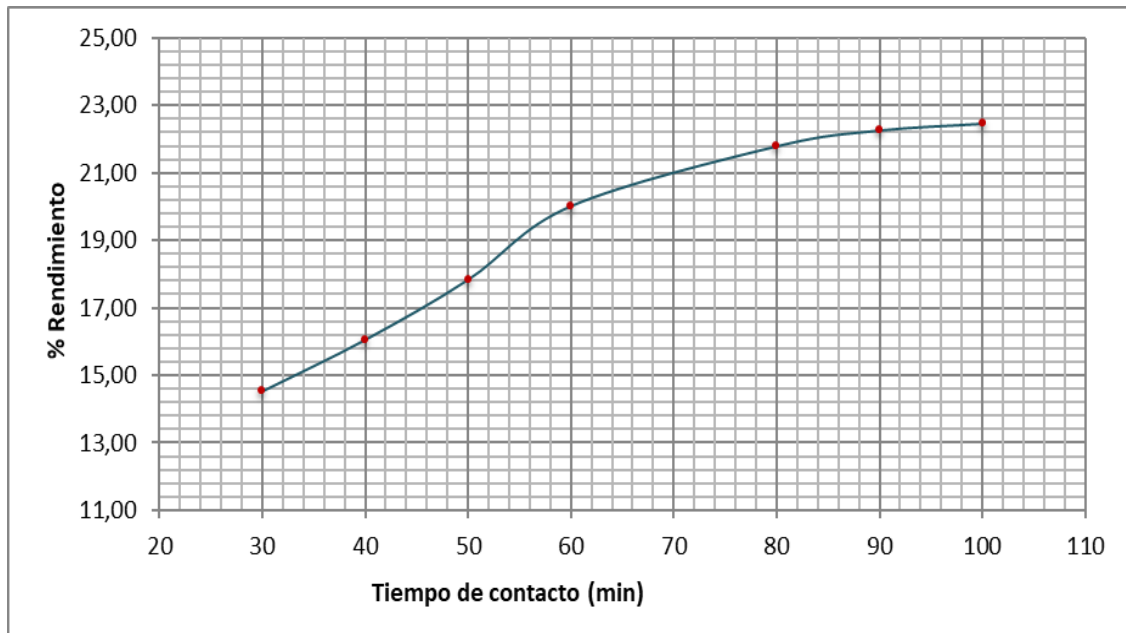
Porcentaje de rendimiento de pectina extraída según el tiempo de contacto

N°	Tiempo de contacto (min)	Rendimiento (% peso)
1	30	14,54
2	40	16,07
3	50	17,84
4	60	20,02
5	80	21,79
6	90	22,26
7	100	22,46

En la tabla se puede observar que a partir del minuto 60, el porcentaje de extracción en rendimiento es de 20,02 %, a partir de ese minuto la variación en rendimiento de extracción no varía de forma exponencial, por ello se realizó la siguiente gráfica a fin de determinar el punto óptimo de rendimiento de pectina extraída en función al tiempo de contacto.

Figura 20

Porcentaje de rendimiento de pectina extraída en función al tiempo de contacto



El tiempo necesario para lograr la máxima extracción de pectina de la cáscara de cacao se alcanzaría cuando la curva de rendimiento de extracción con agitación tienda a estabilizarse o cuando sus variaciones sean mínimas. Según el análisis del método de superficie de respuesta que se describe en el ítem 4.8, el tiempo de contacto óptimo con agitación es de 65 minutos.

4.6 Efecto de la relación de cáscara de cacao con la solución ácida

El objetivo de los experimentos realizados en esta sección del estudio es analizar cómo influye la proporción de cáscara de cacao y una solución ácida de ácido cítrico al 0,2 % en el rendimiento de la extracción de pectina de la cáscara de cacao. Para ello, se llevaron a cabo pruebas utilizando ocho niveles diferentes. Los resultados obtenidos se detallan en la tabla 12 y se ilustran en la figura 21.

Tabla 12

Porcentaje de rendimiento de pectina extraída según la cantidad de solución ácida

N°	Relación (C/A)	Cantidad de solución ácida (g)	Rendimiento (% peso)
1	1:3	150	8,46
2	1:5	250	21,33
3	1:6	300	28,21
4	1:8	400	37,57
5	1:10	500	40,56
6	1:11	550	41,80
7	1:12	600	41,98
8	1:13	650	42,15

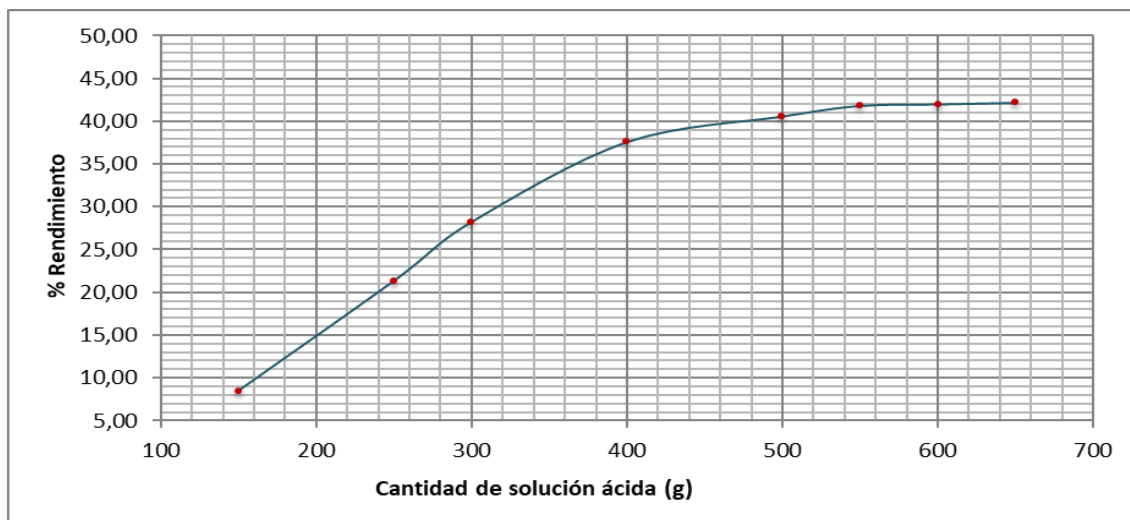
Nota. La cantidad de cáscara de cacao para todos los ensayos fue de 50 g, por ello al multiplicar por la relación C/A nos dará el resultado de la cantidad de solución ácida en gramos.

En la tabla se visualiza el desarrollo de ocho pruebas experimentales, dónde a partir del nivel 4, existe un rendimiento de 37,57 %, y a partir de ello los incrementos son mínimos. Por tanto, en la figura 20 se puede apreciar una relación directa entre el rendimiento de la extracción de pectina y la cantidad de solución de ácido cítrico al 0,2 %. Se observa que el rendimiento aumenta notablemente hasta alcanzar una cantidad de 400 gramos de solución ácida. No obstante, al continuar incrementando la cantidad de solución ácida más allá de los 400 gramos, mientras se mantiene constante la masa de cáscara de cacao utilizada, los aumentos en el rendimiento se vuelven menos significativos.

Se determina que la cantidad de solución de ácido cítrico es 444,29 g que corresponde a una relación de cáscara de cacao y solución ácida (C/A) de 8,88.

Figura 21

Porcentaje de rendimiento de pectina extraída en función a la cantidad de solución ácida



4.7 Efecto de la temperatura en la extracción

Para analizar cómo varía el rendimiento de la extracción de pectina con la temperatura, se llevaron a cabo experimentos a diferentes temperaturas. Se probaron seis niveles de temperatura, que van desde los 75 °C hasta los 95 °C. Los resultados obtenidos están detallados en la tabla 13 y se representan gráficamente en la figura 22.

Tabla 13

Porcentaje de rendimiento de pectina extraída según la temperatura

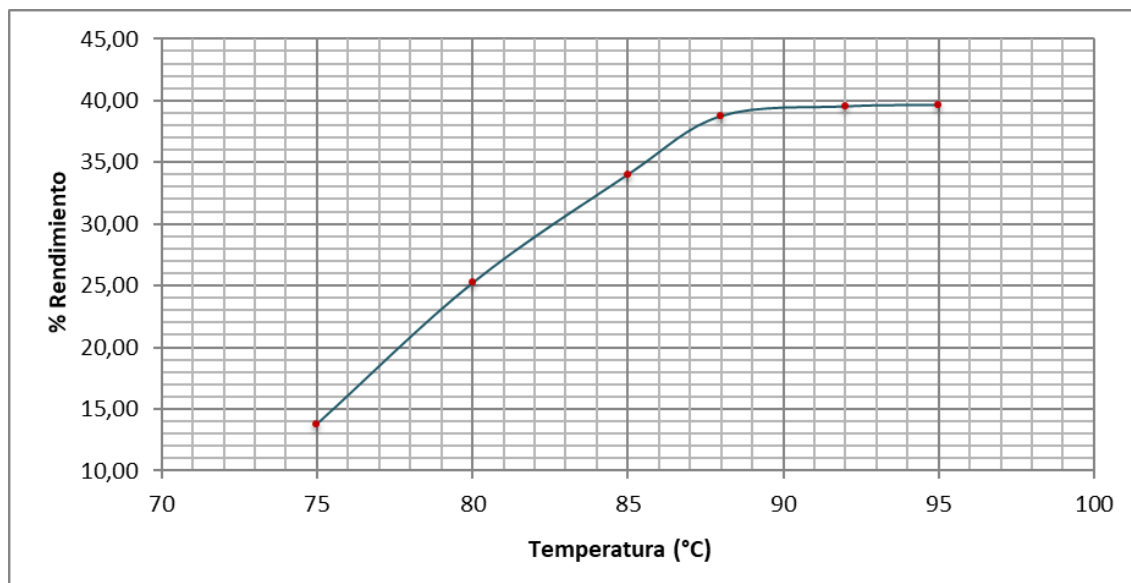
N°	Temperatura (°C)	Rendimiento (% peso)
1	75	13,76
2	80	25,21
3	85	34,03
4	88	38,78
5	92	39,55
6	95	39,67

En la figura 22, se puede apreciar una correlación directa entre la temperatura y la cantidad de sólidos solubles extraídos de la cáscara de cacao. La relación muestra una pendiente ascendente hasta alcanzar los 88 °C. A partir de esa temperatura, la pendiente disminuye, y los incrementos en el rendimiento de la pectina extraída se

vuelven insignificantes. Mediante el uso de la herramienta de superficie de respuesta se ha establecido que la temperatura óptima es de 87 °C.

Figura 22

Porcentaje de rendimiento de pectina extraída en función a la temperatura



4.8 Optimización de los factores que influyen en el rendimiento de extracción de pectina

En la presente investigación se evaluaron cinco factores principales que inciden en el rendimiento de extracción de pectina a partir de la cáscara de cacao: tamaño de partícula, velocidad de agitación, tiempo de extracción, relación cáscara de cacao–solución ácida y temperatura.

En el caso del tamaño de partícula, considerado como un factor categórico (niveles “1, 2, 3, 4 y 5”), se determinó que el nivel óptimo corresponde al tamaño “5”, dado que facilita el proceso de extracción y evita complicaciones durante la etapa de filtración. A medida que el tamaño de partícula disminuye, la filtración se vuelve más compleja debido a la obstrucción del material sólido.

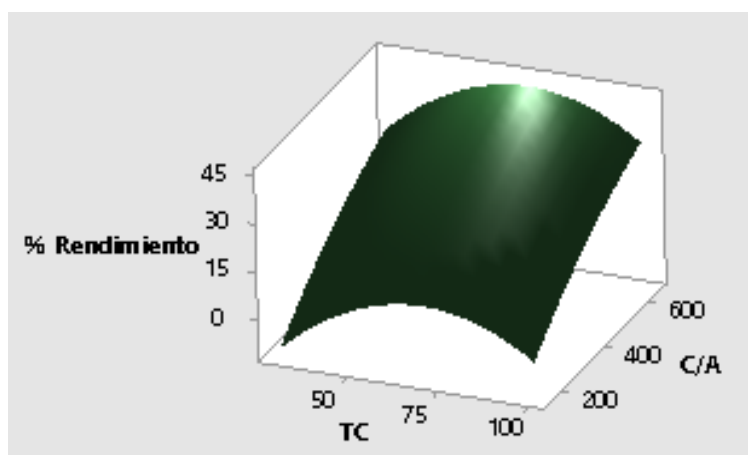
Con respecto a la velocidad de agitación, es importante señalar que el equipo utilizado, el agitador Heidolph, trabaja con valores enteros de revoluciones por minuto (RPM). Se estableció como velocidad óptima 300 RPM, puesto que el siguiente valor evaluado (500 RPM) no evidenció diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje de rendimiento de pectina obtenido.

En cuanto a los tres factores restantes (tiempo de extracción, relación sólido-líquido y temperatura), se aplicó el método de superficie de respuesta (RSM, por sus siglas en inglés) para identificar la combinación de niveles que maximiza la eficiencia del proceso.

Los resultados obtenidos muestran que la curvatura observada en la superficie de respuesta refleja una relación no lineal entre las variables, lo que indica que ni el tiempo de contacto (TC) ni la proporción de solución ácida tienen un efecto estrictamente proporcional sobre el rendimiento de extracción. Se observa que, al incrementar el tiempo de contacto desde niveles bajos hacia niveles intermedios y altos, el porcentaje de rendimiento de pectina tiende a aumentar progresivamente. No obstante, se identifica un punto de saturación, a partir del cual una mayor prolongación del tiempo de contacto no genera incrementos significativos en la cantidad de pectina extraída.

Figura 23

Superficie de respuesta del porcentaje de rendimiento, factor tiempo de contacto y cantidad de solución ácida



Un aumento en la cantidad de solución ácida (C/A) también muestra un efecto positivo sobre el rendimiento de extracción de pectina, aunque de forma más moderada en comparación con el tiempo de contacto. Se observa que la mayor eficiencia se alcanza cuando la cantidad de solución ácida se encuentra en un rango entre 400 g y 500 g, después del cual el incremento adicional del volumen ácido no genera mejoras significativas en el rendimiento del proceso.

En cuanto a la interacción de factores, la curvatura de la superficie de respuesta evidencia que la interacción entre el tiempo de contacto (TC) y la cantidad de solución ácida (C/A) resulta significativa. Esto implica que el rendimiento de extracción no depende de manera aislada de un solo factor, sino de una combinación óptima entre ambos. Una interacción positiva indica que el porcentaje de rendimiento máximo se alcanza cuando ambos factores se incrementan de manera simultánea hasta un punto crítico. Mediante la aplicación del método de superficie de respuesta (RSM) es posible determinar este punto óptimo de operación, que maximiza la eficiencia del proceso

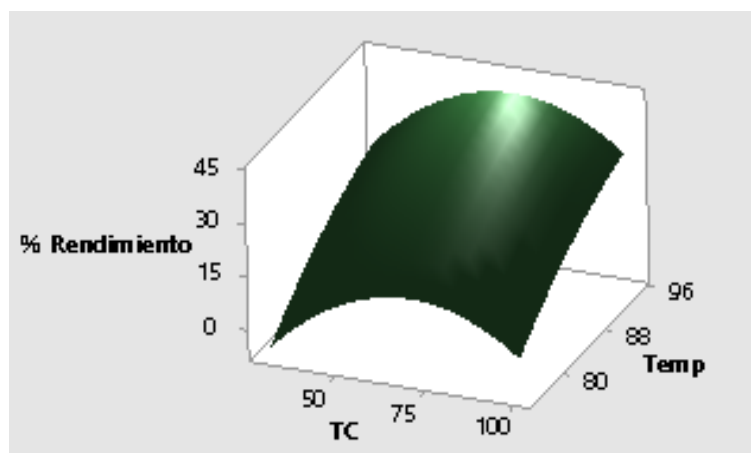
evitando excesos de reactivos o tiempos prolongados que no aportan mejoras adicionales.

De acuerdo con Cobeñas y Guerrero (2018), la eficiencia del proceso extractivo se encuentra fuertemente influenciada por la interacción entre el tiempo de contacto y la concentración de ácido, lo cual coincide con los resultados obtenidos en la presente investigación. Los autores demostraron que un mayor tiempo de contacto favorece la disolución de las estructuras pécticas, incrementando el rendimiento de extracción. En esa misma línea, Calderón (2017) señaló que la concentración de ácido desempeña un papel crucial en la ruptura de las paredes celulares de la cáscara de cacao, facilitando la liberación de pectina; sin embargo, advirtió que niveles excesivos de acidez no mejoran significativamente el rendimiento, estableciendo un límite de eficiencia.

Asimismo, Betancourt y Llano (2009) destacaron que la agitación contribuye a incrementar la eficiencia global del sistema, al mejorar la transferencia de masa entre las fases sólido-líquido, lo que se traduce en un mayor rendimiento en comparación con los procesos sin agitación. En el estudio realizado por Cobeñas y Guerrero (2018), se trabajó con un tiempo de contacto de 60 minutos, obteniendo un rendimiento del 16,17 % de pectina a partir de cáscara de cacao. Por su parte, Nizama (2015) reportó mayor rendimiento con un tiempo de 90 minutos, resultado que se atribuye a la ausencia de agitación durante el proceso, lo que exigió un mayor tiempo de contacto para alcanzar la liberación de pectina. Finalmente, Calderón (2017) obtuvo pectina a partir de cáscara de cacao de la variedad CCN-51, procedente del distrito de Pajarillo, alcanzando un tiempo óptimo de 40 minutos, aunque con la particularidad de emplear alcohol isopropílico como agente precipitante.

Figura 24

Superficie de respuesta del porcentaje de rendimiento, factor tiempo de contacto y temperatura



En la Figura 24 se aprecia que, a medida que el tiempo de contacto aumenta, el rendimiento de extracción de pectina también presenta un incremento significativo. Este comportamiento sugiere que un tiempo de contacto prolongado favorece una mayor disolución y liberación de pectina contenida en la cáscara de cacao. Asimismo, se observa que un aumento en la temperatura del proceso contribuye de manera positiva al rendimiento, lo que se explica por el efecto térmico sobre la solubilidad de la pectina y la disgregación de las estructuras celulares, facilitando la transferencia de masa y la liberación del polisacárido hacia el medio ácido.

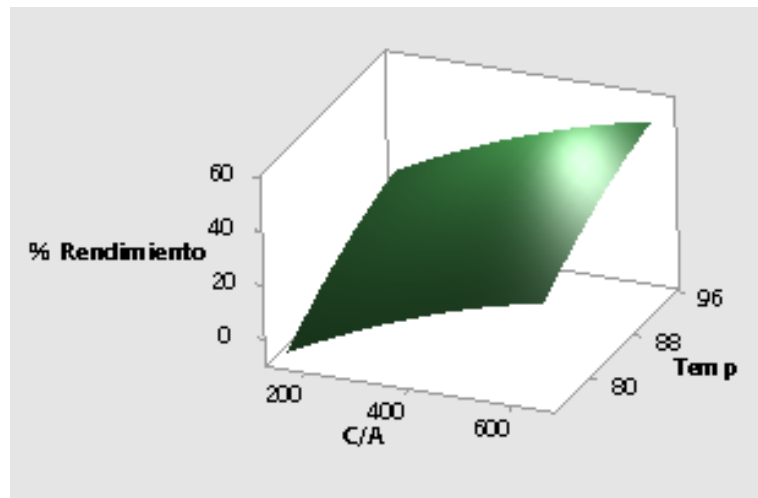
En cuanto a la interacción entre los factores, la curvatura observada en la superficie de respuesta evidencia una interacción positiva entre el tiempo de contacto y la temperatura, lo que significa que el mayor rendimiento de extracción se obtiene cuando ambas variables se incrementan de forma simultánea. No obstante, se identifica un punto crítico en el que el aumento de una o ambas variables deja de generar mejoras significativas, indicando la existencia de un límite de eficiencia en el proceso extractivo.

De acuerdo con Cobeñas y Guerrero (2018), el desarrollo del método de extracción por hidrólisis ácida requiere trabajar con una temperatura cercana a los 90 °C y un tiempo aproximado de una hora, condiciones que optimizan la liberación de pectina. En concordancia, los resultados de la presente investigación permitieron determinar una temperatura óptima de hidrólisis ácida utilizando ácido cítrico como agente extractante, obteniendo valores de rendimiento consistentes con lo reportado en la literatura.

Asimismo, Cedeño (2019) concluyó que el tratamiento que alcanzó el mayor rendimiento en la extracción de pectina fue aquel realizado a una temperatura de 90 °C, confirmando que este parámetro desempeña un papel determinante en la eficiencia del proceso de extracción.

Figura 25

Superficie de respuesta del porcentaje de rendimiento, factor cantidad de solución ácida y temperatura

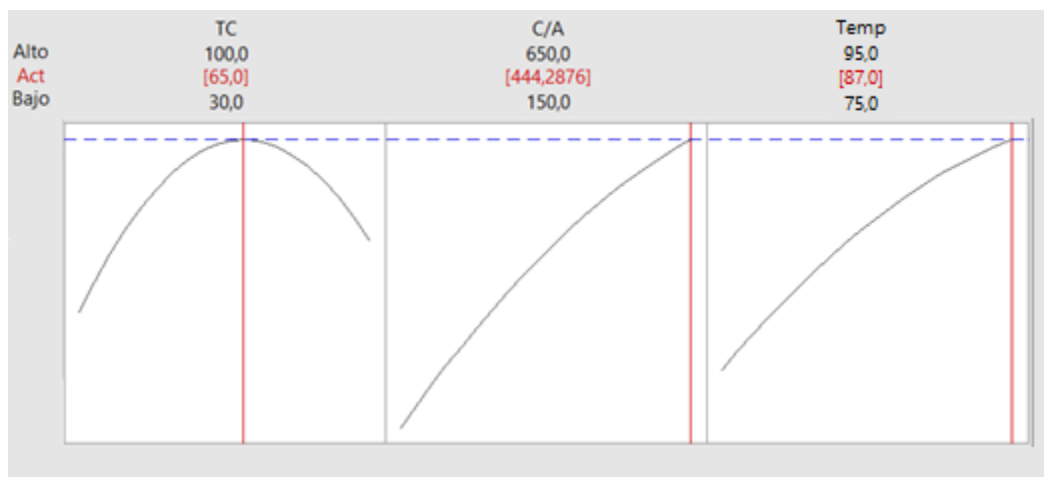


A medida que la cantidad de solución ácida aumenta, se observa una mejora en el % de rendimiento de extracción. Esto es comprensible, ya que una mayor concentración de ácido facilita la descomposición de las estructuras celulares de la cáscara de cacao, liberando más pectina. Sin embargo, la pendiente de la superficie sugiere que el incremento en el rendimiento se estabiliza a partir de un punto, entre 400 a 500 g, lo que indica que añadir más solución ácida después de cierto nivel no mejora significativamente el rendimiento. Un aumento de la temperatura también tiene un impacto positivo sobre el rendimiento de extracción. Las temperaturas más altas facilitan la ruptura de las paredes celulares y la solubilización de la pectina. Al igual que con la cantidad de solución ácida, hay un punto de saturación en el que la temperatura adicional no mejora drásticamente el rendimiento.

La superficie curva y ascendente indica una interacción positiva entre la cantidad de solución ácida y la temperatura.

Figura 26

Optimización del proceso de extracción de pectina



En la figura 26 se puede observar que el valor óptimo para el tiempo de contacto es de 65 minutos, la cantidad de solución ácida, es decir de ácido cítrico es de 444,29 g, lo que refleja una relación de cáscara de cacao y solución ácida de 1:9 redondeando. Respecto a la temperatura se obtuvo un valor óptimo de 87 °C.

4.9 Rendimiento de extracción de pectina con los valores óptimos

Se efectuaron ensayos con los valores máximos de los factores de la extracción de la hidrólisis ácida para la obtención de pectina de la cáscara de cacao, los valores se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 14

Valores óptimos para la extracción de pectina

Factor	Unidad	Valor
Tamaño de partícula	Ancho (cm) x alto (cm)	0,5 x 0,5
Velocidad de agitación	RPM	300
Tiempo	min	65
Relación de masa de cáscara de cacao y solución ácida	C/A	8,88
Temperatura	°C	87

Se realizó el procedimiento para determinar el rendimiento de extracción de pectina con los valores óptimos según el esquema que se muestra en la figura 9 del ítem 3.5.1.2. Por lo tanto, considerando los valores óptimos se obtuvo un rendimiento de extracción de pectina de la cáscara de cacao de 43,75 %. De acuerdo a la optimización de superficie de respuesta se tiene la siguiente ecuación de regresión.

$$\% \text{ Rendimiento} = -426 + 1,789 \text{ TC} + 0,1145 \text{ C/A} + 7,16 \text{ Temp} - 0,01284 \text{ TC} \cdot \text{TC} - 0,000059 \text{ C/A} \cdot \text{C/A} - 0,0338 \text{ Temp} \cdot \text{Temp}$$

Donde:

TC: Tiempo de contacto

C/A: Relación de masa de cáscara de cacao y solución ácida

Temp: Temperatura

Cobeñas y Guerrero, (2018), dicen que el tiempo para una hidrólisis ácida es de una hora, entonces al desarrollar la extracción se obtuvo como un valor óptimo de tiempo de agitación de 65 minutos, con una temperatura de 87 °C, el tamaño de partícula que facilita la extracción es de 0,5 cm x 0,5 cm (ancho x alto) y a una velocidad de agitación de 300 RPM. La pectina obtenida una vez seca se procedió a la trituración, y se determinó su grado de metoxilo y se elaboró una jalea.

4.10 Calidad de la pectina obtenida

Las pectinas se dividen en dos categorías: alto metoxilo y bajo metoxilo, según su grado de metoxilación. Este grado se refiere a la proporción de grupos carboxílicos que han sido metoxilados por cada 100 unidades de ácido galacturónico (Nizama, 2015).

A continuación, se presenta los resultados de los cálculos realizados.

$$\text{peso equivalente (mg/meq)} = \frac{\text{peso de la pectina (mg)}}{\text{meq A}}$$

$$\text{peso equivalente (mg/meq)} = \frac{330 \text{ mg}}{0,21} = 1571,42$$

$$\text{Acidez libre} = \frac{\text{meq A}}{\text{Peso pectina (g)}}$$

$$\text{Acidez libre} = \frac{0,21}{0,33 \text{ g}} = 0,64$$

$$\% \text{ MeO} = \frac{\text{meq B} \times 31 \times 100}{\text{peso muestra (mg)}}$$

$$\% \text{ MeO} = 3,01$$

$$\% G.E = \frac{meq B}{(meq B + meq A)} \times 100$$

$$\% G.E = 59,62$$

Dónde:

meq A = meq de NaOH utilizados en la primera titulación

meq B = meq de NaOH utilizados en la segunda titulación

31: peso molecular del metoxilo (CH₃O) expresado en mg/meq

Las pectinas con capacidad para formar geles presentan un peso equivalente alto, un contenido significativo de metoxilo y un alto grado de esterificación. Calderón (2017) obtuvo un grado de metoxilo con un valor de 6,69 % y Rodríguez (2023) con un valor de 2,38 %. Según Nizama (2015), las pectinas se clasifican en pectinas de alto metoxilo, que son aquellas en las que entre el 50 % y el 80 % de los grupos carboxílicos están esterificados con metoxilo, lo cual les permite ser solubles en agua. Es importante señalar que una pectina con un 100 % de esterificación se clasificaría como protopectina. Por otro lado, las pectinas de bajo metoxilo tienen generalmente un grado de esterificación inferior al 50 %. Esto significa que, de cada 100 grupos carboxílicos, solo 50 o menos están esterificados con grupos metoxilo. Si el grado de metoxilación es del 0 %, se trataría de ácido péctico.

Los resultados obtenidos forman parte para una pectina de bajo metoxilo y sus características es de formar geles menos consistentes lo cual podría ser empleado en la elaboración de productos dietéticos, elaboración de yogures y espesantes de salsas, entre otros. De acuerdo a los estudios realizados por (Barazarte et al., 2008), mencionan que las pectinas a partir de la cáscara de cacao se pueden obtener pectinas con cualidades químicas que pueden ser de interés para el uso industrial.

4.11 Elaboración de jalea

La pectina obtenida de la cáscara de cacao presentó un grado de metilación de 3,01 %, lo que la clasifica claramente como una pectina de baja metoxilación (LM). Esto sugiere que esta pectina es adecuada para aplicaciones en productos con bajo contenido de azúcar y puede gelificar en presencia de iones calcio, haciendo que sea ideal para la elaboración de jaleas dietéticas o productos alimentarios con requisitos específicos de textura y estabilidad.

Figura 27

Esquema de la elaboración de la jalea con la pectina obtenida



Figura 28

Jalea obtenida



CONCLUSIONES

- Se identificó que la cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.), variedad VRAE 99, presenta un rendimiento promedio de pectina del 11,34 %, lo que demuestra su potencial para la elaboración de productos alimentarios con valor agregado, como jaleas o mermeladas.
- Se determinó que el tamaño de partícula óptimo de la cáscara es de 0,5 x 0,5 cm, lo cual mejora la exposición del material al solvente y facilita la extracción. La extracción de pectina a través de hidrólisis ácida representa una alternativa técnica y ambientalmente viable, conforme a lo dispuesto en el Decreto Supremo N.º 003-2025-MINAM, que promueve el aprovechamiento de residuos agroindustriales con fines de mitigación del cambio climático y desarrollo de bioinsumos.
- La velocidad de agitación óptima fue de 300 revoluciones por minuto (rpm), optimizando la transferencia de masa entre la cáscara de cacao y la solución ácida.
- El tiempo de contacto ideal en la hidrólisis ácida fue de 65 minutos, alcanzando el equilibrio de extracción sin degradar la estructura de la pectina.
- Se estableció una relación óptima cáscara:solución ácida de 1:9, lo cual permitió obtener un mayor rendimiento sin diluir excesivamente el medio extractante.
- La temperatura ideal de extracción fue de 87 °C, valor en el que se alcanzó el mayor porcentaje de rendimiento de pectina sin comprometer su calidad.
- El mayor rendimiento de pectina extraída bajo estas condiciones alcanzó un 43,75 %, resultado superior al reportado en estudios previos y relevante para la industria alimentaria local.
- Se obtuvo una pectina con un grado de metoxilación del 3,01 %, lo que la clasifica como pectina de bajo metoxilo, adecuada para aplicaciones que requieren bajo contenido de azúcar y una estructura más estable.
- La jalea elaborada a partir de la pectina obtenida presentó características sensoriales aceptables y una consistencia adecuada, lo cual valida el uso de este subproducto como ingrediente funcional en la industria alimentaria. Ello permite considerar rutas de valorización complementarias, en línea con la Política Nacional de Bioeconomía aprobada mediante el Decreto Supremo N.º 011-2023-MIDAGRI.

RECOMENDACIONES

- Hacer más pruebas para relacionarlas con situaciones reales, resultados a escala de laboratorio para el escalado de plantas piloto.
- Efectuar la caracterización fisicoquímica de la pectina obtenida.
- Realizar un análisis económico para determinar la viabilidad económica del proyecto a escala laboratorio.
- Diseñar e implementar un programa de apoyo dedicado al desarrollo de tesis, facilitando la realización de diversos trabajos de investigación enfocados en la mitigación del impacto ambiental mediante el uso de residuos derivados de la producción primaria.
- Equipar el Laboratorio de Transferencia de Masa de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia con tecnología moderna y sofisticada, lo que permitirá una ejecución más eficiente y efectiva de las investigaciones científicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arteaga, Y. (2013). Estudio del desperdicio del mucilago de cacao en el cantón Naranjal (Provincia del Guayas). *ECA Sinergia*, 4(1), 49-59.
- Badui, S. (2006). *Química de los alimentos* (Cuarta edición). Pearson. <https://fcen.uncuyo.edu.ar/upload/libro-badui200626571.pdf>
- Banco Mundial. (2018). *Informe del Banco Mundial: Los desechos a nivel mundial crecerán un 70 % para 2050, a menos que se adopten medidas urgentes*. World Bank. <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2018/09/20/global-waste-to-grow-by-70-percent-by-2050-unless-urgent-action-is-taken-world-bank-report>
- Barazarte, H., Sangronis, E., & Unai, E. (2008). *La cáscara de cacao (Theobroma cacao L.): Una posible fuente comercial de pectinas*. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 58(1), 64-70.
- Betancourt, L. D., & Llano, J. E. (2009). *Extracción de pectinas a partir de los subproductos del beneficio del cacao* [UNIVERSIDAD EAFIT]. <https://core.ac.uk/download/pdf/47237189.pdf>
- Brito, L. A., & Ruíz, C. M. (2020). *Evaluación del tiempo y temperatura de blanqueo previo a la extracción de pectina y su aceptabilidad en jarabe del exudado de cacao (Theobroma Cacao L.)*. [Tesis de grado, Universidad Estatal Amazónica]. <https://repositorio.uea.edu.ec/handle/123456789/870>
- Calderón, K. M. (2017). *Obtención y caracterización de pectina a partir de la cáscara de cacao (Theobroma cacao L.) variedad CCN - 51 procedente del distrito de Pajarillo—Provincia de Mariscal Cáceres* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Martín]. <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3132>
- Campos, R., Nieto, K. H., & Oomah, B. D. (2018). *Cocoa (Theobroma cacao L.) pod husk: Renewable source of bioactive compounds*. *Trends in Food Science & Technology*, 81, 172-184. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.09.022>

- Cedeño, L. J. (2019). *Evaluación del uso de la pectina obtenida de la cáscara de cacao (Theobroma cacao L.) en la elaboración de mermelada*. [Tesis de Pregrado]. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Cobeñas, A. V., & Guerrero, J. B. (2018). *Caracterización de la pectina obtenida a partir de la cascara de cacao (Theobroma cacao L.) mediante variación del ácido y temperatura* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Tumbes]. <https://repositorio.untumbes.edu.pe/handle/20.500.12874/355>
- Colonia, L. (2012). *Manejo Integrado de plagas y enfermedades en el cultivo de cacao*. Oficina académica de extensión y proyección social. <https://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/010-e-cacao.pdf>
- Comex Perú. (2022). *Solo aprovechamos el 1 % de residuos orgánicos e inorgánicos que generamos*. Comex - Sociedad de Comercio Exterior del Perú. <https://www.comexperu.org.pe/articulo/solo-aprovechamos-el-1-de-residuos-organicos-e-inorganicos-que-generamos>
- Del Águila, D., & Zegarra, D. (2016). *Extracción de pectina por hidrólisis ácida y precipitación alcohólica a partir de las cáscaras de cacao híbrido ccn51 (Theobroma cacao L.) para la fabricación de un prototipo de empaque alimentario, Pucallpa, región Ucayali 2015* [Tesis de grado, Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia]. <http://repositorio.unia.edu.pe/bitstream/unia/103/1/TESIS.pdf>
- Delgadillo, Cynthia V. (2023) *Influencia de pre secado, frecuencia de remoción y fermentación en la calidad de granos de cacao (Theobroma cacao L.) Llochegua, Huanta 2021*. [Tesis de grado, Universidad de Cuenca]. <https://repositorio.unsch.edu.pe/server/api/core/bitstreams/31bb254c-06f9-4532-8e5c-1ac7b2a753e2/content>
- Delgado, N. (2018). *Plan de manejo integral de residuos derivados de la extracción de la pulpa de cacao en la hacienda Bellavista, Luz de América, provincia de Azuay-*

- Ecuador. [Tesis de grado, Universidad de Cuenca].
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30454>
- Filho, L. B. S., Coelho, R. C., Muniz, E. C., & Barbosa, H. de S. (2022). Optimization of pectin extraction using response surface methodology: A bibliometric analysis. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 4, 100229. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2022.100229>
- Freitas, C. M. P., Coimbra, J. S. R., Souza, V. G. L., & Sousa, R. C. S. (2021). Structure and Applications of Pectin in Food, Biomedical, and Pharmaceutical Industry: A Review. *Coatings*, 11(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/coatings11080922>
- García, L. (2010). *Cultivares de cacao del Perú. Fundación para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología (FUNDACITE)*. Perú. https://issuu.com/rriicchperu/docs/cultivaresdecacaoxluisgarcia_segund/110
- Gonzalez, V. R., Numpaque, M. M., & Dias, N. da S. (2022). Pectinas: Extracción, usos e importancia en la agroindustria. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(5), Article 5. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i5.3498
- Kalapathy, U., & Proctor, A. (2001). Effect of acid extraction and alcohol precipitation conditions on the yield and purity of soy hull pectin. *Food Chemistry*, 73(4), 393-396. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00307-1](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00307-1)
- Maroto, S., Montoya, P., González, D., Delgado, T., Arvelo, M. Á., & Agricultura (IICA), I. I. de C. para la. (2017). *Manual técnico del cultivo de cacao prácticas latinoamericanas*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). <https://repositorio.iica.int/handle/11324/6181>
- Masmoudi, M., Besbes, S., Chaabouni, M., Robert, C., Paquot, M., Blecker, C., & Attia, H. (2008). Optimization of pectin extraction from lemon by-product with acidified date juice using response surface methodology. *Carbohydrate Polymers*, 74(2), 185-192. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.02.003>

- Ministerio de Ambiente. (s. f.). *Residuos Organicos – Economía Circular*. Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos. Recuperado 18 de febrero de 2023, de <https://economiacircular.mma.gob.cl/residuos-organicos/>
- Montgomery, D. C. (2017). *Design and Analysis of Experiments* (9th ed.). John Wiley & Sons.
- Myers, R. H., Montgomery, D. C., & Anderson-Cook, C. M. (2016). *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments* (4th ed.). John Wiley & Sons.
- MDP (2021). *Plan de manejo de los residuos sólidos del distrito de Pichari—La Convención—Cusco*. Municipalidad Distrital de Pichari.
- Naqash, F., Masoodi, F. A., Gani, A., Nazir, S., & Jhan, F. (2021). Pectin recovery from apple pomace: Physico-chemical and functional variation based on methyl-esterification. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(9), 4669-4679. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15129>
- Nizama, K. M. (2015). *Obtención y caracterización de pectina a partir de cáscara de cacao Theobroma cacao L.* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Piura].
- Ocompra.com Perú. (s. f.). Recuperado 18 de febrero de 2023, de <https://www.ocompra.com/peru/buscar/item/pectina-citrica/>
- Ouattara, Y., Kouadio, E., Kouassi, E., Doudjo, S., Soro, Y., Yao, B., Adouby, K., Drogui, A., Tyagi, D., & Aina, P. (2021). *Cocoa Pod Husks as Potential Sources of Renewable High-Value-Added Products: A Review of Current Valorizations and Future Prospects*. *Bioresources*, 16, 1988-2020.
- Ramírez, M., Moreno, M., Curbelo, C., & Crespo, L. (2016). Influencia del tamaño de partícula y la velocidad de agitación sobre el rendimiento de pectina. *Revista Cubana de Farmacia*, 50(1), 98-105.
- Ramírez, N. B., Mantilla, C. M., González, L. G. R., & Ruiz, Y. Y. P. (2014). Aprovechamiento de la cáscara de cacao y su contenido de pectina en la

- preparación de mermeladas de tipo comercial. *Revista Integra: Investigación Aplicada, Desarrollo Tecnológico e Innovación*, 1(1), Article 1. <https://doi.org/10.23850/24628034.436>
- Rengifo, Y. J., & Macías, J. C. (2019). *Evaluación de dos métodos de extracción de pectina de la cáscara de cacao (theobroma cacao)* [masterThesis, ESPAM MFL]. <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1056>
- Rivas, W. (2018). *Evaluación de la calidad de la cáscara de cacao (Theobroma cacao L.) y su impacto en el medio ambiente en la región San Martín, Perú* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/4272>
- Rodríguez, D., Ramírez, A., & Socorro, A. (2022). Extracción de pectina a partir de la hidrólisis ácida del cacao (*Theobroma Cacao L.*) y su aplicación en la obtención de biopelículas. *Mutis*, 13(1), 1-20.
- Rojas, L. (2019). *Aprovechamiento de la cáscara de cacao para la elaboración de un biocomposito con aplicación en la construcción sostenible* [El Bosque]. https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/2817/Rojas_Gonz%C3%A1lez_Lina_Manuela_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Como%20se%20mencion%C3%B3%20anteriormente%20el,del%2026%25%20en%20el%20departamento.
- Sánchez, D., Aguilar, C. N., Contreras, J. C., & Nevárez, G. V. (2011). Moléculas pécticas: Extracción y su potencial aplicación como empaque: *TECNOCIENCIA Chihuahua*, 5(2), Article 2. <https://doi.org/10.54167/tch.v5i2.697>
- Servindi. (2011). *Perú: Recomiendan usar cáscara de cacao en la lucha contra la desnutrición* | Servindi—Servicios de Comunicación Intercultural. <https://www.servindi.org/actualidad/57216>
- Suárez, M., & Marín, R. (2019). Rendimiento de la pectina de cáscara de cacao (*Theobroma cacao L.*) como estabilizante en mermelada de naranja. *2019*, 19, 29-34.

Zegada, V. Y. (2015). Extracción de pectina de residuos de cáscara de naranja por hidrólisis ácida asistida por microondas (HMO). *Investigación & Desarrollo*, 1(15), 65-76.

ANEXOS

Anexo 1 Panel fotográfico

Figura 29

Medición del pH de la solución ácida



Figura 30

Ensayos para determinar el efecto del tamaño de partícula en la extracción



Figura 31

Filtrado para obtener los extractos correspondientes



Figura 32.

Efecto del tiempo de contacto en la extracción

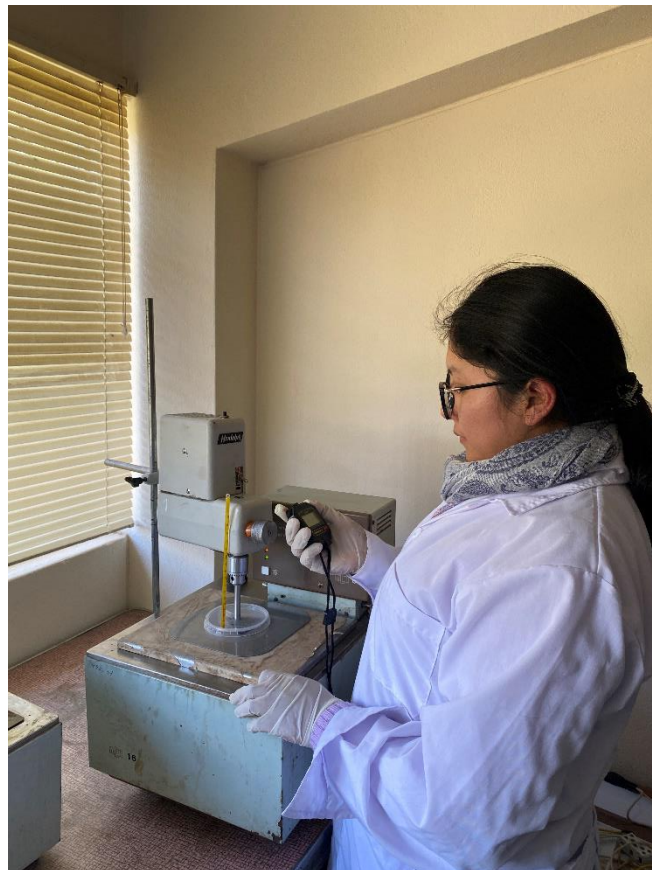


Figura 33

Secado de la pectina extraída

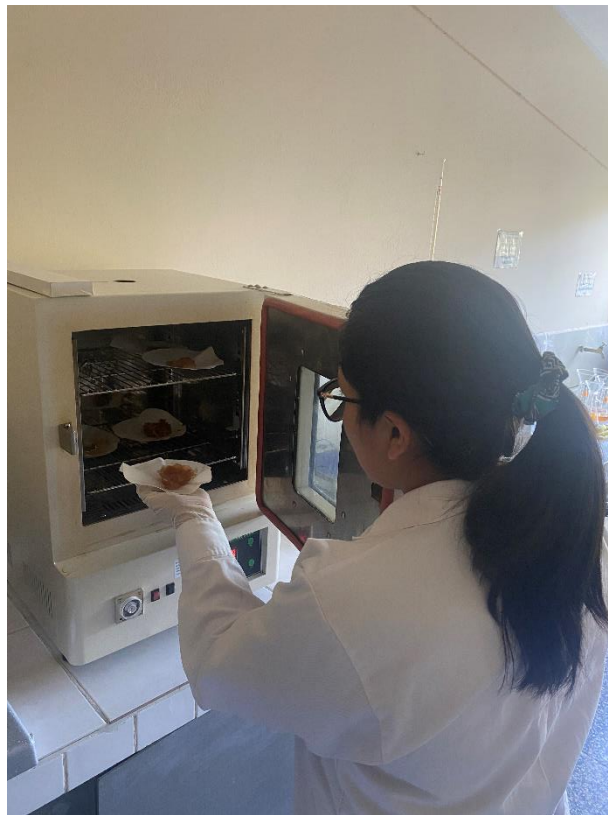


Figura 34

Ensayos para determinar el efecto del tamaño de partícula en la extracción



Figura 35

Ensayo de laboratorio con los parámetros óptimos determinados para la extracción



Figura 36

Precipitación con etanol de las muestras



Figura 37

Filtración de ensayos de laboratorio del efecto de la relación de cantidad de cáscara de cacao y solución ácida



Figura 38

Pectina obtenida con los parámetros óptimos

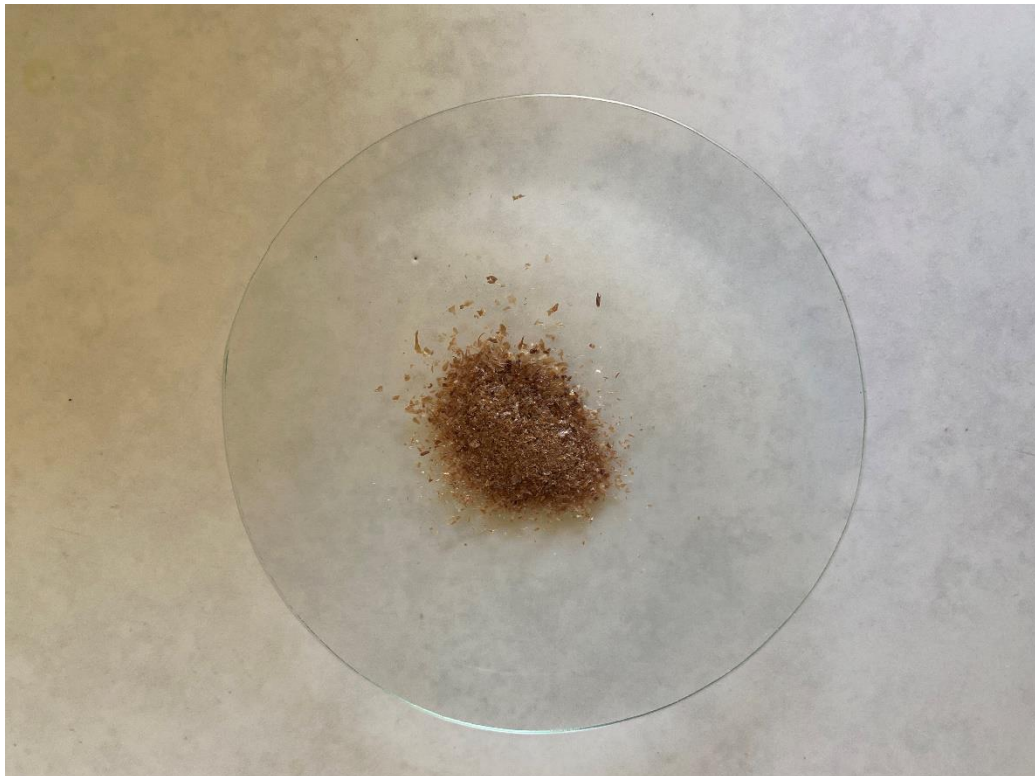


Figura 39

Muestras de pectinas extraída a partir de los ensayos de laboratorio



Figura 40

Determinación del grado de metoxilo



Figura 41

Titulación con solución de NaOH para determinar la calidad de la pectina



ARTÍCULO CIENTÍFICO

Parámetros óptimos para la extracción de pectina a partir de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao L.*) y su aplicación en productos alimentarios

Optimal Parameters for the Extraction of Pectin from Cocoa Husk (*Theobroma cacao L.*) and Its Application in Food Products

Autor: Grace Angie Bautista Bendaño
Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

grace. bautista.30 @unsch.edu.pe

Resumen

La industria cacaotera peruana genera grandes volúmenes de residuos sólidos, principalmente cáscara de cacao, que representa entre el 52 % y 70 % del peso total del fruto. Este residuo, tradicionalmente subutilizado y desechado, contiene compuestos de alto valor industrial como la pectina. La pectina es un polisacárido ampliamente empleado como agente gelificante, estabilizante y espesante en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética. El presente estudio tuvo como objetivo determinar los parámetros óptimos para la extracción de pectina a partir de la cáscara de cacao variedad VRAE 99 utilizando hidrólisis ácida, y evaluar su aplicación en un producto alimentario. Se evaluaron cinco factores experimentales: tamaño de partícula, velocidad de agitación, tiempo de extracción, relación cáscara/solución ácida y temperatura. El diseño experimental fue factorial AxB complementado con análisis univariado para cada parámetro. Los resultados demostraron que la cáscara de cacao posee un contenido inicial de pectina de 11,34 %. Las condiciones óptimas de extracción fueron: tamaño de partícula 0,5 x 0,5 cm, 300 rpm de agitación, 65 minutos de contacto, relación 1:9 entre cáscara y solución ácida y temperatura de 87 °C, alcanzándose un rendimiento máximo del 43,75 %. La pectina obtenida presentó un grado de metoxilación del 3,01 %, clasificándose como pectina de bajo metoxilo. Finalmente, se elaboró un producto alimentario tipo jalea para evaluar su desempeño tecnológico. Los resultados confirman que la cáscara de cacao es una fuente viable para obtener pectina de baja metoxilación, promoviendo alternativas sostenibles para la revalorización de residuos agroindustriales.

Palabras clave: pectina, cáscara de cacao, extracción ácida, optimización, *Theobroma cacao*.

Abstract

The Peruvian cocoa industry generates large volumes of solid waste, mainly cocoa husk, which accounts for 52–70% of the fruit's total weight. This residue, traditionally underutilized and discarded, contains valuable industrial compounds such as pectin. Pectin is a polysaccharide widely used as a gelling, stabilizing, and thickening agent in the food, pharmaceutical, and cosmetic industries. This study aimed to determine the optimal parameters for extracting pectin from cocoa husk of the VRAE 99 variety using acid hydrolysis, and to evaluate its application in a food product. Five experimental factors were studied: particle size, agitation speed, extraction time, peel-to-solution ratio, and temperature. The experimental design consisted of an AxB factorial design complemented by univariate analysis for each parameter. Results showed that cocoa husk contained 11.34% initial pectin. Optimal extraction conditions were 0.5 × 0.5 cm particle size, 300 rpm agitation, 65 min extraction time, 1:9 peel-to-acid solution ratio, and 87 °C, achieving a maximum yield of 43.75%. The extracted pectin presented a methoxyl content of 3.01%, classifying it as low-methoxyl pectin. Finally, a jelly-type food product was formulated to evaluate its technological performance. These results confirm that cocoa husk is a viable source of low-methoxyl pectin and support sustainable alternatives for agro-industrial waste valorization.

Keywords: pectin, cocoa husk, acid extraction, optimization, Theobroma cacao.

I. Introducción

La producción de cacao en el Perú ha mostrado un crecimiento sostenido durante las últimas décadas, posicionando al país como uno de los principales productores de cacao fino de aroma. Paralelamente, este incremento ha generado un problema ambiental creciente: el volumen considerable de cáscaras resultantes del procesamiento primario del fruto. Estas cáscaras suelen ser dispuestas inadecuadamente en campos abiertos, ocasionando proliferación de insectos y microorganismos, malos olores y contaminación del suelo por lixiviados. Sin embargo, la cáscara de cacao presenta un potencial industrial significativo dada su composición química, destacando su contenido de fibra dietética, polifenoles y pectina.

La pectina es un heteropolisacárido estructural presente en la pared celular de vegetales. Su importancia radica en su capacidad gelificante, la cual depende del grado de metoxilación y la estructura del polímero. Las pectinas se clasifican en alto metoxilo (AM) y bajo metoxilo (BM). Las pectinas BM —como las que se obtienen de fuentes no cítricas— son valiosas debido a su capacidad de formar geles en presencia de iones calcio, aun cuando la concentración de azúcar es baja, siendo ideales para productos dietéticos.

En el Perú, las pectinas utilizadas en la industria alimentaria son mayoritariamente importadas, lo cual incrementa los costos de producción para pequeñas y medianas empresas. Por ello, la identificación de nuevas fuentes locales de pectina se convierte en un desafío y una oportunidad, tanto económica como ambiental.

La cáscara de cacao se presenta como una materia prima viable para la obtención de pectina. Estudios previos indican la posibilidad de extraer entre 5 % y 14 % de pectina dependiendo de la variedad, madurez del fruto y método de procesamiento. Sin embargo, la mayoría de investigaciones se centraron en condiciones no optimizadas, lo cual limita su aplicabilidad industrial.

El presente estudio se propuso establecer los parámetros óptimos para la extracción de pectina a partir de cáscara de cacao variedad VRAE 99 y evaluar la calidad de la pectina obtenida mediante su aplicación en un producto alimentario. Los resultados brindan un aporte concreto a la revalorización de residuos agroindustriales en la cadena productiva del cacao.

II. Metodología

Tipo y diseño de investigación

La investigación fue de tipo aplicada, con un enfoque experimental. Se utilizó un diseño factorial AxB, complementado con búsqueda univariada para maximizar el rendimiento de pectina. Cada parámetro se evaluó individualmente mientras se mantenían constantes las demás variables.

Lugar de estudio

El estudio se desarrolló en los laboratorios de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, específicamente en las áreas de bromatología, fisicoquímica y tecnología de alimentos.

Materia prima

La cáscara de cacao utilizada provino de frutos maduros variedad VRAE 99, recolectados en la zona del VRAEM. Las cáscaras fueron lavadas, troceadas manualmente y secadas en estufa a 60 °C hasta peso constante.

Variables de estudio

Se evaluaron los siguientes factores:

- **Tamaño de partícula:** 4,0; 3,0; 2,0; 1,0; 0,5 cm y molienda fina.
- **Velocidad de agitación:** 125, 200, 300, 400, 600 y 800 rpm.
- **Tiempo de extracción:** 30, 45, 55, 65, 75 y 90 minutos.

- **Relación cáscara/solución ácida:** 1:3, 1:5, 1:7, 1:9, 1:11 y 1:13.
- **Temperatura:** 75, 80, 85, 87, 90 y 95 °C.

Procedimiento de extracción

1. Se pesó la cáscara según el tamaño de partícula establecido.
2. Se preparó una solución de ácido cítrico (pH 2,0).
3. Se realizó la hidrólisis ácida bajo agitación controlada.
4. La mezcla fue filtrada y el extracto concentrado.
5. La pectina se precipitó añadiendo etanol al 96 %.
6. El producto se secó en estufa, se molió y se almacenó.

Determinaciones fisicoquímicas

Se realizaron los siguientes análisis:

- Rendimiento de pectina (%).
- Peso equivalente (mg/g).
- Acidez libre (%).
- Contenido de metoxilo (%).
- Grado de esterificación (%).
- Caracterización sensorial de la jalea elaborada.

III. Resultados y discusión

Contenido inicial de pectina

La cáscara de cacao presentó un contenido inicial promedio de 11,34 %, lo cual se encuentra dentro de los valores reportados para variedades similares.

Influencia del tamaño de partícula

El tamaño de partícula de 0,5 × 0,5 cm permitió una mayor liberación de protopectina y una extracción más eficiente. Las partículas demasiado finas disminuyeron el rendimiento debido a la dificultad de filtración.

Agitación

La agitación óptima se estableció en 300 rpm. Agitaciones mayores provocaron ruptura excesiva de tejidos y arrastre de impurezas, afectando la calidad del extracto.

Tiempo de extracción

El tiempo óptimo fue 65 minutos, alcanzando el equilibrio entre la solubilización de pectina y la posible degradación del polímero.

Relación cáscara/solución ácida

La relación óptima fue 1:9, lo que favoreció la difusión del ácido hacia la matriz vegetal y la liberación de pectina.

Temperatura

La temperatura óptima fue 87 °C. A temperaturas mayores se observó degradación térmica y disminución de rendimiento.

Rendimiento máximo

La combinación óptima de variables permitió obtener un rendimiento del **43,75 %**, significativamente superior a otros estudios no optimizados (1–10 %).

Grado de metoxilación

El contenido de metoxilo fue de 3,01 %, lo cual clasifica la pectina como **bajo metoxilo (BM)**. Este tipo de pectina forma geles en presencia de calcio y no requiere altas cantidades de azúcar.

Aplicación en producto alimentario

Se elaboró una jalea utilizando la pectina extraída, obteniendo una textura firme, color uniforme y adecuada gelificación. Esto confirmó la funcionalidad tecnológica del producto.

Conclusiones

1. La cáscara de cacao variedad VRAE 99 es una fuente viable de pectina, con un contenido inicial de 11,34 %.
2. Las condiciones óptimas de extracción fueron: 0,5 × 0,5 cm, 300 rpm, 65 minutos, relación 1:9 y 87 °C.
3. El rendimiento máximo alcanzado fue 43,75 %, superior a valores reportados para métodos no optimizados.
4. La pectina obtenida presentó un grado de metoxilación de 3,01 %, siendo clasificada como pectina de bajo metoxilo.
5. La jalea elaborada demostró la capacidad gelificante y la calidad tecnológica de la pectina.

6. La valorización de la cáscara de cacao contribuye a la sostenibilidad de la cadena productiva y a la reducción de residuos agroindustriales.

Referencias bibliográficas

Arteaga, Y. (2013). Estudio del desperdicio del mucilago de cacao en el cantón Naranjal (Provincia del Guayas). *ECA Sinergia*, 4(1), 49-59.

Badui, S. (2006). *Química de los alimentos* (Cuarta edición). Pearson. <https://fcen.uncuyo.edu.ar/upload/libro-badui200626571.pdf>

Banco Mundial. (2018). Informe del Banco Mundial: Los desechos a nivel mundial crecerán un 70 % para 2050, a menos que se adopten medidas urgentes. World Bank. <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2018/09/20/global-waste-to-grow-by-70-percent-by-2050-unless-urgent-action-is-taken-world-bank-report>

Barazarte, H., Sangronis, E., & Unai, E. (2008). La cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.): Una posible fuente comercial de pectinas. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 58(1), 64-70.

Betancourt, L. D., & Llano, J. E. (2009). Extracción de pectinas a partir de los subproductos del beneficio del cacao [UNIVERSIDAD EAFIT]. <https://core.ac.uk/download/pdf/47237189.pdf>

Brito, L. A., & Ruíz, C. M. (2020). Evaluación del tiempo y temperatura de blanqueo previo a la extracción de pectina y su aceptabilidad en jarabe del exudado de cacao (*Theobroma Cacao* L.). [Tesis de grado, Universidad Estatal Amazónica]. <https://repositorio.uea.edu.ec/handle/123456789/870>

Calderón, K. M. (2017). Obtención y caracterización de pectina a partir de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad CCN - 51 procedente del distrito de Pajarillo—Provincia de Mariscal Cáceres [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Martín]. <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3132>

Campos, R., Nieto, K. H., & Oomah, B. D. (2018). Cocoa (*Theobroma cacao* L.) pod husk: Renewable source of bioactive compounds. *Trends in Food Science & Technology*, 81, 172-184. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.09.022>

Cedeño, L. J. (2019). Evaluación del uso de la pectina obtenida de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la elaboración de mermelada. [Tesis de Pregrado]. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

Cobeñas, A. V., & Guerrero, J. B. (2018). Caracterización de la pectina obtenida a partir de la cascara de cacao (*Theobroma cacao* L.) mediante variación del ácido y temperatura [Tesis de grado, Universidad Nacional de Tumbes]. <https://repositorio.untumbes.edu.pe/handle/20.500.12874/355>

Colonia, L. (2012). Manejo Integrado de plagas y enfermedades en el cultivo de cacao. Oficina académica de extensión y proyección social. <https://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/010-e-cacao.pdf>

Comex Perú. (2022). Solo aprovechamos el 1 % de residuos orgánicos e inorgánicos que generamos. Comex - Sociedad de Comercio Exterior del Perú.

<https://www.comexperu.org.pe/articulo/solo-aprovechamos-el-1-de-residuos-organicos-e-inorganicos-que-generamos>



ESCUELA DE

POSGRADO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N°0130-2025-UNSCH-EPG/OGH

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajo de tesis de Posgrado en segunda instancia para la **Escuela de Posgrado – UNSCH**; en cumplimiento a la Resolución De Consejo Directivo N°109-2024-UNSCH-EPG/CD, Reglamento de Originalidad de trabajos de Investigación de la UNSCH, otorga lo siguiente:

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

AUTOR	Bach. Grace Angie BAUTISTA BENDAÑO
DENOMINACIÓN DEL PROGRAMA DE ESTUDIOS	MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL
GRADO ACADÉMICO QUE OTORGA	MAESTRO
DENOMINACIÓN DEL GRADO ACADÉMICO	MAESTRO(A) EN INGENIERÍA AMBIENTAL
TÍTULO DE TESIS	Parámetros óptimos para la extracción de pectina a partir de la cáscara de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) y su aplicación en productos alimentarios
EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD	20% de similitud
N° DE TRABAJO	2799330741
FECHA	31 de octubre de 2025

Por tanto, según los artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es procedente otorgar la constancia de originalidad con depósito.

Se expide la presente constancia a solicitud de la interesada para los fines que crea conveniente.

31 de octubre de 2025.


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
ESCUELA DE POSGRADO
Dr. Oscar Gutiérrez Huamani
Director (e)

CC.
Archivo
OGH/rjeg

Parámetros óptimos para la extracción de pectina a partir de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.) y su aplicación en productos alimentarios

por Grace Angie BAUTISTA BENDAÑO

Fecha de entrega: 31-oct-2025 04:10p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2799330741

Nombre del archivo: TESIS-_OCT-2025-_Grace_A..docx (60.64M)

Total de palabras: 18255

Total de caracteres: 99098

Parámetros óptimos para la extracción de pectina a partir de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.) y su aplicación en productos alimentarios

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

20%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.udaff.edu.pe Fuente de Internet	3%
2	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	2%
4	dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	1%
5	repositorio.esPAM.edu.ec Fuente de Internet	1%
6	repositorio.unheval.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	repositorio.uea.edu.ec Fuente de Internet	1%
9	repositorio.umSA.bo Fuente de Internet	1%
10	repositorio.unu.edu.pe Fuente de Internet	1%
11	repositorio.upec.edu.ec Fuente de Internet	1%

		1 %
12	repositorio.unas.edu.pe Fuente de Internet	1 %
13	andina.pe Fuente de Internet	<1 %
14	revistas.utadeo.edu.co Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.unal.edu.co Fuente de Internet	<1 %
16	repositorio.ucsg.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
17	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.ulasamericas.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	1library.co Fuente de Internet	<1 %
20	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1 %
21	vsip.info Fuente de Internet	<1 %
22	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
23	ciencialatina.org Fuente de Internet	<1 %
24	dicyt.uajms.edu.bo Fuente de Internet	<1 %
25	dspace.ucuenca.edu.ec Fuente de Internet	<1 %

26	repositorio.unbosque.edu.co Fuente de Internet	<1 %
27	repositorio.utmachala.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
28	core.ac.uk Fuente de Internet	<1 %
29	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
30	repositorio.upsc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
31	repositorio.unia.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
32	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
33	repository.uamerica.edu.co Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR
EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO(A) EN INGENIERÍA AMBIENTAL
RESOLUCIÓN DIRECTORAL N°00336-2025-UNSCH-EPG/D.**

Siendo las 11:00 a.m. del 27 de mayo de 2025 se reunieron en el auditorium de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, el Jurado Examinador y Calificador de Tesis, presidido por el **Dr. OSCAR GUTIERREZ HUAMANI** Director (e) de la Escuela de Posgrado, el **Mg. EUSEBIO DE LA CRUZ FERNANDEZ** Director de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, e integrado por los siguientes miembros: **Mg. CIPRIANO MENDOZA ROJAS** y el **Mtro. HERNAN PEDRO QUISPE MISAICO**; para la sustentación oral y pública de la tesis titulada: **PARÁMETROS ÓPTIMOS PARA LA EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE LA CASCARA DE CACAO (THEOBROMA CACAO L.) Y SU APLICACIÓN EN PRODUCTOS ALIMENTARIOS**, presentado por el **Bach. GRACE ANGIE BAUTISTA BENDAÑO**. Teniendo como asesora a la **Mg. LEYDI DIANA MEDINA QUIQUIN**.

Acto seguido se procedió a la exposición de la tesis, con el fin de optar el Grado Académico de **MAESTRO(A) EN INGENIERÍA AMBIENTAL**. Formuladas las preguntas, éstas fueron absueltas por el graduando.


A continuación, el Jurado Examinador y Calificador de Tesis procedió a la votación, la que dio como resultado el siguiente calificativo: DIECISEIS (16).

CALIFICACION (x)

Aprobado(a) por Unanimidad.	<input checked="" type="checkbox"/>
Aprobado(a) por Mayoría.	<input type="checkbox"/>
Desaprobado(a) por Unanimidad.	<input type="checkbox"/>
Desaprobado(a) por Mayoría.	<input type="checkbox"/>

(x) Marcar con aspa.

Luego, el presidente del Jurado recomienda que la Escuela de Posgrado proponga que se le otorgue al **Bach. GRACE ANGIE BAUTISTA BENDAÑO**, el Grado Académico de **MAESTRO(A) EN INGENIERÍA AMBIENTAL**. Siendo las 12:50 hrs. se levanta la sesión.
Se extiende el acta en la ciudad de Ayacucho, a las 12:50 hrs. del 27 de mayo de 2025.


.....
Dr. OSCAR GUTIERREZ HUAMANI
Director(e) de la Escuela de Posgrado.


.....
Mg. EUSEBIO DE LA CRUZ FERNANDEZ
Director de la UPG-FIQM


.....
Mg. CIPRIANO MENDOZA ROJAS
Miembro.


.....
Mtro. HERNAN PEDRO QUISPE MISAICO
Miembro.


.....
Dr. JOSÉ ALARCON GUERRERO
Secretario Docente.

Observaciones:

.....

.....

.....