

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

ANTEPROYECTO DE TESIS



CATACAMAS

OLANCHO

JUNIO, 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

ANTEPROYECTO DE TESIS

PRESENTADO A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO
REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN TECNOLOGÍA ALIMENTARIA

CATACAMAS

OLANCHO

JUNIO, 2024

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS	2
III. HIPÓTESIS	3
IV. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
4.1. Contaminación ambiental	4
4.1.1. Contaminación por residuos agroindustriales.....	4
4.2. Economía circular.....	5
4.3. Cultivo del cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)	5
4.4. Residuos del beneficiado del cacao	6
4.5. Cáscara del fruto del cacao	7
4.5.1. Composición química de la cáscara del cacao.....	7
4.6. Características de la pectina	8
4.6.1. Estructura y composición de la pectina.....	9
4.7. Métodos de extracción de pectina.....	10
4.7.1. Extracción por hidrólisis ácida.....	10
4.7.2. Extracción por hidrólisis ácida asistida por microondas	11
4.8. Aplicaciones industriales de la pectina	11
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
5.1. Localización de la investigación.....	14
5.2. Recolección de los frutos de cacao	14
5.3. Caracterización de la materia prima	14
5.4. Preparación de la muestra	15
5.5. Proceso experimental.....	15
5.6. Extracción de pectina	18
5.6.1. Extracción por hidrólisis ácida.....	18
5.6.2. Extracción por hidrólisis ácida asistida por microondas	18
5.7. Evaluación de variables	19
5.8. Análisis de la información	21
5.9. Aplicación de la pectina extraída.....	21

VI. PRESUPUESTO.....	23
VII.CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	24
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	25

I. INTRODUCCIÓN

Entre un cuarto y un tercio de los alimentos producidos anualmente para consumo humano se pierde o desperdicia. Esto equivale a 1,300 Mton, donde el 40-50% son raíces, frutas, hortalizas y semillas que, además, de reducir la disponibilidad de alimentos, generan menores ingresos para los productores (FAO, 2016). El manejo inadecuado de los residuos por parte de la industria alimentaria, incide directamente sobre el equilibrio de los ecosistemas (Aguilar *et al.* 2022). El cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) tiene importancia en la economía de varios países tropicales para elaborar diversos productos a partir de sus granos (Maya, 2022), como chocolate, manteca de cacao y licor (Vásquez *et al.* 2019). No obstante, los residuos generados equivalen al 70%-80% del del fruto (cáscara, placenta y lixiviados) (Meza *et al.* 2024).

Las cáscaras de cacao son una fuente abundante, económica y renovable de compuestos bioactivos como fibra dietética, pectina, compuestos antioxidantes y teobromina (Campos *et al.* 2018). La pectina se caracteriza por sus funciones tecnológicas, como emulsionante, 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).

Extraer ingredientes de los residuos de desperdicios de alimentos es un enfoque atractivo para reducir el impacto negativo de las actividades agroindustriales (Román *et al.* 2023). La valorización de los residuos del cacao, se alinea con los principios de una economía circular, que promueve la sostenibilidad del sector agrícola y la seguridad alimentaria de la población. Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación es extraer pectina de las cáscaras de cacao (*Theobroma cacao* L.) a través de la aplicación de métodos fisicoquímicos para el fraccionamiento de sus componentes.

II. OBJETIVOS

2.1. General

Extraer 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 proceso mediante la aplicación de métodos fisicoquímicos para la extracción de pectina.
- Medir la capacidad gelificante de la pectina producida por el efecto de las modificaciones en los parámetros de control.

III. HIPÓTESIS

H_0 : El método de extracción de pectina de la cáscara de cacao no influye en su capacidad para formar geles.

H_a : El método de extracción de pectina de la cáscara de cacao influye en su capacidad para formar geles.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Contaminación ambiental

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 un medio que provocan que no sea apto o seguro (UNHCR, 2018) y tiene diversas implicaciones para la sociedad humana, incluyendo el bienestar, el valor de la naturaleza y la salud (Grijalva *et al.* 2020).

La mayoría de los contaminantes tienen origen antropogénico, siendo las principales fuentes de la contaminación del suelo, los químicos resultantes de las actividades agroindustriales, residuos domésticos, ganaderos, agroquímicos y productos derivados del petróleo (Rodríguez *et al.* 2019).

4.1.1. Contaminación por residuos agroindustriales

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 ellos, el cacao es un recurso natural con una alta demanda a nivel mundial, que, por el mal manejo de sus residuos, genera degradación ambiental (Diaz *et al.* 2023). La cadena de valor del cacao necesita cambios importantes para mejorar la valorización de este recurso, y encaminar el logro de los objetivos de desarrollo

sostenible (ODS) 2: poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y promover la agricultura sostenible, y el ODS 12, que implica garantizar las modalidades de consumo y producción responsable (Naciones Unidas, 2016).

El cultivo de cacao en Honduras representa una actividad productiva importante, es una fuente de ingresos principalmente para pequeños productores (Tapia, 2016), el aprovechamiento de sus residuos puede tener impactos ambientales, económicos y sociales positivos en muchas familias (Afedzi *et al.* 2023). Para esto se requiere del desarrollo y la estandarización de tecnologías y estrategias basadas en la economía circular a través de una valorización eficiente de los residuos (Sarangi *et al.* 2023).

4.2. Economía circular

La economía circular surge como el modelo económico que busca fomentar una producción y consumo responsable desde lo económico, social y medio ambiental de manera sostenible (Llanos *et al.* 2023). En respuesta a la problemática generada por la gestión tradicional (economía lineal); que conlleva desde 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). La valorización de los residuos del procesamiento del cacao, implica estrategias para obtener el máximo beneficio de los compuestos bioactivos y reducir la cantidad de residuos mediante su uso en nuevos productos en el contexto de la bioeconomía circular (Valencia *et al.* 2024).

4.3. Cultivo del cacao (*Theobroma cacao* L.)

Aproximadamente el 75% de la producción mundial de cacao proviene de África Occidental (Hütz *et al.* 2022). El cacao es uno de los cultivos más conocidos y valiosos del continente africano, se cultiva a gran escala, y Ghana es el segundo productor después de 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). En el contexto nacional, en Honduras alrededor de 4,500 son los productores que trabajan en pequeñas parcelas, manteniéndose en un nivel de aproximadamente 1.000 toneladas por año (Hütz *et al.* 2022).

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. El fruto es sostenido por un pedúnculo, el mismo de la flor original. La mazorca 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). Según las características morfogenéticas, el cacao se divide en tres grupos: Criollo, Forastero y Trinitario, este último comprende híbridos entre los dos primeros grupos (Dostert *et al.* 2011).

La cosecha del cacao en Honduras se caracteriza por tener dos períodos de cosecha de cacao 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). Según la IICO (2024), para el año 2023/2024, la producción mundial de granos de cacao secos fue de 4,780 miles de toneladas. Paralelamente, se obtienen 10 toneladas de cáscaras del fruto del cacao, por cada tonelada de granos secos producida (Vásquez *et al.* 2022).

4.4. Residuos del beneficiado del cacao

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). Según Meza *et al.* (2024), estos residuos sin aparente uso rentable pueden tener componentes de interés agroindustrial

que pueden tener diferentes usos, como pectinas, celulosa y almidones, en productos de alto valor agregado. En este sentido, estos desechos poseen un alto potencial para ser aprovechados en diferentes procesos que incluyen elaboración de nuevos productos, aportar valor agregado a los productos originales y recuperar condiciones ambientales alteradas (Vargas y Pérez, 2018).

4.5. Cáscara del fruto del cacao

La cáscara de la mazorca de cacao, un desecho en la mayoría de las plantaciones de cacao (Kwasi *et al.* 2024), se obtiene tras retirar los granos, representando aproximadamente entre el 70 y el 80 % (peso base seco) 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 ha afirmado que el cacao es un fruto sub-utilizado. Siendo la cáscara un residuo voluminoso y de gran masa al que se le ha atribuido poca importancia.

4.5.1. Composición química de la cáscara del cacao

La cáscara de cacao 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 con propiedades aprovechables para producir nuevos productos (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 (g*100 g⁻¹ materia seca).

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)

4.6. Características de la pectina

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). Cui *et al.* (2021) muestran la ubicación de la pectina en la pared celular de los frutos en la figura 1:

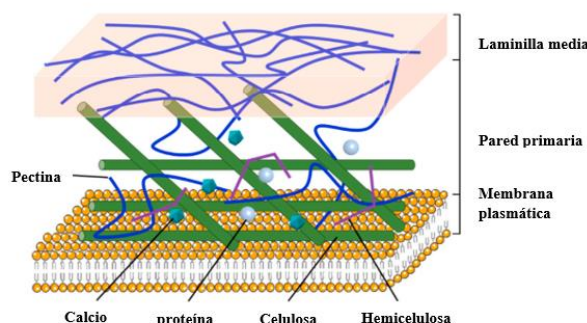


Figura 1. Forma existente de pectina en la pared celular del fruto.

4.6.1. Estructura y composición 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 cristizable, 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).

4.7. Métodos de extracción de pectina

La extracción es una operación unitaria crítica para recuperar a la pectina de las paredes celulares de varias corrientes secundarias del procesamiento de alimentos de origen vegetal (Adetunji, *et al.* 2017). La extracción 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 de pectina extraída y también por la pureza del material extraído (Picot *et al.* 2020). Distintos métodos utilizados para extraer pectina de frutas, incluida la extracción ácida, la extracción alcalina, digestión enzimática, extracción asistida por microondas y la extracción asistida por ultrasonido. Cada uno de estos métodos, ofrece diferentes rendimientos de pectina, impactos ecológicos y costos de producción (Cui *et al.* 2021).

El procesamiento de las pectinas puede afectar su estructura fina y sus propiedades tecnofuncionales clave, como la viscosidad, la estabilización, la gelificación, la emulsificación, la encapsulación, la formación de películas y la adsorción (Assifaoui *et al.* 2024). Donde, la capacidad de gelificarse es la propiedad funcional más importante (Nasrollahzadeh *et al.* 2021).

4.7.1. Extracción por hidrólisis ácida

La extracción convencional de pectina requiere el uso de ácidos y/o quelantes o también se puede extraer en condiciones alcalinas, aunque el rendimiento suele ser mucho menor. Las materias primas se calientan a temperaturas que varían entre 40 y 100 °C, en un tampón acidificado con agitación, 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 es a la vez un ácido y un agente quelante, con 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 sin asistencia, fue reportada como el método más utilizado para la extracción de pectina en el 67.7%, mientras que la hidrólisis ácida asistida por microondas, comienza a tomar relevancia con un 4.6% de los casos.

4.7.2. 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 de pectina (Cui *et al.* 2021).

4.8. Aplicaciones industriales de la pectina

Desde una perspectiva industrial, el uso de pectinas en diversos ámbitos como el farmacéutico, el alimentario y el cosmético ha dado lugar a la aparición de numerosos productos finales (Chan *et al.* 2017). Pues, se han encontrado 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.).

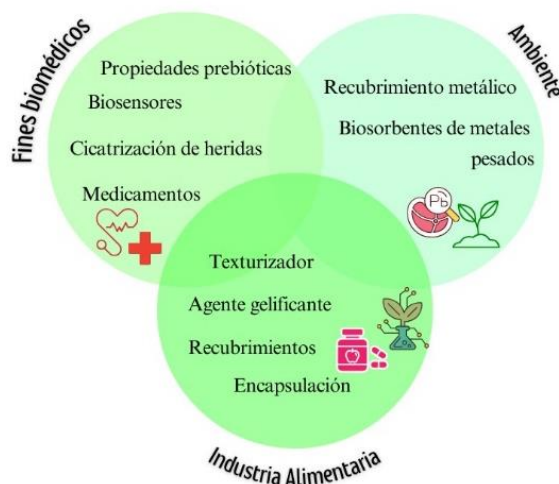


Figura 2. Resumen de aplicaciones de pectina en diferentes áreas.

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 o 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 cree que la pectina tendrá un mercado comercial interesante en los próximos años en comparación con otros hidrocoloides, debido a su efecto positivo en cantidades bajas, precios relativamente bajos y seguridad (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 2,029 (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 desecho, lo que puede contribuir a generar ingresos adicionales para las empresas agroindustriales. 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, lo convierte de un residuo a un recurso, siendo la vía de transición de un modelo lineal a una economía circular, para crear productos de uso potencial.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Localización de la investigación

Frutos maduros serán recolectados en la zona sur de la Biosfera del Rio Plátano, una de las áreas protegidas más importantes en el Corredor Biológico Mesoamericano y la de mayor importancia y tamaño en la República de Honduras, situada en la región nor-oriental del país (ICF, 2013). La investigación se llevará a cabo en las instalaciones de la Universidad Nacional de Agricultura, ubicada en el barrio El Espino de la ciudad de Catacamas, departamento de Olancho.

5.2. Recolección de los frutos de cacao

Serán recolectados en estado óptimo de madurez en fincas de pequeños productores, inmediatamente se trasladarán al laboratorio y se lavarán con agua para remover las partículas contaminantes de mayor tamaño. Serán desinfectados con una solución a 100 ppm de hipoclorito de sodio para eliminar los contaminantes que pueden afectar el proceso de extracción de pectina. Luego los frutos serán caracterizados y se almacenarán en canastas de plástico en un cuarto frío a 5 °C.

5.3. Caracterización de la materia prima

Se medirán cuatro aspectos físicos del fruto, se tomará la masa de cinco frutos y cáscaras representativos, con una balanza digital (Brecknell 405, Multi Unidades) y la humedad se determinará con una balanza OHAUS MB45. Se medirá el largo de la vaina del fruto con un calibrador vernier, se tomará la distancia lineal entre los extremos del fruto (del ápice a la

base del fruto), expresado en centímetros. El ancho del fruto se determinará en la línea ecuatorial de la mazorca. El grosor de la cáscara, se medirá extrayendo un anillo de 1 cm de profundidad con un cuchillo; y se medirá la distancia que hay desde el borde interno del anillo hasta el caballete de la mazorca.

5.4. Preparación de la muestra

Las cáscaras se cortarán con un cuchillo de manera transversal, a un ancho de aproximadamente 1 cm, se secarán en un deshidratador solar, hasta que el material vegetal presente 10% de humedad, medida en una balanza de humedad (OHAUS MB45). Para la disminución del tamaño de la partícula a 420 μm , se utilizará un molino de martillos eléctrico, la harina obtenida se almacenará en envases de vidrio color ámbar, para posteriormente llevar a cabo la extracción de la pectina.

5.5. Proceso experimental

La experimentación se realizará en dos etapas: la primera es la optimización de los procesos de extracción de pectina y en la segunda se compararán las metodologías de extracción aplicadas.

Fase 1. Optimización de las metodologías de extracción

Se evaluarán las metodologías de extracción por hidrólisis ácida con y sin asistencia de microondas, por el efecto de las variables independientes: solvente, pH y tiempo de calentamiento sobre las variables de respuesta: rendimiento, grado de esterificación, humedad y contenido de cenizas, en dos niveles y con puntos al centro (Tabla 2).

Tabla 2. Niveles de los factores de estudio ingresados al modelo Box-Behnken.

Extracción por hidrólisis ácida				
Factores	Símbolos codificados	Niveles		
		-1	0	1
Solvente	X ₁	0 ^a	50 ^b	100 ^c
pH	X ₂	2	3	4
Tiempo de calentamiento	X ₃	60	90	120
Extracción por hidrólisis ácida asistida por microondas				
Solvente	X ₁	0 ^a	50 ^b	100 ^c
pH	X ₂	2	3	4
Tiempo de irradiación	X ₃	5	10	15

^a Predomina el ácido cítrico.

^b Relación 1:1 entre ácido cítrico y ácido ascórbico.

^c Predomina el ácido ascórbico.

El tiempo de calentamiento se expresa en minutos.

Se utilizará el diseño de superficie de respuesta Box-Behnken, donde cada experimento conllevará 15 corridas experimentales aleatorizadas. La variable tiempo en la metodología de extracción por hidrólisis ácida será analizada en 90, 60 y 120 minutos de calentamiento en baño María (Tabla 3).

Tabla 3. Diseño Box-Behnken para el método de extracción por hidrólisis ácida.

Corridas experimentales	Variables independientes		
	Solvente [C]	pH	Tiempo (min)
1	50	3	90
2	50	4	60
3	100	3	120
4	0	2	90
5	50	2	120
6	50	3	90
7	50	2	60
8	100	2	90
9	100	4	90
10	50	4	120

11	50	3	90
12	0	3	120
13	0	4	90
14	0	3	60
15	100	3	60

La variable tiempo en la metodología de extracción por hidrólisis ácida con asistencia de microondas será analizada en 5, 10 y 15 minutos de calentamiento por radiación (Tabla 4).

Tabla 4. Diseño Box-Behnken para el método de extracción por hidrólisis ácida asistida por microondas.

Corridas experimentales	Variables independientes		
	Solvente [C]	pH	Tiempo (min)
1	50	3	10
2	100	3	5
3	50	4	5
4	50	2	5
5	50	3	10
6	0	3	15
7	0	3	5
8	50	4	15
9	100	3	15
10	0	2	10
11	100	2	10
12	0	4	10
13	50	2	15
14	100	4	10
15	50	3	10

Fase 2. Comparación de metodologías de extracción

De acuerdo a la formula optimizada, se compararán las condiciones de proceso óptimas encontradas en el experimento 1 (extracción por hidrólisis ácida) y el experimento 2 (asistido por microondas), mediante una prueba T-Student con ocho repeticiones, a un nivel de confianza $(1 - \alpha)^6 = 0.95$.

5.6. Extracción de pectina

Los métodos de extracción de pectina (extracción por hidrólisis ácida con y sin asistencia de microondas) son descritos a continuación:

5.6.1. Extracción por hidrólisis ácida

Se utilizará la metodología descrita por Hossain (2024) con algunos ajustes, donde la extracción comenzará con la hidrólisis de 3 kilogramos de harina de la cáscara del cacao, con relación 1:18 p/v, en diferentes vasos de precipitado, mezcladas en soluciones con ácido cítrico y ascórbico, se calentarán en un baño María (THERMO SCIENTIFIC - TSGP2S) a 90 °C. La pectina se extraerá a diferente pH (2, 3 y 4) durante diferentes períodos de extracción (60, 90 y 120 minutos). Para los ajustes de pH, se usará NaOH en la solución.

5.6.2. Extracción por hidrólisis ácida asistida por microondas

Siguiendo la metodología empleada por Wandee *et al.* (2019) con modificaciones, la extracción consistirá en la hidrólisis de 3 kilogramos de harina de la cáscara del cacao en diferentes vasos de precipitado, mezcladas en soluciones con ácido cítrico y ácido ascórbico a diferente pH (2, 3 y 4). La suspensión obtenida se calentará en un microondas, exponiéndose a radiación por 10,15 y 20 minutos en un sistema abierto sin agitación. Para los ajustes de pH, se usará NaOH en la solución.

Después de la extracción, se procederá a filtrar la dispersión y se enfriará a 30 °C. Los sólidos de cada dispersión serán colocados en un vaso de precipitado de 1,000 ml, para dispersarlos con 600 ml de agua destilada y se llevarán a centrifugación en una centrifuga OHAUS durante 10 min a 4,000 rpm, para separar sólidos en suspensión. Luego, en proporciones de

1:2 (1 parte de extractante por 2 partes de etanol), se usará etanol al 95% para precipitar la pectina, dejándose reposar a 25 °C durante la noche. Posteriormente, el precipitado se filtrará y se lavará tres veces con etanol al 95%. Luego, se prensará manualmente utilizando un guante de goma y se colocará en una cápsula de vidrio, sometiéndose a secado en un horno de aire forzado (VWR Scientific 1350 FM) a 40 °C, hasta peso constante. La pectina extraída se llevará a granulometría, mediante el pulverizado en un molino de martillos, se pasará por un tamiz y se almacenará para su posterior análisis.

5.7. Evaluación de variables

Las variables de respuesta se analizarán por duplicado, siguiendo las metodologías descritas a continuación:

Rendimiento

Para comparar los rendimientos, independientemente de la diferente humedad residual, contenido de cenizas del producto final y pectinas extraídas con los diferentes ácidos, se implementará la metodología utilizada por Seggiani *et al.* (2009) para calcular el rendimiento en base seca de la materia prima, mediante la ecuación 1.

$$\text{Rendimiento, \%} = \frac{\text{gramos de pectina pura}}{\text{gramos de cáscaras secas}} * 100$$

Ecuación 1. Determinación del rendimiento de pectina.

Donde la palabra “pectina pura” hace referencia a la pectina obtenida sin humedad ni cenizas.

Grado de esterificación

El grado de esterificación (GE) de pectina se determinará según el método de Liew *et al.* (2014) con modificaciones. Se humedecerán 0.2 gramos (1%) de muestra de pectina seca con etanol y se disolverán en 20 ml de agua destilada. A la muestra se le añadirán tres gotas de fenolftaleína. Posteriormente, la muestra se titulará con hidróxido de sodio 0.1 N. El resultado se registrará como el volumen de titulación inicial una vez la solución cambie a color rosado (A). El número de grupos carboxi libres se calcula a partir del volumen de solución de hidróxido de sodio 0.1 N consumido para la valoración inicial.

Luego, se añadirán 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 agregarán 10 ml de ácido clorhídrico 0.1 N para neutralizar la solución. Se titulará nuevamente con hidróxido de sodio 0.1 N. El volumen de titulación se registrará como volumen final de titulación (B). El número de grupos carboxi esterificados se calcula a partir del volumen de solución de NaOH 0.1 N gastado para la valoración final. Con la determinación de las variables, se procederá a aplicar la siguiente ecuación:

$$GE = \frac{B \text{ (ml)}}{A \text{ (ml)} + B \text{ (ml)}} \times 100$$

Ecuación 2. Determinación del grado de esterificación en pectina.

Humedad

Se pesará en una balanza analítica (Voyage pro analytical, VP64CN) una muestra de 10 gramos^o de pectina y se determinará el contenido de humedad en una balanza OHAUS MB45, programada para la lectura de alimentos en polvo.

Contenido de cenizas de la pectina extraída

A través de la metodología descrita por Amanuel *et al.* (2024), se determinará el contenido de cenizas incinerando 10 gramos de pectina colocados en un crisol libre de humedad, se quemarán en un horno de mufla a 600 °C durante 5 h, al transcurrir el tiempo, se van a retirar los crisoles y se enfriarán ligeramente en un desecador con cloruro de calcio, como agente para controlar la humedad. Después de lo cual se pesará el resto y se calculará 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.

5.8. Análisis de la información

Para el procesamiento de los datos, se utilizará el programa estadístico *Statgraphics* versión 19.6.03 con factores de estudio: solvente, pH y el tiempo de extracción. Con la aplicación de del modelo de superficie de respuesta, se obtendrá la ecuación de regresión para la optimización de las variables. Los resultados se representarán mediante gráficos de barras, de efectos principales, de interacción y de curvas de contorno.

5.9. Aplicación de la pectina extraída

Se recolectarán frutos maduros de *Solanum quitoense* (comúnmente conocido como “lulo”) de una finca agroecológica en la Universidad Nacional de Agricultura, serán transportados hacia el laboratorio, donde pasarán por un proceso de selección, lavado y desinfección. Como parte del proceso observacional y como una posibilidad de uso, se pondrá a prueba la

capacidad gelificante de la pectina en polvo extraída de las cáscaras de cacao, por lo que será un ingrediente en la preparación de un producto compuesto principalmente por lulo.

VI. PRESUPUESTO

Presupuesto proyecto de investigación				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Total
Materia prima (mazorcas de cacao)	Kg	20	L 40.00	L 800.00
Micro-ondas	Unidad	1	L 2,500.00	L 2,500.00
Deshidratador	Unidad	1	L 5,426.74	L 5,426.74
Recolección de materia prima				L 3,000.00
Reactivos (ácido cítrico, ácido ascórbico, ácido clorhídrico, NaOH)				L 5,000.00
Material de laboratorio (agua destilada, tubos de ensayo, vasos de precipitado, probetas, termómetro de varilla, entre otros)				L 5,000.00
Material didáctico (cartulina, marcadores, impresiones)				L 1,000.00
Costo bruto				L 22,726.74

VII. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

[illegible]

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://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X1630354X>

Afedzi, A; Obeng-Boateng, F; Aduama-Larbi, 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. Vol. 52. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1878818123002360>

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-Novillo, S; Enríquez-Estrella¹, M; Uvidia-Cabadiana, 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>

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/10.1177/15589250241251465>

Assifaoui, A; Hayrapetyan, G; Gallery, C; Agoda, G. 2024. Exploring techno-functional properties, synergies, and challenges of pectins: A review. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*. 7. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666893924000768#bib0053>

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. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582024002386>

Campos-Vega, R; Nieto-Figueroa, 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://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224417307513>

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.researchgate.net/profile/Mario-Pagliaro/publication/305687551_Pectin_Production_and_Global_Market/links/582b410208ae138f1bf4a101/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. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224421000856>

Diaz, 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 https://www.researchgate.net/publication/373676164_Sostenibilidad_en_el_Cultivo_de_Cacao_Theobroma_Cacao_L_Por_las_Oportunidades_de_Economia_Circular_para_la_Provincia_los_Rios

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. 2016. Pérdidas y desperdicios de alimentos en América Latina y el Caribe. Disponible en <https://www.fao.org/americas/news/news-detail/pda-benitez/es>

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 https://www.researchgate.net/publication/378762824_Metodos_de_extraccion_de_pectina_en_frutos_Revision_sistematica/citations

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://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0014305724002283>

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://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0008621509002006>

Hossain, M; Ara, R; Farzana, Y; Suchi, M; Zzaman, W. 2024. Microwave and ultrasound assisted extraction techniques with citric acid of pectin from Pomelo (*Citrus maxima*) peel. Measurement: Food. 13. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772275924000029>

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>

IICO. 2024. Production of cocoa beans. Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics. 1. Cocoa year 2023/24. Disponible en https://www.icco.org/wp-content/uploads/Grindings_QBCS-L-No.-1.pdf

INTA. 2010. Guía tecnológica del cultivo del cacao. Managua, Nicaragua. Edición N° 4.

Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF). 2013. Plan de Manejo Reserva del Hombre y la Biosfera del Rio Plátano.

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. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S014181302401033X>

Kwasi, R; Amoako, D; Chaa Kyire, 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, 1. International Journal of Biological Macromolecules. 266. Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S014181302401969X>

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. Optimización de la extracción de pectina asistida por microondas a partir de cáscara de vaina de cacao. 27 (19), 6544; DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules27196544>

Meza-Sepúlveda, D; Hernández-Urrea, C; Quintero, J. 2024. Physicochemical characterization of the pod husk of Theobroma cacao L. of clones CCN51, FEAR5, and FSV41 and its agroindustrial application. 10 (7). Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024047923>

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. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861720314971>

Morris, G; Binhamad, H. 2020. Isolation and Characterisation of Pectin. Cap. 4. Pectin: Technological and Physiological Properties. p 61-82. Disponible en https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-53421-9_4

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>

Pei, C; Hsien, T; Hsuan, 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. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666154324000462>

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

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. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772753X23000126>

Ropart. z, D; Ralet, MC. 2020. Pectin Structure. Pectin: Technological and Physiological Properties. p 17-36. Disponible en https://link.springer.com/chapter/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://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813023008231>

Seggiani, M; Puccini, M; Pierini, M; Giovando, S; Forneris, C. 2009. Effect of different extraction and precipitation methods on yield and quality of pectin. International Journal of Food Science and Technology. 44: 574–580. Disponible en <https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.2008.01849.x>

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://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965261931100X>

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.

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://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960308524000798>

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://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852421014164>

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://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X19302454>

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://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224405002517>

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://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X18304946?via%3Dihub>

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://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814617316898>