

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

APROVECHAMIENTO DEL PERICARPIO DEL FRUTO DEL CACAO (*Theobroma cacao* L.) COMO FUENTE DE PECTINA PARA LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

**POR:
LIZZY ALEXANDRA NAVARRO CRUZ**

TESIS



CATACAMAS

OLANCHO

DICIEMBRE, 2024

APROVECHAMIENTO DEL PERICARPIO DEL FRUTO DEL CACAO (*Theobroma cacao* L.) COMO FUENTE DE PECTINA PARA LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

**POR:
LIZZY ALEXANDRA NAVARRO CRUZ**

**HÉCTOR ALONZO GÓMEZ GÓMEZ, Ph.D.
Asesor principal**

**TESIS PRESENTADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO
REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

INGENIERO EN TECNOLOGÍA ALIMENTARIA

CATACAMAS

OLANCHO

DICIEMBRE, 2024

DEDICATORIA

A **Dios**, con eterno agradecimiento.

A mi madre **Esther Cruz**, más que un ejemplo de perseverancia, es mi fuerza impulsora, y quien merece este y cada uno de mis logros. Mi padre **Carmelo Navarro**, su legado perdura y me inspira a no decaer.

A mis hermanos, **Lester** y **Roxana**, fortalecen cada día el vínculo que nos une, cultivando con muestras de cariño el amor de hermanos.

A mis abuelas, mami **Rosa** por sus oraciones para que todo marche bien y mami **Minda** por cuidar de mi cuando más lo necesité.

A mis sobrinos **Lester** y **Abi**, rayitos de sol en mi vida. Representan mi motivación para ser un modelo de perseverancia y constancia incluso en los momentos más desafiantes.

A mis amigas **Saira Bardales** y **Rosa Cruz**, por su sincera amistad y por demostrar cariño desde la distancia.

A todas las personas que de una u otra forma han estado presentes para mí.

AGRADECIMIENTOS

A mi madre **Esther Cruz**, por su amor inconmensurable que sobrepasa todo limite, por moldear mi carácter y por ser mi apoyo con mucho sacrificio en todos estos años de estudio.

A mis hermanos **Lester** y **Roxana**, por estar para mí cada vez que recurro a ellos.

Al equipo de química, **M Sc. Danelia, M Sc. Alexia, M Sc. Karlita, M Sc. Nora y Any**, por brindarme el espacio para poder desarrollar las prácticas de laboratorio, por su confianza y sugerencias.

A los **productores de cacao** de la Biosfera del rio Plátano y al **M Sc. Yoni Antúnez**, por disponer de frutos y cáscaras de cacao para desarrollar los experimentos.

A mi alma mater, la **Universidad Nacional de Agricultura** que me dio la oportunidad de crecer como ser humano a través de una educación superior de calidad y en la cual he forjado mis conocimientos profesionales en la ciencia de los alimentos.

A los amigos que mi alma mater me ha regalado, **Jazmín, Londy, Said y Allen**. Por estar en los buenos y malos momentos. Han sido muchos los momentos compartidos.

A **Walter Osorio**, ingeniero con experiencia en la industria cacaotera, fue un guía cuando este proyecto era solo una idea y sus consejos, observaciones y aportes fueron de gran apoyo para la investigación.

A mis asesores, **P.h. D. Héctor Gómez, M Sc. Wendy Castellanos, P.h. D Emerson Martínez**, quienes fueron mis guías en este proceso. Por la paciencia para abordar mis dudas y el valioso aporte de cada uno en este trabajo de investigación.

CONTENIDO

	pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
LISTA DE TABLAS	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
RESUMEN	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
2.1. General	2
2.2. Específicos	2
III. REVISIÓN DE LITERATURA	3
3.1. Contaminación por residuos agroindustriales	3
3.2. Economía circular en la industria agroalimentaria	4
3.3. La producción del cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)	4
3.4.1. Residuos del beneficiado del cacao	5
3.5. Estructura y composición química de la pectina.....	7
3.5.1. Métodos de extracción de pectina de fuentes vegetales.....	8
A. Extracción de pectina por hidrólisis ácida	9
B. Extracción por hidrólisis ácida asistida por microondas.....	9
3.6. Aplicaciones industriales de la pectina	10
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	12
4.1. Materiales.....	12
4.2. Métodos.....	12
4.2.1. Caracterización de la materia prima	12
4.2.2. Obtención de harina de cáscara de cacao	13
4.3. Diseño experimental	13
4.3.1. Extracción de pectina por calentamiento en baño maría	14
4.3.2. Extracción por hidrólisis ácida asistida por microondas	15
4.4. Evaluación de las variables de respuesta	16
4.4.1. Rendimiento de la pectina extraída	16
4.4.2. Grado de esterificación de la pectina obtenida	17

4.4.3.	Contenido de cenizas de la pectina extraída	18
4.4.4.	Humedad de la pectina	18
4.5.	Análisis de la información	18
4.6.	Uso de la pectina extraída de las cáscaras de cacao.....	19
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
5.1.	Características físicas del cacao	20
5.2.	Características de la pectina de las cáscaras de cacao	20
5.3.	Ecuaciones de regresión del modelo estadístico	24
5.4.	Condiciones óptimas de extracción de pectina	25
5.4.1.	Rendimiento de la pectina extraída	25
5.4.2.	Grado de esterificación de la pectina de cáscara de cacao	26
5.4.3.	Contenido de cenizas de la pectina extraída	27
VI.	CONCLUSIONES	31
VII.	RECOMENDACIONES	32
VIII.	BIBLIOGRAFÍA.....	33

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Composición química de la cáscara de la mazorca de cacao.	6
Tabla 2. Matriz del diseño experimental.	13
Tabla 3. Características de la materia prima (frutos y cáscaras de cacao).	20
Tabla 4. -Influencia de las condiciones de extracción sobre el rendimiento, grado de esterificación y contenido de cenizas.	20

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Forma existente de pectina en la pared celular del fruto.....	7
Figura 2. Aplicaciones de la pectina en diferentes industrias.	10
Figura 3. Diseño Central Compuesto	14
Figura 4. Flujo de proceso de extracción de pectina de las cáscaras de cacao.....	16
Figura 5. Efecto del pH y tiempo de calentamiento en baño maría sobre las características de la pectina.	23
Figura 6. Efecto del pH y tiempo de calentamiento en microondas sobre las características de la pectina.	24
Figura 7. Comportamiento del pH y tiempo de calentamiento en baño maría sobre las características de la pectina	28
Figura 8. Comportamiento del pH y tiempo de calentamiento en microondas sobre las características de la pectina.	30

RESUMEN

Las cáscaras de cacao son una fuente importante de compuestos químicos entre los que destaca la pectina. La pectina tiene funciones tecnológicas, como estabilizante, gelificante, entre otras. Mismas que están influenciadas por los procesos de extracción empleados. El objetivo de este trabajo fue optimizar las condiciones de extracción de pectina de las cáscaras de cacao, utilizando calentamiento en baño maría (BM) y microondas (MO). Se aplicó un modelo estadístico Diseño Central Compuesto con dos puntos axiales y cinco puntos al centro, donde se estudió el efecto del pH del medio y el tiempo de calentamiento, sobre las variables de respuesta: rendimiento, grado de esterificación (GE) y contenido de cenizas (CC). En la extracción con calentamiento en baño maría, el factor tiempo de calentamiento se estudió en 60 y 120 min, mientras que en la extracción por calentamiento en microondas, fue de 5 y 15 min. Los niveles del factor pH se mantuvieron en 2 y 3 para ambos métodos de extracción. Con la aplicación de las ecuaciones de regresión del modelo, se definió que las condiciones óptimas de extracción en MO son pH 3.5 y tiempo de calentamiento de 5 min, obteniéndose rendimientos de extracción de 14.7%, GE: 70.5% y CC: 6.8%. Para la extracción por BM fueron pH: 3 y tiempo de calentamiento de 60 min, para obtener un rendimiento de 9.6%, GE: 70.8% y CC: 9.4%. Niveles de pH superiores a 2.5, tienen un efecto positivo en el rendimiento de extracción y en el GE de la pectina. Mientras que tiempos de calentamiento mayores a 60 min en baño maría y 5 min en microondas tienen un efecto inverso en estas mismas variables. El calentamiento por microondas es una alternativa viable para reducir el tiempo en la etapa de separación de pectina.

Palabras claves: cáscaras, extracción, optimización, microondas.

I. INTRODUCCIÓN

Se estima que el 13.8% de los alimentos producidos a nivel mundial se pierde cada año desde la cosecha hasta la venta. Las raíces, tubérculos y cultivos oleaginosos, representan el mayor nivel de pérdida, seguido de frutas y verduras (FAO 2019). El manejo inadecuado de los residuos por parte de la industria alimentaria, incide directamente sobre el equilibrio de los ecosistemas (Aguiar *et al.* 2022). Extraer ingredientes de los residuos de desperdicios de alimentos se presenta como un enfoque atractivo para reducir el impacto negativo de las actividades agroindustriales (Román *et al.* 2023).

El cultivo de cacao tiene importancia en la economía de varios países tropicales para elaborar diversos productos a partir de sus granos (Maya *et al.* 2022), como chocolate, manteca de cacao y licor (Vásquez *et al.* 2019). Los residuos generados en el procesamiento del cacao equivalen al 70%-80% del del fruto (cáscara, placenta y lixiviados) (Meza *et al.* 2024). La valorización de estos residuos se alinearía con los principios de economía circular, que promueve la sostenibilidad del sector agrícola y la seguridad alimentaria. Ya que las cáscaras son una fuente importante de compuestos bioactivos como fibra dietética, pectina y compuestos antioxidantes, que pueden ser aprovechados (Campos *et al.* 2018).

La pectina se caracteriza por sus funciones tecnológicas, como emulsionante, estabilizante, gelificante, entre otras (Codex Alimentarius 2023). Dichas funcionalidades dependen de su estructura química, incluida la presencia de grupos funcionales, mismos que están significativamente influenciados por los procesos de extracción empleados (Cui *et al.* 2021). Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue optimizar las condiciones de extracción de pectina de las cáscaras de cacao, utilizando calentamiento en baño maría y por microondas.

II. OBJETIVOS

2.1. General

Evaluar el proceso de extracción de pectina de las cáscaras de cacao (*Theobroma cacao* L.) a través de la aplicación de métodos fisicoquímicos para el fraccionamiento de sus componentes.

2.2. Específicos

Caracterizar las propiedades físicas de la cáscara de cacao para la obtención de la pectina.

Optimizar las condiciones de extracción de pectina de la cáscara de cacao mediante la aplicación de métodos fisicoquímicos.

Determinar el potencial de extracción de pectina de las cáscaras de cacao como un posible ingrediente para la industria alimentaria o farmacéutica.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Contaminación por residuos agroindustriales

El constante crecimiento de la población mundial está impulsando una mayor demanda de alimentos y productos básicos, lo que lleva a un aumento en la producción de biomasa residual, que plantea desafíos con las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, contaminación terrestre y fuentes de agua (Ayub *et al.* 2024). La contaminación ambiental es uno de los problemas más graves a nivel mundial (Palacios y Moreno 2022), consiste en la introducción de sustancias o elementos físicos en el ambiente (UNHCR 2018) y tiene diversas implicaciones para la sociedad humana, incluyendo el bienestar y la salud de las personas, así como el valor de la naturaleza (Grijalva *et al.* 2020).

A su vez, la contaminación ambiental en su mayoría es de origen antropogénico, proveniente de fuentes tales como los químicos resultantes de las actividades agroindustriales, residuos domésticos, ganaderos, agroquímicos y productos derivados del petróleo (Rodríguez *et al.* 2019). Los residuos agroindustriales son de naturaleza predominantemente sólida y orgánica. Los desechos que a menudo acompañan a las frutas y verduras procesadas, como cáscaras, cascarillas, residuos de pulpa de semillas, causan problemas ambientales si se desechan directamente (Pei *et al.* 2024). Entre los frutos que más generan residuos, se encuentra el cacao, un recurso natural con una alta demanda a nivel mundial, y que por el mal manejo de sus residuos, genera degradación ambiental y su vez, esto repercute en los ingresos económicos de los agricultores (Díaz *et al.* 2023).

La cadena de valor del cacao necesita cambios importantes para mejorar la valorización del cacao, y encaminar el logro de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) 2.3: duplicar la productividad agrícola y los ingresos de los productores de alimentos en pequeña escala, en particular las mujeres, los pueblos indígenas, los agricultores familiares, mediante un acceso a oportunidades para añadir valor, y 2.4: asegurar la sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos y aplicar prácticas agrícolas que contribuyan al mantenimiento de los ecosistemas. Así como, el ODS 12, que implica garantizar las modalidades de consumo y producción responsable (Naciones Unidas 2016). Para ello se requiere del desarrollo y la estandarización de tecnologías basadas en una economía circular (Sarangi *et al.* 2023).

3.2. Economía circular en la industria agroalimentaria

La economía circular surge como el modelo económico que busca fomentar una producción y consumo responsable desde lo económico, social y ambiental de manera sostenible (Llanos *et al.* 2023). En respuesta a la problemática generada por la gestión tradicional (economía lineal), que conlleva la explotación de recursos hasta la emisión de los residuos, resultando en una menor eficiencia en el uso de los recursos y graves problemas ecoambientales (Shi y Li 2019). En este sentido, la valorización de los residuos del cacao, implica estrategias para obtener su máximo aprovechamiento y reducir la cantidad de residuos mediante su uso en nuevos productos en el contexto de la bioeconomía circular, buscando mejorar el desempeño de las economías nacionales y la apertura de nuevos mercados (Valencia *et al.* 2024, UNIDO 2017).

3.3. La producción del cacao (*Theobroma cacao* L.)

La producción mundial de granos de cacao secos fue de 5,050 miles de toneladas para el año 2022/23 (ICCO 2024). Paralelamente, se obtienen 10 toneladas de cáscaras del fruto del cacao, por cada tonelada de granos secos producida (Vásquez *et al.* 2022). El cacao es uno

de los cultivos más conocidos y valiosos del continente africano ya que se cultiva a gran escala, el principal productor es Costa de Marfil (Afedzi *et al.* 2023). Este país aporta el 20.23% (1800 miles de toneladas) de la producción mundial de cacao en grano seco. El continente americano, representa el 23.3 % de la producción mundial, el principal productor de cacao actualmente, es Ecuador con 430 miles de toneladas y en segundo lugar Brasil (ICCO 2024).

El cultivo de cacao en Honduras representa una actividad productiva importante, es la principal fuente de ingresos para alrededor de 4,500 pequeños productores (Hütz *et al.* 2022), se produjeron 2,000 TM de granos y se exportaron 1,600 TM en 2023 (DFAE 2024). La producción de cacao se caracteriza por tener dos períodos de cosecha durante el año: la primera, y principal por el volumen de cosecha, entre los meses de octubre y diciembre y la segunda de marzo a abril (Tapia 2016). Luego, el manejo postcosecha o beneficiado del cacao, comprende las operaciones de desgrane, fermentación, secado, selección y/o clasificación, empaque y almacenamiento de los granos (Aguilar 2017).

3.4.1. Residuos del beneficiado del cacao

Según las características morfogénéticas, el cacao se divide en tres grupos genéticos distintos: Criollo, Forastero y Trinitario, este último comprende híbridos entre los dos primeros grupos (Dostert *et al.* 2011). El fruto de cacao es una mazorca que en su interior presenta cinco hileras de semillas cubiertas de mucílago, el número de semillas por fruto varía en promedio de 20 a 50. La cáscara del cacao está compuesta de tres partes, el exocarpio o la sección exterior, la capa de en medio o mesocarpio y la capa interior o endocarpio (INTA 2010).

Durante el procesamiento en las fincas, alrededor del 80% del fruto del cacao se descarta como biomasa residual, incluidas las cáscaras de las mazorcas de cacao, las cáscaras de los granos de cacao y los exudados del cacao (Vásquez *et al.* 2019). Las cáscaras de la mazorca

de cacao, son un desecho en la mayoría de las plantaciones de cacao (Kwasi *et al.* 2024), se obtiene tras retirar los granos, representando aproximadamente el 70 % del peso de la mazorca de cacao (Vásquez *et al.* 2022). En un estudio por Castillo *et al.* (2018) la cáscara de cacao representó el 72.4% de la masa del fruto, lo que indica una proporción alta de desechos, razón por la cual se dice que el cacao es un fruto subutilizado.

La cáscara del cacao como un residuo voluminoso al que se le ha atribuido poca importancia y sin aparente uso rentable, puede tener componentes de interés agroindustrial para diferentes usos en productos de alto valor agregado (Meza *et al.* 2024). Este desecho posee un alto potencial para ser aprovechado en diferentes procesos que incluyen elaboración de nuevos productos o aportar valor agregado a productos ya existentes (Vargas y Pérez 2018). Puesto que tiene una composición rica en lignina, polisacáridos no amiláceos: celulosa, hemicelulosas y pectina (Valladares *et al.* 2022). Así como también, la presencia de aceites esenciales y otras moléculas (Aguiar *et al.* 2022). En la tabla 1 se muestra de forma detallada la composición química de la cáscara del fruto del cacao.

Tabla 1. Composición química de la cáscara de la mazorca de cacao.

Compuestos	Cantidad (% peso/peso)
Carbohidratos	29.04-32.3
Celulosa	24.24-35.0
Hemicelulosa	8.72-11.0
Lignina	14.6-26.38
Proteínas totales	4.21-10.74
Lípidos	1.5-2.24
Pectina	6.1-9.2
Ceniza	6.7-10.02
Compuestos fenólicos	4.6-9.9

(Vásquez *et al.* 2019)

La pectina es uno de los componentes principales de las paredes celulares de todas las plantas superiores y representa del 0.5 al 4.0% del peso fresco total de las plantas (Picot *et al.* 2020). Es un componente abundante, ubicuo y multifuncional de las paredes celulares de todas las plantas terrestres (Willats *et al.* 2006). Este heteropolisacárido, se considera no tóxico, natural, versátil y de interés en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética (Román *et al.* 2023). Se muestra la ubicación de la pectina en la pared celular de los frutos en la figura 1 (Cui *et al.* 2021).

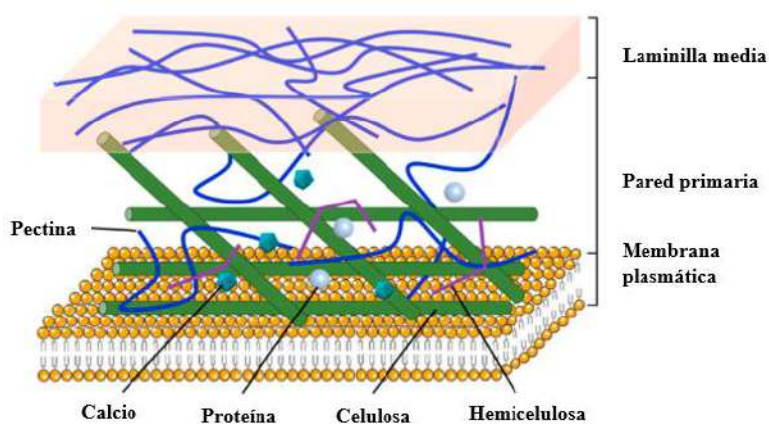


Figura 1. Forma existente de pectina en la pared celular del fruto.

3.5. Estructura y composición química de la pectina

Según la USP (2022), la pectina es un polímero hidrocarbonado purificado constituido principalmente por una cadena lineal de unidades de ácido d-galacturónico parcialmente metoxilado unidas por enlaces alfa (1-4). Se obtiene a partir del extracto ácido diluido de la cáscara de los frutos. Su multifuncionalidad se debe a la naturaleza de su molécula, que contiene regiones polares y no polares, debido a la presencia de grupos metoxilo y grupos carboxilo en la molécula, lo que le permite incorporarse a diversos sistemas alimentarios (Nasrollahzadeh *et al.* 2021). Además, es una sustancia neutra, no cristalizable, incolora y soluble en el agua que existe en los frutos maduros, como resultado de la transformación de la pectosa (Aviña *et al.* 2016).

La pectina es una macromolécula altamente compleja que exhibe un alto grado de intra y heterogeneidad intermolecular, es un complejo compuesto por hasta dieciocho monosacáridos distintos conectados a entre sí a través de veinte vínculos diferentes. Este polisacárido está formado por tres dominios principales unidos covalentemente entre sí: homogalacturonano, ramnogalacturonano I y ramnogalacturonano II (Ropartz y Ralet 2020). HG, RG-I y RG-II son polisacáridos estructuralmente diversos que contribuyen a la función de la pared primaria con respecto a la fuerza celular, la adhesión celular, la función estomática y la respuesta de defensa de las plantas (Hosmer y Mohnen 2009).

Las propiedades de no toxicidad, biocompatibilidad, biodegradabilidad y gelificación de la pectina la posicionan como un material biopolímero interesante (Li *et al.* 2024). Sin embargo, es de tener en cuenta que, sus características, dependen de una serie de variables como la fuente de pectina, incluida la variedad genética, etapa de maduración del fruto y el método de extracción empleado (Morris y Binhamad 2020). Particularmente, los métodos de extracción influyen fuertemente en las características estructurales y, por tanto, en las propiedades funcionales de las pectinas (Cui *et al.* 2021).

3.5.1. Métodos de extracción de pectina de fuentes vegetales

La extracción es una operación unitaria crítica para la separación de pectina de las paredes celulares en los subproductos de origen vegetal provenientes del procesamiento de alimentos (Adetunji, *et al.* 2017). La obtención de pectina se rige por la transferencia de masa a los disolventes de extracción y, por tanto, la idoneidad del método de extracción puede evaluarse mediante el rendimiento y la pureza del material resultante (Picot *et al.* 2020). Las condiciones de extracción de las pectinas pueden afectar su estructura y sus propiedades tecno funcionales (Assifaoui *et al.* 2024). Donde, la capacidad de gelificarse es la propiedad más importante (Nasrollahzadeh *et al.* 2021). Existen distintos métodos para la separación

de pectina, como extracción ácida, enzimática, asistida por microondas y asistida por ultrasonido.

A. Extracción de pectina por hidrólisis ácida

La extracción de pectina más común requiere el uso de ácidos y/o quelantes. A temperaturas que varían entre 40 y 100 °C, en un tampón acidificado que permite la hidrólisis de la protopectina en pectina y solubiliza la pectina en el tampón (Román *et al.* 2023). De los ácidos orgánicos, el ácido cítrico tiene un desempeño sobresaliente en términos de rendimiento en la extracción de pectina (Yang *et al.* 2018). El uso de soluciones ácidas (inorgánicas/orgánicas) se aplica con valores de pH entre 1.5-4, y el tiempo de calentamiento puede variar entre 1 y 3 horas (Iñiguez *et al.* 2024). En un estudio hecho por García *et al.* (2023) la hidrólisis ácida con calentamiento en baño maría fue el método más utilizado para la extracción de pectina con el 67.7% de los casos, mientras que la hidrólisis ácida asistida por microondas, comienza a tomar relevancia con un 4.6% de las investigaciones revisadas.

B. Extracción por hidrólisis ácida asistida por microondas

La extracción asistida por microondas puede acortar significativamente el período de extracción a una escala de minutos. El calor inducido por las microondas en los materiales en un corto período de tiempo provoca una alteración de los tejidos vegetales y facilita la disolución de la pectina en el disolvente circundante (Román *et al.* 2023), y a través de la transferencia de masa, se separa la compleja red de pectina/celulosa/hemicelulosa. Además, con una distribución de temperatura más uniforme en la solución, se pueden obtener mejores rendimientos en la extracción y pectinas con características para diferentes usos industriales (Mao *et al.* 2023).

3.6. Aplicaciones industriales de la pectina

El uso de pectinas en diversos ámbitos como el farmacéutico, alimentario y cosmético ha dado lugar a la aparición de numerosos productos finales (Chan *et al.* 2017). Tiene innumerables usos funcionales y nutritivos dentro de la alimentación y, cada vez más, en otras industrias relacionadas (Adetunji *et al.* 2017). Román *et al.* (2023), muestran de forma sintetizada, que la pectina tiene una amplia gama de usos, esto debido a sus propiedades de biodegradabilidad y biocompatibilidad (ver Figura 2.).

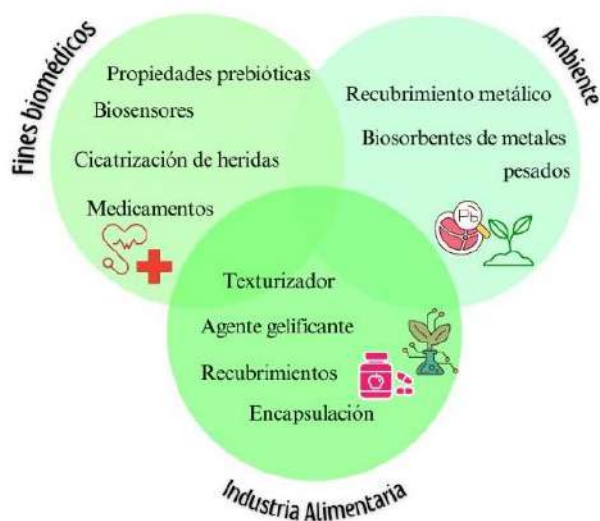


Figura 2. Aplicaciones de la pectina en diferentes industrias.

La pectina se caracteriza como emulsionante, agente gelificante, agente de glaseado, estabilizador y/o espesante en aplicaciones comerciales (Codex Alimentarius 2023). Todos estos términos funcionales son de hecho, subconjuntos del término "modificador de reología"(Chan *et al.* 2017). La pectina tiene estatus GRAS (aditivo reconocido como seguro), aprobado por la autoridad europea de seguridad alimentaria (EFSA) con código E440 (EFSA 2024). Este aditivo se utiliza en varios productos como mermeladas, yogures, helados, salsas, aderezos para ensaladas y varios otros. Siendo las confituras, jaleas y

mermeladas las principales áreas de su aplicación. La pectina también es utilizada para la estabilización de proteínas en bebidas lácteas acidificadas (Ciriminna *et al.* 2016).

Al ser un hidrocoloide, la pectina se dispersa en agua y puede actuar como un sustituto de grasas en alimentos procesados. Por lo que la demanda de la industria alimentaria por alimentos bajos en calorías y grasas por parte de los consumidores, ha resultado en una mayor demanda de pectina por parte de los fabricantes de alimentos (Ciriminna *et al.* 2016). Se prevé que la pectina tendrá un mercado comercial interesante en los próximos años en comparación con otros hidrocoloides, debido a su efecto positivo en la salud, precios relativamente bajos y seguridad de consumo (Molesmi 2021). El mercado de la pectina, se ha expandido rápidamente, se estima en valores de 1.01 mil millones de dólares en 2024 y se espera que alcance los 1.33 mil millones de dólares en 2029 (Mordor intelligence 2023).

La extracción de pectina a partir de la cáscara del fruto del cacao, es una forma de dar un valor agregado a este subproducto, pudiendo contribuir a generar ingresos adicionales para las empresas agroindustriales y agricultores. Se presenta como una alternativa, ya que el cacao es un recurso natural con una alta demanda a nivel mundial, lo que, a su vez genera una elevada producción de residuos agroindustriales, agravado por el volumen que representa la cáscara del fruto. Su valorización en la industria alimentaria y/o farmacéutica, lo convierte de un residuo a un recurso, siendo la vía de transición de un modelo lineal a una economía circular para crear nuevos productos valiosos.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Materiales

Se utilizaron cáscaras de frutos de cacao que fueron recolectados en la zona sur de la Biosfera del Rio Plátano, una de las áreas protegidas más importantes en el Corredor Biológico Mesoamericano. Para la separación de pectina se utilizó ácido cítrico de grado alimenticio y alcohol al 95% de pureza. La investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Nacional de Agricultura, Catacamas, departamento de Olancho.

4.2. Métodos

4.2.1. Caracterización de la materia prima

Se midieron cuatro aspectos físicos de cinco frutos trinitarios representativos, se midieron los siguientes parámetros: peso del fruto y cáscara con una balanza digital (Brecknell 405, Multi Unidades). El largo de la mazorca del fruto se midió con un calibrador vernier, se tomó la distancia lineal entre los extremos del fruto (del ápice a la base del fruto), expresado en centímetros. El ancho del fruto se determinó en la línea ecuatorial de la mazorca. El grosor de la cáscara, se midió extrayendo un anillo de 1 cm de profundidad y se midió la distancia que hay desde el borde interno del anillo hasta el exocarpio de la mazorca.

4.2.2. Obtención de harina de cáscara de cacao

Los frutos lavados y desinfectados con una solución a 100 ppm de hipoclorito de sodio, y se extrajeron las semillas del interior del fruto. Las cáscaras se cortaron de forma transversal, a un ancho de aproximadamente 1 cm, posteriormente se secaron en un deshidratador solar, para reducir al 10% de humedad, medida en una balanza de humedad (OHAUS MB45). Para la disminución del tamaño de la partícula a 420 μm , se utilizó un molino de martillos eléctrico, la harina obtenida fue almacenada en envases de vidrio transparentes mientras se llevó a cabo la aplicación de los métodos de extracción de pectina.

4.3. Diseño experimental

Las condiciones óptimas del proceso de extracción se determinaron utilizando metodología de superficie de respuesta con diseño central compuesto (DCC) con dos puntos axiales y cinco puntos al centro. Los factores considerados son el pH del medio de extracción y el tiempo de calentamiento en baño maría y en microondas (tabla 2). Con rendimiento, grado de esterificación y contenido de cenizas como variables de respuesta. El factor tiempo de calentamiento se analizó en diferentes tiempos de extracción en cada metodología.

Tabla 2. Matriz del diseño experimental.

Prueba Experimental	Baño maría		Microondas	
	pH	Tiempo (min)	pH	Tiempo (min)
1	2.50	45.00	2.00	15.00
2	2.50	90.00	2.50	10.00
3	2.00	60.00	2.50	10.00
4	2.50	90.00	3.00	5.00
5	3.25	90.00	3.25	10.00
6	3.00	120.00	2.50	10.00
7	2.50	135.00	3.00	15.00
8	3.00	60.00	1.75	10.00

9	2.50	90.00	2.50	2.50
10	1.75	90.00	2.50	10.00
11	2.50	90.00	2.50	17.50
12	2.00	120.00	2.00	5.00
13	2.50	90.00	2.50	10.00

Se muestra esquemáticamente en la figura 3, el diseño central compuesto para la extracción por calentamiento en baño maría y por microondas.

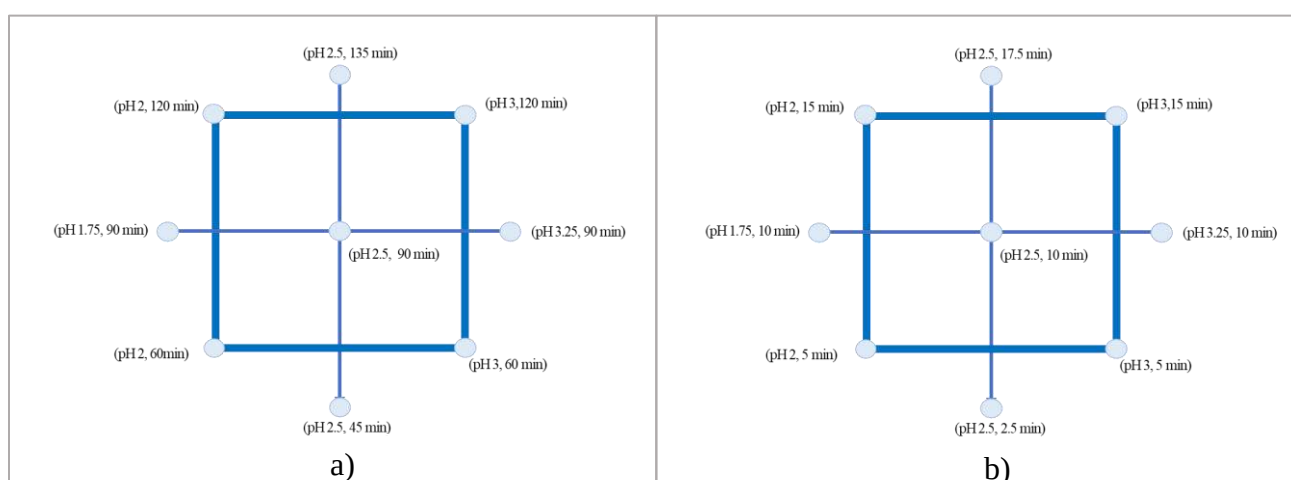


Figura 3. Diseño Central Compuesto, a). calentamiento en baño maría, b). calentamiento en microondas.

4.3.1. Extracción de pectina por calentamiento en baño maría

Se utilizó la metodología descrita por Hossain *et al.* (2024) modificada, donde la extracción comenzó con la hidrólisis ácida de 88.88 g de harina de la cáscara del cacao, con relación 1:18 p/v, en diferentes vasos de precipitado de 600 ml, mezcladas en una solución con 400 ml de agua destilada y ácido cítrico con relación p/v estandarizada de acuerdo al pH de cada tratamiento, la solución se calentó en un baño María (Poly ProBath - REVSCI) a 90 °C. La

pectina se extrajo a diferentes niveles de pH y diferentes periodos de tiempo de calentamiento (ver tabla 2). Para los ajustes de pH, se utilizó NaOH 0.1 N en la solución.

4.3.2. Extracción por hidrólisis ácida asistida por microondas

Siguiendo la metodología empleada por Wandee *et al.* (2019) con modificaciones, la extracción de pectina consistió en la hidrólisis de 88.88 g de harina de la cáscara del cacao en diferentes vasos de precipitado de 1000 ml, mezcladas en soluciones de 400 ml de agua destilada y ácido cítrico. La suspensión obtenida se calentó en un microondas (Hamilton Beach), programado a una potencia media de 400 W, y se calentó en un sistema abierto sin agitación de acuerdo a las condiciones que se muestran en la tabla 2. Para los ajustes de pH, se utilizó NaOH 0.1 N en la solución.

Después de la extracción, se procedió a enfriar la solución a 30 °C y se filtró. La solución filtrada se colocó en vasos de precipitado de 1,000 ml. Luego, para la precipitación de la pectina, en proporciones de 1:2 (1 parte de extractante por 2 partes de etanol al 95%), se dejó reposar a 25 °C durante 10 horas. Posteriormente, el sobrenadante se filtró y se lavó dos veces con etanol al 95%. Luego, se prensó y se colocó en una cápsula de vidrio, sometiéndose a secado en un horno de aire forzado (VWR Scientific 1350 FM) a 60 °C por dos horas. El extracto seco se llevó a granulometría, mediante pulverizado (figura 4) utilizando un mortero y pistilo, y se almacenó en frascos de vidrio transparente para su posterior análisis.

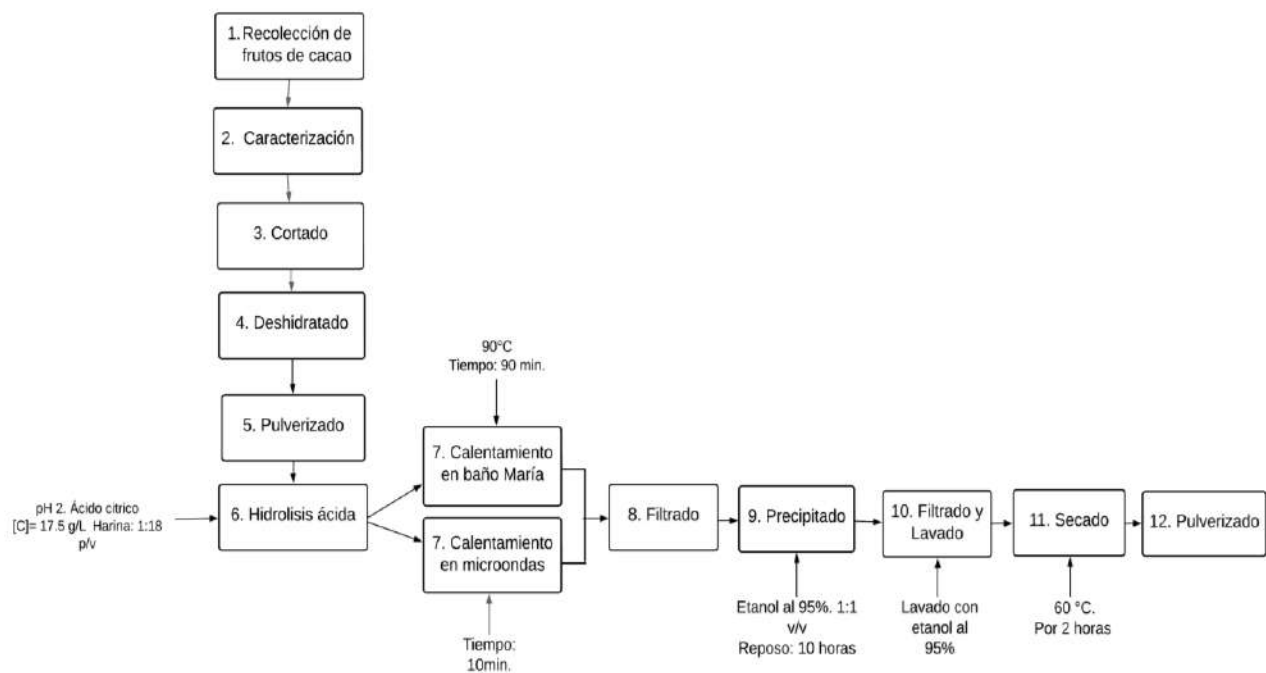


Figura 4. Flujo de proceso de extracción de pectina de las cáscaras de cacao.

4.4. Evaluación de las variables de respuesta

Las características de la pectina de cáscaras de cacao, resultante de la extracción con calentamiento en baño y por microondas, se midieron siguiendo las metodologías descritas a continuación:

4.4.1. Rendimiento de la pectina extraída

Para determinar la eficiencia de cada método de extracción empleado, se utilizó la metodología descrita por Pangestu *et al.* (2020), donde menciona que para calcular el rendimiento de pectina con respecto a la materia prima inicial (harina de cáscaras de cacao) se aplica la ecuación 1. Es importante considerar que, es común referirse al rendimiento de sólidos insolubles en alcohol (SIA) como el rendimiento de pectina. Aunque los SIA son

ricos en pectina, también contienen otros componentes como la hemicelulosa (Mao *et al.* 2023).

$$\text{Rendimiento de pectina, \%} = \frac{\text{gramos de pectina seca}}{\text{gramos de harina de cáscaras de cacao}} * 100$$

Ecuación 1. Determinación del rendimiento de pectina.

4.4.2. Grado de esterificación de la pectina obtenida

El grado de esterificación (GE) de pectina se determinó según el método de Liew *et al.* (2014) con modificaciones. Se humedecieron 0.2 gramos (1%) de muestra de pectina seca con etanol al 70% y se disolvieron en 20 ml de agua destilada. A la muestra se le añadió tres gotas de fenolftaleína. Posteriormente, la muestra se tituló con hidróxido de sodio 0.1 N. El resultado se registró como el volumen de titulación inicial una vez la solución cambió a color rosado.

Luego, se añadieron 10 ml de NaOH 0.1 N para neutralizar el ácido poligalacturónico y se dejará reposar a temperatura ambiente durante 2 horas para desesterificar la pectina. Se agregaron 25 ml de ácido clorhídrico 0.075 N para neutralizar la solución. Se tituló nuevamente con hidróxido de sodio 0.1 N. El volumen de titulación se registró como volumen final de titulación. Con la determinación de las variables, se procedió a aplicar la siguiente ecuación:

$$\text{Grado de esterificación, \%} = \frac{B \text{ (ml)}}{A \text{ (ml)} + B \text{ (ml)}} \times 100$$

Ecuación 2. Determinación del grado de esterificación en pectina.

Donde, A es la titulación inicial y B es la titulación final.

4.4.3. Contenido de cenizas de la pectina extraída

A través de la metodología descrita por Amanuel *et al.* (2024), con algunas modificaciones se determinó el contenido de cenizas (CC), incinerando 1 gramo de pectina colocado en un crisol libre de humedad, se quemó en un horno de mufla a 600 °C durante 5 h. Al transcurrir el tiempo, se retiraron los crisoles y se enfriaron ligeramente en un desecador con cloruro de calcio, como agente para moderar la humedad. Después de lo cual se pesó la materia inorgánica resultante y se calculó el porcentaje de contenido de cenizas (%) mediante la ecuación 3:

$$\text{Contenido de cenizas, \%} = \frac{W_1 - W_2}{W_n} \times 100$$

Ecuación 3. Ecuación para calcular el porcentaje de cenizas.

Donde, W_1 es el peso de la cápsula con las cenizas, en gramos, W_2 es el peso de la cápsula vacía en gramos, y W_n es el peso inicial seco de la muestra en gramos.

4.4.4. Humedad de la pectina

Se pesó por triplicado una muestra de 3 gramos de pectina en una balanza OHAUS MB45, programada para determinar el contenido de humedad de verduras secas, donde cada muestra se sometió a calentamiento a 105 °C por 3 min.

4.5. Análisis de la información

Para el procesamiento de los datos, se utilizó el programa estadístico *Minitab* con los factores de estudio: pH y tiempo de calentamiento. Con la aplicación del modelo de superficie de respuesta, se obtuvo la ecuación de regresión lineal para la optimización de las variables.

4.6. Uso de la pectina extraída de las cáscaras de cacao

Se recolectaron frutos maduros de *Solanum quitoense* (naranjilla) de la finca agroecológica en la Universidad Nacional de Agricultura, se transportaron hacia el laboratorio, donde pasaron por un proceso de selección, lavado y desinfección. Como parte del proceso observacional y como una posibilidad de uso, se puso a prueba la capacidad gelificante de la pectina extraída de las cáscaras de cacao, utilizándola como un ingrediente en la preparación de mermelada a base de naranjilla con pectina de cáscaras de cacao.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Características físicas del cacao

Se caracterizaron mazorcas de cacao, en la tabla 3 se muestran las características físicas promedio, además se utilizó frutos en estado óptimo de madurez, sin daños físicos ni microbiológicos y todos de la variedad híbrido trinitario. Los parámetros medidos son inferiores a lo reportado por Amador *et al.* (2022), que obtuvo un largo del fruto de 170.4 mm, ancho de 85.5 mm, espesor de la cáscara de 12.9 mm, peso de 588,06 g. en la misma variedad de cacao.

Tabla 3. Características de la materia prima (frutos y cáscaras de cacao).

Largo del fruto (mm)	Ancho del fruto (mm)	Grosor de la cáscara (mm)	Peso del fruto (g)
167.82	80.64	11.42	414.33

Los valores se expresan como la media de n=6.

5.2. Características de la pectina de las cáscaras de cacao

Tabla 4. Influencia de las condiciones de extracción sobre el rendimiento, grado de esterificación y contenido de cenizas.

Factor	Valor p	
	Rendimiento	
	Baño María	Microondas
pH	0.001**	0.034*
Tiempo	0.050*	0.002**

pH*pH	0.046*	0.105
pH*Tiempo	0.453	0.054
Grado de esterificación		
pH	0.000**	0.003**
Tiempo	0.000**	0.155
pH*pH	0.000**	0.089
pH*Tiempo	0.000**	0.025*
Contenido de cenizas		
pH	0.425	0.007**
Tiempo	0.287	0.113
pH*pH	0.023*	0.019*
pH*Tiempo	0.759	0.442

Los valores con * representan aquellos que son significativos al nivel de probabilidad $p < 0.05$. Los valores con ** representan aquellos que son significativos al nivel de probabilidad $p < 0.01$.

En la tabla 4 se observa que en la caracterización fisicoquímica de la pectina, se encontró que el factor pH tuvo un efecto significativo sobre el rendimiento de extracción de pectina por el método de calentamiento en baño maría (0.001), y en el calentamiento por microondas (0.034), así mismo, se presentaron diferencias significativas en la variable grado de esterificación de la pectina extraída por calentamiento en BM (0.000) y por MO (0.003). En cambio, en el contenido de cenizas, no se presentaron diferencias significativas (0.425) en BM, sin embargo, en la extracción por calentamiento en MO, esta variable si se vio afectada (0.007).

Por otro lado, el factor tiempo de calentamiento presentó un efecto significativo sobre rendimiento en el calentamiento en baño maría (0.050), y en la extracción por calentamiento en microondas (0.002). De igual forma, el grado de esterificación se vio influenciado (0.000) por el tiempo de calentamiento en BM más no se presenta diferencia estadísticamente significativa (0.089) en el calentamiento por MO. En el contenido de cenizas no existen diferencias significativas con respecto a las distintas condiciones de tiempo de calentamiento en la extracción de la pectina.

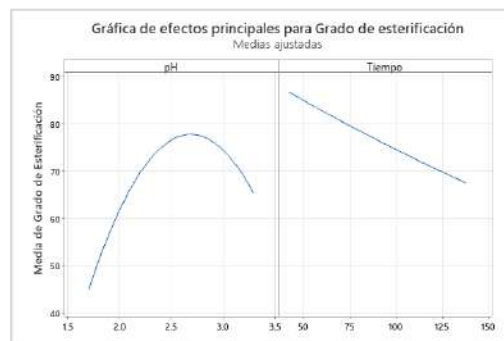
a) Extracción por calentamiento en baño maría

En el método por BM (figura 5) se observa que las condiciones de pH tienen un efecto ligeramente cuadrático sobre el rendimiento pectina extraída, la curvatura se presenta en pH 2, a partir de donde se observa una relación positiva, es decir, a medida aumenta el nivel de pH, aumenta el rendimiento de extracción. Lo contrario ocurre sobre el grado de esterificación, que el punto máximo se ubica en un pH de 2.8 obteniéndose 77% de grado de esterificación, lo que significa que niveles superiores y/o inferiores que este nivel, comienzan a afectar negativamente el GE de la pectina. De la misma manera, el contenido de cenizas tiene un efecto cuadrático, obteniéndose un valor máximo a pH 2.6 con más de 9% de cenizas.

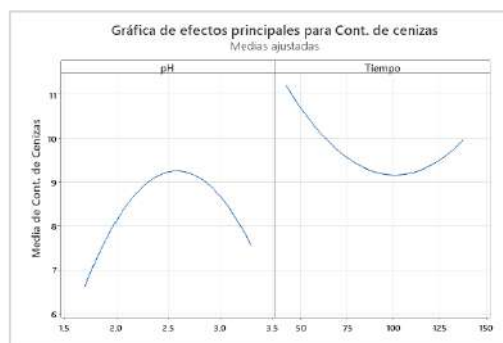
En el factor tiempo se observa un comportamiento lineal sobre el rendimiento y el grado de esterificación de la pectina extraída, afectando de forma negativa a estas variables (a mayor tiempo de calentamiento, menor rendimiento y menor GE). De forma diferente, se presentó un efecto cuadrático sobre el contenido de cenizas, obteniéndose el menor contenido a 100 min. de calentamiento.



a)



b)



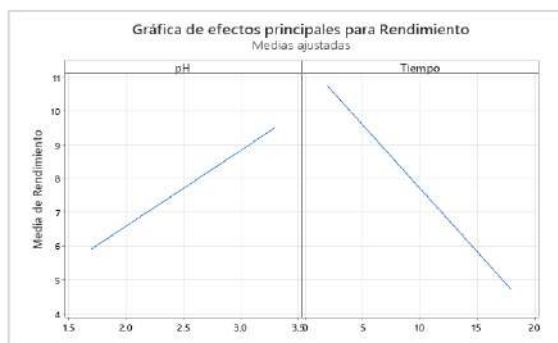
c)

Figura 5. Efecto del pH y tiempo de calentamiento en baño maría sobre las características de la pectina. a) rendimiento, b) grado de esterificación, c) contenido de cenizas.

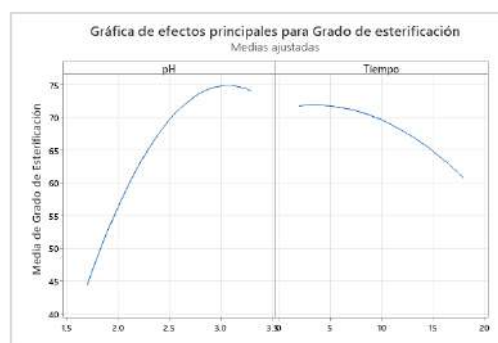
b. Extracción por calentamiento en microondas

En la extracción de pectina por calentamiento en microondas, a las condiciones de pH estudiadas se observa un efecto lineal positivo en el rendimiento de extracción (figura 6). Mientras que en el grado de esterificación se presenta un comportamiento cuadrático, donde el punto máximo se ubica en pH 3 con un GE de 75%. Con un comportamiento similar, a un pH de 2.8 se obtiene un contenido de cenizas > 9%.

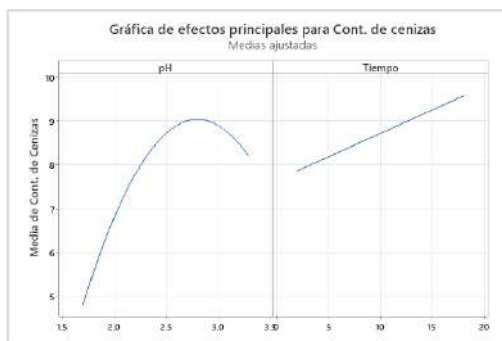
Por otro lado, el tiempo de calentamiento en microondas presentó efectos lineales negativos sobre el rendimiento y el grado de esterificación, mientras que se obtienen efectos positivos en el contenido de cenizas, a medida aumentan los tiempos de calentamiento. Se encontró que el menor contenido de cenizas se obtiene a 5 min de calentamiento.



a)



b)



c)

Figura 6. Efecto del pH y tiempo de calentamiento en microondas sobre las características de la pectina. a) rendimiento, b) grado de esterificación, c) contenido de cenizas.

5.3. Ecuaciones de regresión del modelo estadístico

La ecuación del modelo de cada variable, es uno de los resultados del proceso de optimización que se puede utilizar para predecir el valor de respuesta. Las ecuaciones 1 a 3 son los modelos de predicción del rendimiento, grado de esterificación, el contenido de cenizas de la pectina extraída por calentamiento en baño maría. Las ecuaciones de regresión de la extracción de pectina con calentamiento en microondas aparecen en las ecuaciones 4 a 6

En las ecuaciones, los efectos de interacción entre el pH y el tiempo indican que el efecto del pH depende del tiempo de extracción. El modelo estadístico mostró que en el calentamiento por microondas las condiciones óptimas son pH: 3.5 y tiempo de calentamiento de 5 min, dando como resultado rendimientos de extracción de 14.7%, GE: 70.5% y CC: 6.8%. En cambio, para la extracción por baño maría son pH: 3 y tiempo de calentamiento de 60 min, para obtener un rendimiento de 9.6%, GE: 70.8% y CC: 9.4%.

$$\text{Rendimiento} = 23.7 - 17.3 \text{ pH} - 0.0359 \text{ Tiempo} + 4.39 \text{ pH} * \text{pH} \quad (1)$$

$$\text{GE} = -0.9 + 122.4 \text{ pH} - 1.827 \text{ Tiempo} - 33.66 \text{ pH} * \text{pH} + 0.6506 \text{ pH} * \text{Tiempo} \quad (2)$$

$$CC = -13.88 + 19.18 \text{ pH} - 0.0129 \text{ Tiempo} - 3.72 \text{ pH} * \text{Tiempo} \quad (3)$$

$$\text{Rendimiento} = -8.52 + 8.00 \text{ pH} + 1.064 \text{ Tiempo} - 0.576 \text{ pH} * \text{Tiempo} \quad (4)$$

$$GE = 114.8 - 16.7 \text{ pH} - 9.48 \text{ Tiempo} + 3.52 \text{ pH} * \text{Tiempo} \quad (5)$$

$$CC = -19.18 + 19.36 \text{ pH} + 0.1070 \text{ Tiempo} - 3.45 \text{ pH} * \text{Tiempo} \quad (6)$$

Donde, GE es el grado de esterificación y CC es el contenido de cenizas de la pectina obtenida de las cáscaras de cacao.

5.4. Condiciones óptimas de extracción de pectina

Los resultados de los parámetros rendimiento, grado de esterificación y contenido de cenizas de la pectina extraída (11% humedad) por calentamiento en baño maría, y en microondas, se muestran en las figuras 7 y 8.

5.4.1. Rendimiento de la pectina extraída

Las condiciones óptimas para el rendimiento de extracción de pectina por calentamiento en baño maría se determinaron a partir de las isocurvas de respuesta de la Figura 7a. El máximo rendimiento de extracción fue de 9.67% a condiciones óptimas de pH 3 y 60 min de calentamiento. En un estudio, Bone *et al.* (2022) encontraron rendimientos inferiores de 6.57% en las mismas condiciones de extracción (pH y tiempo de calentamiento). Por otro lado, Iñiguez *et al.* (2024) optimizaron la extracción de pectina de cáscara de naranja utilizando ácido cítrico, y también se encontró que el tiempo de extracción tiene un efecto opuesto sobre el rendimiento. Esto se debe a que el ácido puede destruir el enlace glucósido y el enlace éster, en consecuencia, el peso molecular de la pectina desciende y la propiedad gelificante disminuye (Xue *et al.* 2011).

En el caso del calentamiento por microondas, el rendimiento fue proporcional al pH, e inversamente proporcional al tiempo de calentamiento (figura 8a). En este caso, se obtuvo un rendimiento máximo de extracción de 14.72% a condiciones optimizadas de pH de 3.5 y un tiempo de calentamiento de 5 min. El rendimiento de extracción de pectina está dentro del rango estándar de 11-15% de pectina que contiene la cáscara de cacao en base seca (Hutomo *et al.* 2016). Jiang *et al.* (2022) encontraron que en la extracción de pectina de las cáscaras de sandía con calentamiento en microondas, la pectina se sobre hidroliza a medida que se extiende el tiempo de extracción, lo que provoca la disminución del rendimiento. De manera similar, Maya *et al.* (2022) también encontraron que el tiempo de extracción contribuye negativamente, y en condiciones optimizadas llegaron a obtener rendimientos hasta de 21.1% de pectina de cáscaras de cacao.

5.4.2. Grado de esterificación de la pectina de cáscara de cacao

Las isocurvas de respuesta se muestran en las figuras 7b y 8b demuestran el comportamiento del grado de esterificación de la pectina extraída por calentamiento en baño maría y en microondas, respectivamente. El grado de esterificación disminuyó conforme se aplicaba un pH más alto y tiempos calentamiento más prolongados. Con condiciones óptimas de pH 3 y 60 minutos de calentamiento en baño maría, se obtuvo pectina con 70% de grado de esterificación. En la extracción por calentamiento en microondas las condiciones óptimas fueron pH de 3.5 y tiempo de 5 min, obteniendo un mismo grado de esterificación, clasificadas como pectina de alto metoxilo (>50%). Estos valores son similares a algunos como el de Suarez y Marín (2019), que registraron un GE de 58.83%, utilizando ácido cítrico, a pH 2.5, y un tiempo de calentamiento de 40 minutos. Y superan a los reportados a la extracción de pectina de cáscaras de cacao por Aparicio *et al.* (2024), con un GE de 43.14% y de 37.87% (Bhirawa *et al.* 2024).

Niveles de pH más altos generan pectina con mayor contenido de GE. Un pH bajo desencadena una reacción de hidrólisis más alterada, liberando ácido urónico libre y provocando la formación de pectina de bajo peso molecular (Pangestu *et al.* 2020). La pectina obtenida con períodos de irradiación prolongados y de alta potencia, tiende a exhibir un GE reducido, lo que lleva a una mayor desesterificación de las cadenas de ácido poligalacturónico (Li *et al.* 2024), lo resulta en una pectina con bajo GE (Cui *et al.* 2021). Las pectinas con alto contenido de metoxilo forman geles a pH bajo (<4.0) o en presencia de un alto contenido de azúcar, útiles para alimentos como mermeladas y jaleas (Pei *et al.* 2024), ya que poseen una mejor capacidad para formar geles irreversibles (Pangestu *et al.* 2020).

5.4.3. Contenido de cenizas de la pectina extraída

Las impurezas inorgánicas de la pectina se expresan como contenido de cenizas. Las figuras 7c y 8c, muestran que el pH del medio de extracción afecta el contenido de cenizas de la pectina extraída por calentamiento en microondas. Mientras que el tiempo de calentamiento no influye sobre esta variable. En la extracción por calentamiento en baño maría en condiciones optimizadas, se obtuvo pectina con 9.6% de contenido de cenizas. Mientras que, en la extracción con calentamiento en microondas se presentó un 8.2% de cenizas o impurezas en la pectina, ambos valores dentro del rango de 0.76-10.69% establecido por Ranganna (1986). En un estudio, Suarez y Marín (2019) reportaron un contenido de 8.43% de cenizas en pectina de cáscaras de cacao y Bone *et al.* (2022) encontraron valores similares con 8% de cenizas en la pectina extraída. El contenido de cenizas resulta importante porque afecta la pureza de la pectina y de ello también depende su capacidad para formar geles (Maya *et al.* 2022).

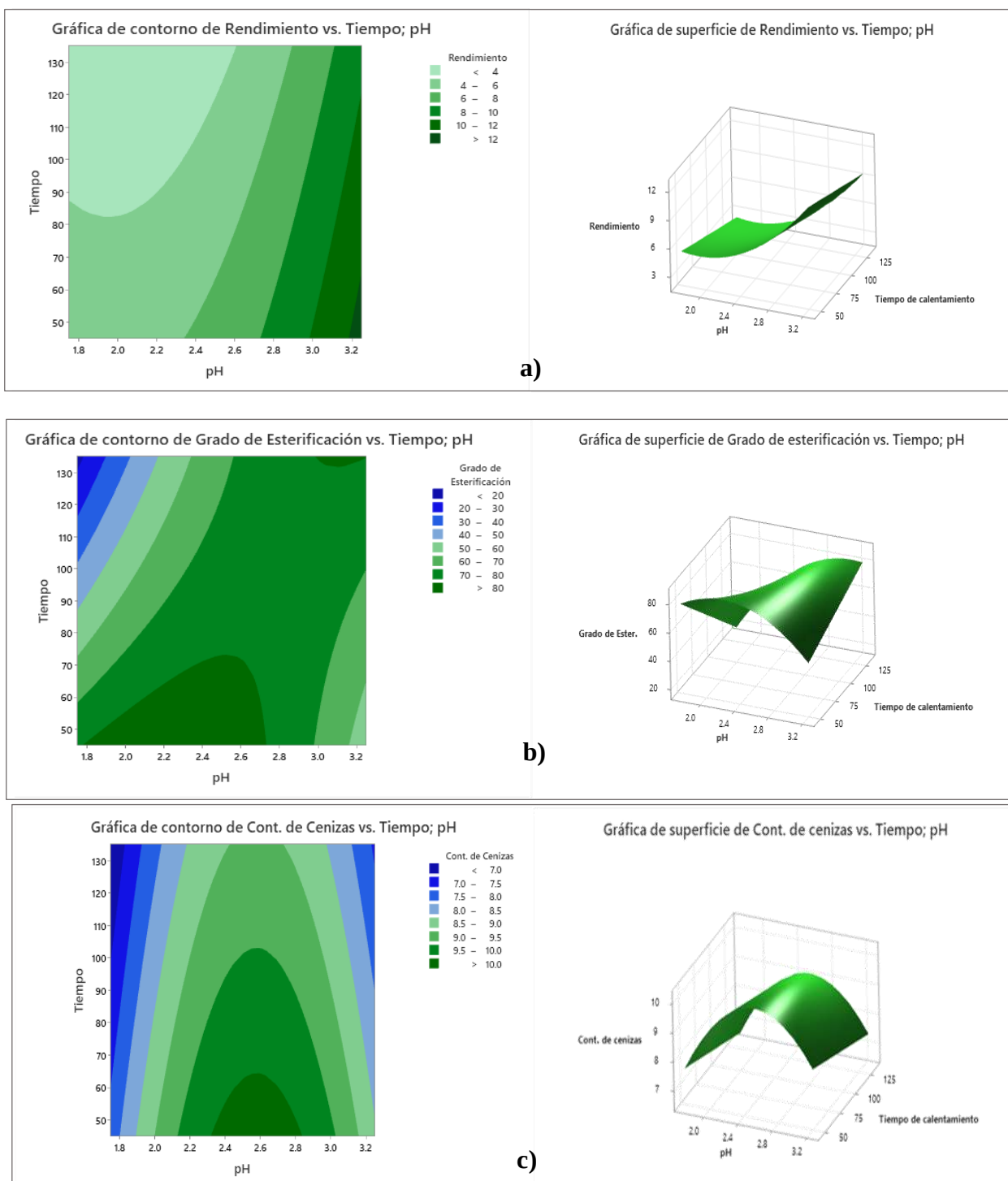
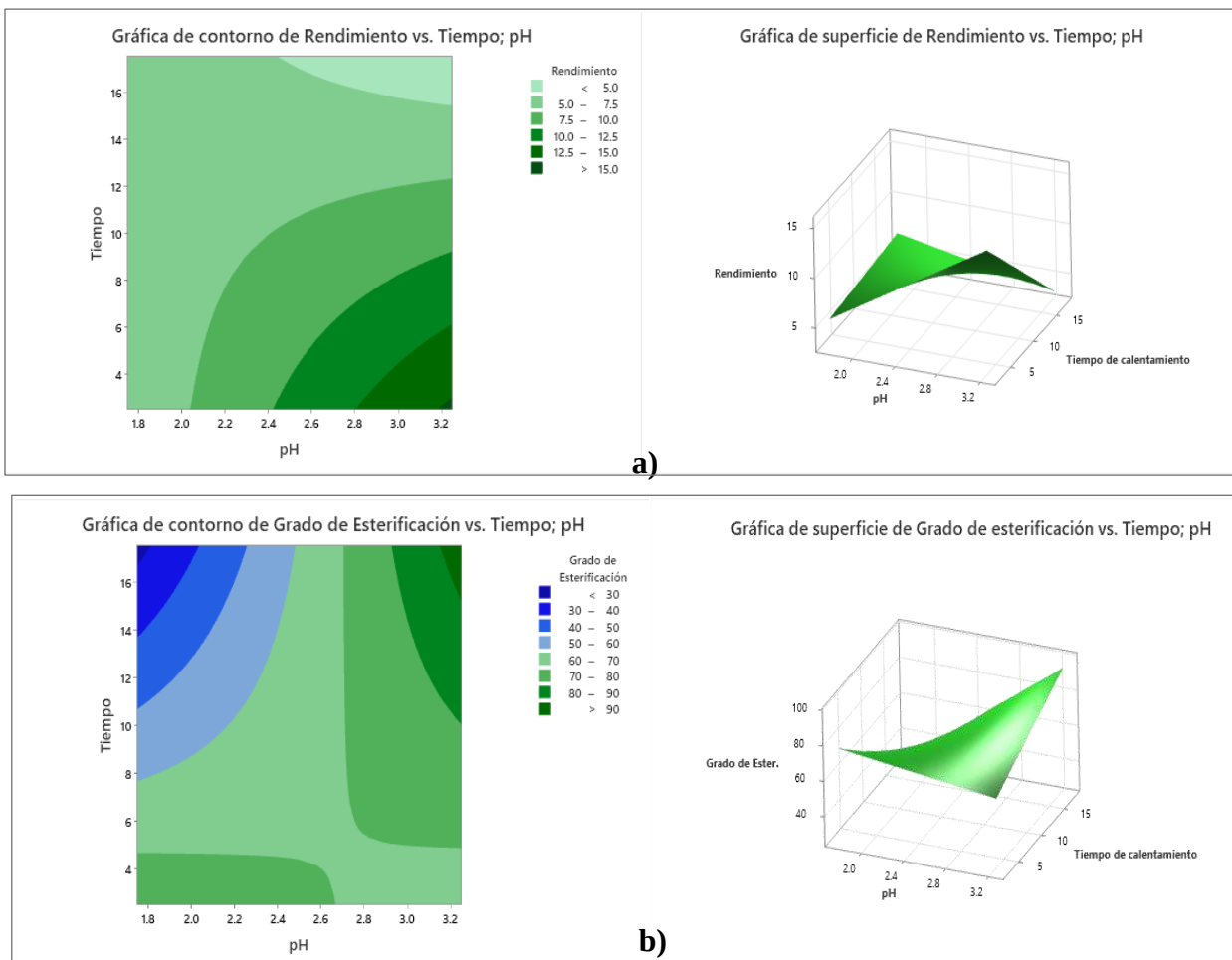


Figura 7. Comportamiento del pH y tiempo de calentamiento en baño maría sobre las características de la pectina. a) rendimiento, b) grado de esterificación, c) contenido de cenizas.

Los parámetros rendimiento, grado de esterificación y contenido de cenizas medidos para predecir el valor de respuesta de la extracción de pectina por calentamiento en microondas, se muestran en la figura 8.



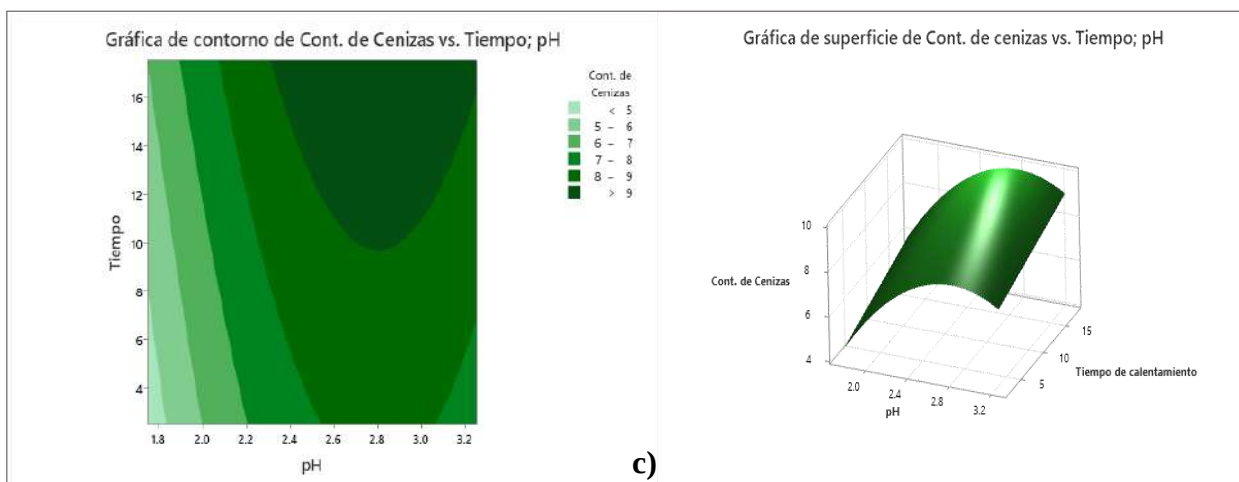


Figura 8. Comportamiento del pH y tiempo de calentamiento en microondas sobre las características de la pectina. a) rendimiento, b) grado de esterificación, c) contenido de cenizas.

VI. CONCLUSIONES

Con el proceso de extracción de pectina de las cáscaras de cacao (*Theobroma cacao* L.) se determinó que las características de la pectina extraída dependen significativamente de las condiciones a las que se someta la matriz vegetal.

Las mazorcas de cacao utilizadas para la extracción de pectina, presentaron características físicas similares al estándar en términos de peso y tamaño del fruto.

Niveles de pH superiores a 2.5, tienen un efecto positivo en el rendimiento de extracción y en el grado de esterificación de la pectina. Mientras que tiempos de calentamiento mayores a 60 min en baño maría y 5 min en microondas tienen un efecto inverso en estas mismas variables.

Con la extracción asistida por microondas, se obtuvo pectina con mayores rendimientos (14.7%), alto grado de esterificación (70.5%) y menor contenido de cenizas (6.9%), en comparación con la extracción con calentamiento en baño maría.

VII. RECOMENDACIONES

Evaluar cómo la pectina extraída de las cáscaras de cacao se desempeña en aplicaciones específicas, como en la industria alimentaria o farmacéutica, proporcionando así un valor añadido a este ingrediente.

Analizar la rentabilidad del proceso de extracción de pectina de cáscaras de cacao utilizando calentamiento por microondas, con el fin de determinar su viabilidad financiera.

Determinar la factibilidad de implementar una planta piloto destinada al tratamiento de los subproductos generados durante el procesamiento del cacao.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

Adetunji, L; Adekunle, A; Orsat, V; Raghavan, V. 2017. Advances in the pectin production process using novel extraction techniques: A review. Food Hydrocolloids. 62:239-250. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.08.015>

Afedzi, A; Obeng, F; Aduama, M; Zhou, X; Xu, Y. 2023. Valorization of Ghanaian cocoa processing residues as extractives for value-added functional food and animal feed additives: A review. Biocatálisis y Biotecnología Agrícola. 52:102-835. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102835>

Aguilar, H. 2017. Guía de Buenas Prácticas de Poscosecha de Cacao. La Lima, Cortés: FHIA, 2017. Disponible en http://fhia.org.hn/downloads/cacao_pdfs/Guia_buenas_practicas_de_poscosecha_de_cacao.pdf

Aguiar, S; Enríquez, M; Uvidia, H. 2022. Residuos agroindustriales: su impacto, manejo y aprovechamiento. Universidad Estatal Amazónica, Departamento de Ciencias de la Tierra. Puyo, Pastaza, Ecuador. Disponible en <https://axioma.pucesi.edu.ec/index.php/axioma/article/view/803/728>

Amador, C; Alvarado, A; Farah, S; Martillo, J. 2022. Caracterización morfológica del cacao nacional “*Theobroma cacao* L.” del cantón Naranjal, Ecuador. Revista Tecnológica Espol. 34(4): 80-97. Disponible en <https://doi.org/10.37815/rte.v34n4.978>

Amanuel, L; Dessie, A; Alebachew, A. 2024. Cotton pigment printing and characterization from post-consumer lemon peel pectin binder. Journal of Engineered Fibers and Fabrics. 19:1-14. Disponible en <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/15589250241251465>

Aparicio, J; Neira, E; Ramos, P. 2024. Extracción de pectina a partir de la cáscara de cacao y su caracterización mediante análisis de FT-IR. TECNIA. 34 (1):42-50. Disponible en <https://doi.org/10.21754/tecnia.v34i1.2113>

Assifaoui, A; Hayrapetyan, G; Clemence, G; Agoda, G. 2024. Exploring techno-functional properties, synergies, and challenges of pectins: A review. Carbohydrate Polymer Technologies and Applications. 7:100-496. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2024.100496>

Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA). 2024. Aditivos alimentarios. Disponible en <https://www.efsa.europa.eu/es/topics/topic/food-additives>

Aviña, I; Contreras, C; Corona, E; Carranza, J. 2016. Determinación de pectina total (ácido galacturónico) en pepino de tipo holandés. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos. 1(1):348-352. Disponible en <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/1/3/59.pdf>

Ayub, Y; Moktadir, A; Ren, J. 2024. Sustainable waste valorization process selection through AHP and advanced Interval Valued Fermatean Fuzzy with integrated CODAS. Process Safety and Environmental Protection. 185:408-422. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.03.019>

Bhirawa, S; Shamsudin, R; Hazwan, M; Sharif, S; Dwi, A; Salahuddin, M. 2024. Optimization of subcritical water extraction for pectin extraction from cocoa pod husks using the response surface methodology. Food Chemistry. 459:140-355. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140355>

Bone, J; Lara, V; Canchingre, M; Mosquera, G. 2022. Obtaining pectin and its use in the production of jam from cocoa (*Theobroma cacao* L.). Sapienza: International Journal of Interdisciplinary Studies. 3(6):289-297. Disponible en <https://doi.org/10.51798/sijis.v3i6.556>

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

Castillo, E; Alvarez, C; Contreras, Y. 2018. Caracterización fisicoquímica de la cáscara del fruto de un clon de cacao (*Theobroma cacao* L.) Cosechados en Caucagua estado Miranda, Venezuela. Revista de Investigación. 42(95). Disponible en <https://www.redalyc.org/journal/3761/376160247008/376160247008.pdf>

Chan, S; Choo, W; Young, D; Loh, X. 2017. Pectin as a rheology modifier: Origin, structure, commercial production and rheology. Carbohydrate Polymers. 161:118-139. Disponible en <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28189220/>

Codex Alimentarius. 2023. Norma General para los Aditivos Alimentarios. Codex Stan 192-1995. Pectina. p. 259. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Ciriminna, R; Fidalgo, A; Delisi, R; Ilharco, L; Pagliaro, M. 2016. Pectin production and global market. Agro Food Industry. 27(5). Disponible en <https://www.qualitas1998.net/pagliaro/Pectin-production-and-global-market.pdf>

Cui, J; Zhao, C; Feng, L; Han, Y; Du, H; Xiao, H; Zheng, J. 2021. Pectins from fruits: Relationships between extraction methods, structural characteristics, and functional. Trends in Food Science & Technology. 110: 39-54. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.077>

Departamento Federal de Asuntos Exteriores (DFAE). 2024. El Renacer del Cacao Hondureño. Disponible en

<https://www.eda.admin.ch/deza/es/home/cosude/aktuell/newsuebersicht/2024/07/kakao-aus-honduras.html#:~:text=El%20crecimiento%20del%20sector%20ha,a%20m%C3%A1s%20de%204%2C500%20familias>

Díaz, M; Cervantes, X; Chesme, C. 2023. Sostenibilidad en el Cultivo de Cacao (*Theobroma Cacao* L.) Por las Oportunidades de Economía Circular para la Provincia los Ríos. Ciencia Latina Internacional. 7(4). Disponible en http://dx.doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7342

Dostert, N; Roque, J; Cano, A; I. La Torre, M; Weigend, M. 2011. Datos botánicos de cacao. Disponible en <https://repositorio.promperu.gob.pe/server/api/core/bitstreams/3e671000-b0e4-48bf-9860-641631b6446e/content>

FAO. 2019. The state of food and agriculture. Moving forward on food loss and waste reduction. Roma. Disponible en <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/11f9288f-dc78-4171-8d02-92235b8d7dc7/content>

Farmacopea de los Estados Unidos de América (USP). 2022. Pectina. USP-NF. Rockville, MD. Disponible en https://doi.usp.org/USPNF/USPNF_M61250_01_02.html

García, P; Galindo, A; Ruiz, S. 2023. Métodos de extracción de pectina en frutos: Revisión sistemática. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios. Disponible en <http://dx.doi.org/10.19136/era.a10nNEIII.3728>

Girón, J; Tumba, A; Chemban Koyilot, M; Salas-Calderón, K; Charlton, A; Wills, C; Gentile, P. 2024. From cocoa waste to sustainable bioink: valorising pectin for circular economy-driven tissue engineering. European Polymer Journal. 210. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2024.112967>

Grijalva, A; Jimenez, M; Ponce, H. 2020. Contaminación del agua y aire por agentes químicos. Mundo de la Investigación y el Conocimiento. p 79-93. Disponible en <https://www.recimundo.com/index.php/es/article/view/883>

Hosmer, K; Mohnen, D. 2009. The structure, function, and biosynthesis of plant cell wall pectic polysaccharides. Carbohydrate Research. 344(14):1879-1900 Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.carres.2009.05.021>

Hossain, M; Ara, R; Farzana, Y; Suchi, M; Zaman, W. 2024. Microwave and ultrasound assisted extraction techniques with citric acid of pectin from Pomelo (*Citrus maxima*) peel. Measurement: Food. 13:100-135. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.meafoo.2024.100135>

Hutomo, G; Rahim, A; Kadir, S. 2016. Pectin Isolation from Dry Pod Husk Cocoa with Hydrochloride. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 5(11):751–756. Disponible en <http://dx.doi.org/10.20546/ijcmas.2016.511.086>

Hütz-Adams, F; Campos, P; Fountain, A. 2022. Barómetro del cacao - Base de referencia para Latinoamérica. Disponible en <https://voicenetwork.cc/wp-content/uploads/2022/09/220923-Cocoa-Barometer-Americas-ES.pdf>

ICCO. 2024. Production of cocoa beans. Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics. 3. Cocoa year 2023/24. Disponible en https://www.icco.org/wp-content/uploads/Production_QBCS-L-No.-3.pdf

Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA). 2010. Guía tecnológica del cultivo del cacao. Managua, Nicaragua. Edición N° 4.

Iñiguez, M; Pizaña, J; Ramírez, D; Ramírez, C; Araújo, R; Flores, E; Iqbal, H; Parra, R; Melchor, E. 2024. Enhancing pectin extraction from orange peel through citric acid-assisted

optimization based on a dual response. International Journal of Biological Macromolecules, 1. 263:130-230. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.130230>

Jiang, L; Shang, J; He, L; Dan, J. 2012. Comparisons of Microwave-assisted and Conventional Heating Extraction of Pectin from Seed Watermelon Peel. Advanced Materials Research. 550:1801-1806. Disponible en <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.550-553.1801>

Kwasi, R; Amoako, D; Chaa, S. 2024. Sostenimiento más allá de la producción de cacao para grano: La preferencia y el impacto de los productos de la cascarilla del cacao. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2665972724000011>

Liew, S; Chin, N; Yusof, Y. (2014). Extraction and characterization of pectin from passion fruit peels. “ST26943”, 2nd International conference on agricultural & food engineering, CAFEi2014”. Agriculture & Agricultural Science Procedia. 2: 231–236.

Li, H; Li, Z; Wang, P; Liu, Z; An, L; Zhang, X; Xie, Z; Wang, Y; Li, X; Gao, W. 2024. Evaluation of citrus pectin extraction methods: Synergistic enhancement of pectin's antioxidant capacity and gel properties through combined use of organic acids, ultrasonication, and microwaves. International Journal of Biological Macromolecules. 266: 131-134. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.131164>

Llanos, M; Bell, R; Correa, A. 2023. Visibilidad regional de prácticas de economía circular en publicaciones científicas de alto impacto. 15(6): 185-195. Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202023000600185&lang=es

Maya, S; Madinah, I; Misrany, E; Maulina, S. 2022. Optimization of Microwave-Assisted Pectin Extraction from Cocoa Pod Husk. Molecules. 27(19). Disponible en <https://doi.org/10.3390/molecules27196544>

Mao, Y; Robinson, J; Binner, E. 2023. Current status of microwave-assisted extraction of pectin. Chemical Engineering Journal. 473:145-261. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.145261>

Mordor intelligence. 2024. Tamaño del mercado de pectina y análisis de participación tendencias de crecimiento y pronósticos (2024-2029). Disponible en <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/pectin-market>

Molesmi, M. 2021. Reviewing the recent advances in application of pectin for technical and health promotion purposes: From laboratory to market. Carbohydrate Polymers. 254:117-324. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861720314971>

Morris, G; Binhamad, H. 2020. Isolation and Characterisation of Pectin. Pectin: Technological and Physiological Properties. Cap. 4. 61-82 p.

Naciones Unidas. 2016. Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Disponible en https://unstats.un.org/sdgs/report/2016/the%20sustainable%20development%20goals%20report%202016_spanish.pdf

Nasrollahzadeh, M; Nezafat, Z; Shafiei, N; Soleimani, F. 2021. Biopolymer based structures and the food industry. Pectin. Departamento de química, Facultad de Ciencias, Universidad de Qom. Qom, Irán. Vol 2: applications. p. 78. ISBN: 978-0-323-89970-3.

Palacios, I; Moreno, D. 2022. Contaminación ambiental. Mundo de la Investigación y el Conocimiento. Recimundo. p 93-103. Disponible en <https://www.recimundo.com/index.php/es/article/view/1545/1979>

Pangestu, R; Amanah, S; Betha, A; Perwitasari, U. 2020. Response surface methodology for microwave-assisted extraction of pectin from cocoa pod husk (*Theobroma cacao*)

mediated by oxalic acid. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 14:2126-2133. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00459-4>

Pei, C; Hsien, T; Hsian, F; Hsuan, H; Chi, C; Yi, L. 2024. Microwave and Ultrasoundssisted Extraction of Pectin Yield and Physicochemical Properties from Lemon Peel. *Journal of Agriculture and Food Research*. 15: 101-115. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101009>

Picot, M; Ramasawmy, B; Emmambux, M. 2020. Extraction, Characterisation, and Application of Pectin from Tropical and Sub-Tropical Fruits: A Review. *Food Reviews International*. 38(3):282–312. Disponible en <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/87559129.2020.1733008?needAccess=true>

Ranganna, S. 1986. *Manual of Analysis of Fruits and Vegetable Products*. Tata McGraw Hill publishing Company. 40-42 p.

Rodríguez, N; McLaughlin, M; Pennock, D. 2019. La contaminación del suelo: una realidad oculta. Roma, FAO. Disponible en <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/7d70ca8d-7503-4839-8d6b-8250e9add8ac/content>

Román, A; Contador, C; Li, M; Lam, H; Ah-Hena, K; Ulloa, P; Ravanal, M. 2023. Pectin: An overview of sources, extraction and applications in food products, biomedical, pharmaceutical and environmental issues. *Food Chemistry Advances*. 2: 100-192. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100192>

Ropartz, D; Ralet, M. 2020. Pectin Structure. *Pectin: Technological and Physiological Properties*. 17-36 p. Disponible en https://doi.org/10.1007/978-3-030-53421-9_2

Sarangi, P; Mishra, S; Mohanty, P; Singh, P; Srivastava, R; Pattnaik, R; Adhya, T; Das, T; Lenka, B; Gupta, V; Sharma, M; Sahoo, U. 2023. Food and fruit waste valorization for pectin recovery: Recent process technologies and future prospects. *International Journal of*

Biological Macromolecules. 235. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123929>

Shi, X; Li, X. 2019. A symbiosis-based life cycle management approach for sustainable resource flows of industrial ecosystem. Cleaner Production. 226:324-335. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.030>

Suarez, M; Marín, R. 2019. Rendimiento de la pectina de cascara de cacao (*Teobroma cacao* L.) como estabilizante en mermelada de naranja. Revista Cien. Tecn. Agrollanía. 18:29-34. ISSN: 2665-0053.

Tapia, S. 2016. Situación Actual de la Cadena de Valor del Cacao en Honduras. Disponible en https://assets.rikolto.org/paragraph/attachments/analisis_honduras.pdf

UNHCR. 2018. ¿Qué tipos de contaminación existen y qué puedes hacer tú? Disponible en https://eacnur.org/es/blog/que-tipos-de-contaminacion-existen-tc_alt45664n_o_pstn_o_pst#:~:text=La%20contaminaci%C3%B3n%20consiste%20en%20la,ecosistema%20o%20un%20ser%20vivo.

United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). 2017. Circular economy. Disponible en https://www.unido.org/sites/default/files/2017-07/Circular_Economy_UNIDO_0.pdf

Valencia, A; Peñafiel, C; Encina, C; Anticon, M; Ramos, F. 2024. Circular bioeconomy for cocoa by-product industry: Development of whey protein-cocoa bean shell concentrate particles obtained by spray-drying and freeze-drying for commercial applications. Food and Bioproducts Processing. 146:38-48. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2024.05.003>

Valladares, K; Porto de Souza, L; Zevallos, L; Zandoná, A; Soccol, C. 2022. Citric acid assisted hydrothermal pretreatment for the extraction of pectin and xylooligosaccharides

production from cocoa pod husks. *Bioresource Technology*. 343. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126074>

Vargas, Y; Pérez, L. 2018. Aprovechamiento de residuos agroindustriales para el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Facultad de ciencias básicas*. 14(1):59-72. Disponible en <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/3108/2874>

Vásquez, Z; P. de Carvalho, D; Pereira, G; Vandenberghe, L; Z. de Oliveira, P; Tiburcio, P. Rogez, H; Neto, A; Soccol, C. 2019. Biotechnological approaches for cocoa waste management: A review. *Waste Management*. 90:72-83. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.04.030>

Willats, W; Knox, P; Mikkelsen, D. 2006. Pectin: new insights into an old polymer are starting to gel. *Trends in Food Science & Technology*. 17(3):97-104. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.10.008>

Wandee, Y; Uttapapa, D; Mischnick, P. 2019. Yield and structural composition of pomelo peel pectins extracted under acidic and alkaline conditions. *Food Hydrocolloids*. 87: 237-244. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.08.017>

Xue, Z; Zhang, X; Zhang, Z; Liu, J; Wang, Y; Chen, D. 2011. Optimization of Pectin Extraction from Citrus Peel by Response Surface Methodology. *Food Science*. 32(18):128-132. Disponible en <https://www.spkx.net.cn/EN/10.7506/spkx1002-6630-201118027>

Yang, J; Mu, T; Ma, M. 2018. Extraction, structure, and emulsifying properties of pectin from potato Pulp. *Food Chemistry*. 244:197-205. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.059>