



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO



DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BÁSICAS

**“OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PELÍCULAS
DE BIOPLÁSTICO A BASE DE PECTINA DE
CÁSCARA DE NARANJA Y ALGINATO”**

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE:
LICENCIADO EN QUÍMICO FARMACÉUTICO BIOLÓGO

PRESENTA

FERNANDO HERNÁNDEZ MADRIGAL

BAJO LA DIRECCIÓN DE:

DR. ROBERTO HERNÁNDEZ CÓRDOVA

EN CODIRECCIÓN DE:

DR. RAFAEL OMAR SAAVEDRA DÍAZ

CUNDUACAN, TABASCO NOVIEMBRE, 2024

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.



"Donde hacer ciencia, es Básico"

Declaración de Autoría y Originalidad

En la ciudad de Cunduacán, el día 20 del mes de Noviembre del año 2024, el que suscribe Fernando Hernández Madrigal, egresado del Programa de Licenciatura en Químico Farmacéutico Biólogo con número de matrícula 182A20159, adscrito a la División Académica de Ciencias Básicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, como autor de la Tesis para la obtención del título en Licenciado en Químico Farmacéutico Biólogo y titulada "Obtención y caracterización de películas de bioplástico a base de pectina de cáscara de naranja y alginato" dirigida por el Dr. Roberto Hernández Córdova y el Dr. Rafael Omar Saavedra Díaz.

DECLARO QUE:

La Tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente, en particular, la LEY FEDERAL DEL DERECHO DE AUTOR (Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley Federal del Derecho de Autor del 01 de Julio de 2020 regularizando, aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), en particular, las disposiciones referidas al derecho de cita.

Del mismo modo, asumo frente a la Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría o falta de originalidad o contenido de la Tesis presentada de conformidad con el ordenamiento jurídico vigente.

Villahermosa, Tabasco a 20 de noviembre 2024.



Fernando Hernández Madrigal

Autorización de Impresión



UJAT
UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”



División
Académica
de Ciencias
Básicas



2024
Felipe Carrillo
PUERTO
REPRESENTANTE DEL PUEBLO
GOBIERNO DEL ESTADO DE TABASCO
COMISIONADO DE
MÉXICO

DIRECCIÓN

Cunduacán, Tabasco; a 06 de noviembre de 2024.

**C. FERNANDO HERNÁNDEZ MADRIGAL
PASANTE DE LA LIC. EN QUÍMICO
FARMACÉUTICO BIÓLOGO
PRESENTE**

Por medio del presente, me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que proceda a la impresión del trabajo titulado **“OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PELÍCULAS DE BIOPLÁSTICO A BASE DE PECTINA DE CÁSCARA DE NARANJA Y ALGINATO”**, dirigido por el Dr. Roberto Hernández Córdova y el Dr. Rafael Omar Saavedra Díaz, bajo la modalidad de titulación por **TESIS**. La comisión de revisión conformada por el Dr. José Arnold González Garrido, Dra. Adelma Escobar Ramírez, Dr. Adib Abiu Silahua Pavón, Dra. María Antonia Lunagómez Rocha y Dr. Carlos Javier López Victorio, liberó el documento en virtud de que reúne los requisitos para el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente.

Sin otro particular, reciba usted un cordial saludo.

ATENTAMENTE



DIVISIÓN ACADÉMICA DE
CIENCIAS BÁSICAS

**DRA. HERMICENDA PÉREZ VIDAL
DIRECTORA**

C.c.p. Archivo.

DIR DRA.HPV/kfvg

Km.1 Carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez, A.P. 24, C.P. 86690, Cunduacán, Tab., México.
Tel/Fax: (993) 3581500 Ext. 6702,6701 E-Mail: direccion.dacb@ujat.mx

www.ujat.mx

CARTA DE AUTORIZACIÓN

El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente la tesis de grado denominada "Obtención y caracterización de películas de bioplástico a base de pectina de cáscara de naranja y alginato" de la cual soy autor y titular de los Derechos de Autor

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de la tesis antes mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa mas no limitativa para subirla a la Red de Biblioteca Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la UJAT tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en este documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Cunduacán a los 20 días del mes de noviembre de 2024.

Autorizó



Fernando Hernández Madrigal

182A20159

Carta de Cesión de Derechos

Villahermosa, Tabasco 20 de noviembre de 2024.

Por medio de la presente manifestamos haber colaborado como AUTOR y/o AUTORES en la producción, creación y realización de la obra denominada "Obtención y caracterización de películas de bioplástico a base de pectina de cáscara de naranja y alginato".

Con fundamento en el artículo 83 de la Ley Federal del Derecho del Autor y toda vez que, la creación y realización de la obra antes mencionada se realizó bajo la comisión de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco; entendemos y aceptamos el alcance del artículo en mención, de que tenemos el derecho al reconocimiento como autores de la obra, y la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco mantendrá en un 100% la titularidad de los derechos patrimoniales por un periodo de 20 años sobre la obra en la que colaboramos, por lo anterior, cedemos el derecho patrimonial exclusivo en favor de la universidad.

COLABORADORES



Egresado

Fernando Hernández
Madrigal



Director

Dr. Roberto Hernández
Córdova



Codirector

Dr. Rafael Omar Saavedra
Díaz

TESTIGOS



Dr. César Manuel Landa Pineda



Dra. Patricia Mendoza Lorenzo

LICENCIATURA - OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PELÍCULAS DE BIOPLÁSTICO A BASE DE PECTINA DE CÁSCARA DE NARANJA Y ALGINATO

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

ÍNDICE DE SIMILITUD



FUENTES PRIMARIAS

1	gacetajuchiman.ujat.mx Internet	323 palabras — 2%
2	repositorio.unal.edu.co Internet	230 palabras — 1%
3	ciencia.lasalle.edu.co Internet	195 palabras — 1%
4	cia.uagraria.edu.ec Internet	171 palabras — 1%
5	ri.ujat.mx Internet	158 palabras — 1%
6	ouci.dntb.gov.ua Internet	105 palabras — 1%
7	sedici.unlp.edu.ar Internet	104 palabras — 1%
8	riaa.uaem.mx:8080 Internet	92 palabras — 1%
9	ri.uaemex.mx Internet	85 palabras — 1%



DIVISIÓN ACADÉMICA DE
CIENCIAS BÁSICAS
ESTUDIOS
TERMINALES

85 palabras — 1%

DEDICATORIA

La presente tesis se la quiero dedicar a mis padres y hermanos. Mi padre Wilmar Hernández de los Santos por ser el pilar de casa, brindarme todo su apoyo a lo largo de mi trayectoria académica, además de darme consejos que me han ayudado a ser una mejor persona; a mi madre Yanet Madrigal Baltazar quien siempre me dio ánimos para seguir adelante, por siempre atenderme en mis desveladas; a mis hermanos por siempre darme palabras de aliento y alegrarme mis días con sus ocurrencias y a mis amigos por desearme el mejor de los éxitos. A todos ellos les quiero decir que muchas gracias por confiar en mí.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a Dios por darme la vida y permitirme llegar hasta aquí y nutrirme de conocimientos.

Al Dr. Roberto Hernández Córdova por transmitirme parte de sus amplios conocimientos, de su paciencia para enseñarme, además de siempre motivarme en la elaboración de la tesis y darme consejos.

Al Dr. Rafael Omar Saavedra Díaz por su disposición de tiempo, además de las facilidades de utilizar los equipos durante la parte metodológica de la tesis.

Al grupo de investigación de Ciencias Biomédicas y Química Física, en especial al Dr. Cesar Manuel Landa Pineda y a la Dra. Patricia Mendoza Lorenzo por sus consejos.

Al Laboratorio de Nanotecnología del Centro de Investigación de Ciencia y Tecnología Aplicada de Tabasco (CICTAT) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, en especial al Dr. Rosendo López González por su invaluable apoyo en la realización de los estudios FTIR y TGA, a través del proyecto INFR-2016-01-269701.

Al comité revisor de la tesis por sus acertados comentarios: Dra. Adelma Escobar Ramírez, Dra. María Antonia Lunagomez Rocha, Dr. Carlos Javier López Victorio, Dr. José Arnold González Garrido y Dr. Adib Abiu Silahua Pavón.

A todos los profesores que me impartieron clases durante mi estancia en la universidad y me compartieron parte de su conocimiento.

Muchas gracias por su amistad, disposición, tiempo y paciencia.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1	2
1.1 Introducción	3
1.2 Marco teórico	4
1.2.1 Agroindustria	4
1.2.2 Bioplásticos	5
1.2.3 Naranja en México	8
1.2.4 Pectina	9
1.2.5 Estructura química de la pectina	10
1.2.6 Contenido de metoxilo	12
1.2.6.1 Pectinas de alto contenido de metoxilo	12
1.2.6.2 Pectinas de bajo contenido de metoxilo	12
1.2.7 Propiedades fisicoquímicas	13
1.2.8 Fuentes de obtención de la pectina	15
1.2.9 Usos de la pectina	16
1.3 Alginato	16
1.3.1 Usos	17
1.4 Caracterización de materiales	19
1.4.1 Fundamento teórico de la espectroscopia infrarroja (IR)	19
1.4.2 Técnicas de muestreo	20
1.4.2.1 Reflectancia Total Atenuada (ATR)	20
1.4.2.2 Reflexión interna (ERS)	20
1.4.2.3 Espectroscopía FTIR de reflectancia difusa (DRIFT)	21
1.4.3 Análisis termogravimétrico (TGA)	21
1.4.3.1 Tipos de muestras	22
1.4.3.2 Estabilidad térmica	22
1.5 Propiedades químicas, fisicoquímicas y térmicas de bioplásticos a base de pectina y alginato	23
1.6 Justificación	27
1.7 Pregunta de investigación	27
1.8 Hipótesis	28
1.9 Objetivo general	28
1.9.1 Objetivos específicos	28

CAPÍTULO 2	29
2.1 Resumen gráfico de la metodología.....	30
2.2 Metodología	31
2.2.1 Reactivos y equipos	31
2.2.2 Materia prima	31
2.3 Extracción de la pectina	31
2.4 Determinación del contenido de grupos metoxilos y grado de esterificación	31
2.5 Elaboración de películas	33
2.6 Caracterización de la pectina extraída y de la película mediante FTIR.....	33
2.7 Caracterización de la pectina extraída y de la película mediante TGA	34
2.8 Análisis estadístico	34
CAPÍTULO 3	35
RESULTADOS	36
3.1 Grado de esterificación	36
3.2 Grado de metoxilo (DM %).....	36
3.3 Análisis FTIR	37
3.3.1 Análisis FTIR de la pectina.....	37
3.2.1 Análisis FTIR de las películas.....	38
3.4 Análisis termogravimétrico (TGA)	39
3.4.1 Análisis TGA de pectina	40
3.4.2 Análisis TGA de las películas	41
3.5 Discusión	44
CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES	46
REFERENCIAS CITADAS	47
ANEXOS	57
4.1 Productos Académicos y Premios Obtenidos durante la elaboración de la tesis	57
4.2 Glosario	62
4.3 Alojamiento de la Tesis en el Repositorio Institucional	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química de la cáscara de naranja.....	9
Tabla 2. Usos del alginato en los distintos tipos de industria	18
Tabla 3. IR y sus rangos de longitudes de onda	19
Tabla 4. Factores que afectan los resultados del TGA	22
Tabla 5. Principales vías de degradación de los polímeros	23
Tabla 6. Grado de esterificación de las pectinas.	36
Tabla 7. Resultado de los ensayos de grado de metoxilo	36
Tabla 8. Picos de mayor importancia en pectinas.....	38
Tabla 9. Picos de mayor importancia en PeIC-Alg Y PeIE-Alg.....	39
Tabla 10. Análisis de la pérdida de masa y eventos térmicos	41
Tabla 11. Eventos térmicos principales.....	43

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de los PHA	7
Figura 2. Estructura química del PHB.....	7
Figura 3. Estructura química del PLA	8
Figura 4. Estructura básica de la pectina.....	11
Figura 5. Monómero de la pectina	11
Figura 6. Estructura de pectinas de alto contenido de metoxilo.....	12
Figura 7. Estructura de la pectina de bajo contenido de metoxilo.....	12
Figura 8. A) Estructura química de la pectina. Espectro IR de los polvos de PE y PC	38
Figura 9. Espectro IR de PelC-Alg y PelE-Alg, A) Estructura del ácido manurónico, B) Estructura del ácido gulurónico, C) Estructura del alginato.....	39
Figura 10. Termograma de PE y PC.....	40
Figura 11. Termograma de PelC-Alg y PelE-Alg.	42

ABREVIATURAS

ATR	Reflectancia Total Atenuada
CaCl ₂	Cloruro de calcio
CO ₂	Dióxido de Carbono
DR	Reflexión difusa
DRIFT	Espectroscopía FTIR de reflectancia difusa
EGA	Análisis de Gases Evolucionados
ERS	Reflexión Interna
FDA	Food and Drug Administration
G	Ácido Gulurónico
HCl	Ácido clorhídrico
HG	Homogalacturano
IR	Infrarrojo
IRE	Elemento de Reflexión Interna
M	Ácido Manurónico
NaOH	Hidróxido de sodio
PC	Pectina comercial
PE	Pectina extraída
PeC-Alg	Película pectina comercial-alginato
PeE-Alg	Película pectina extraída-alginato
PHA	Polihidroxicanoatos
PHB	Polihidroxi butirato
PLA	Ácido poliláctico
PP	Polipropileno
RG-I	Rhamnogalacturonano I
RG-II	Rhamnogalacturonano II
TGA	Análisis Termogravimétrico
USP	United States Pharmacopeia

**“OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN
DE PELÍCULAS DE BIOPLÁSTICO A
BASE DE PECTINA DE CÁSCARA DE
NARANJA Y ALGINATO”**

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

RESUMEN

En México, el estado de Veracruz es el mayor productor de naranja con 2.5 millones de toneladas, mientras que Tabasco se ubica en el octavo lugar dentro de los productores con 95,581 toneladas, su exocarpio (cáscara), contiene grandes cantidades de pectina, además de otros aceites esenciales. La pectina es un polímero que representa una buena alternativa para la obtención de bioplásticos en combinación con el alginato. Hoy en día, debido a los altos niveles de contaminación presentes en la tierra, se está trabajando en la elaboración de productos bioplásticos los cuáles sean biocompatibles y biodegradables. Los bioplásticos presentan sinergia con la economía circular que pretenden darle un segundo uso a los desechos de la agroindustria, es por ello que en el presente trabajo se extrajo pectina de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) mediante el método de hidrólisis ácida y se homogenizó con alginato para obtener películas de bioplástico, las cuáles fueron evaluadas estructural y térmicamente mediante estudios de FTIR y TGA, para ello fue necesario evaluar fisicoquímicamente la PE la cuál poseía un color amarillo y olor característico a naranja, misma que presentó un elevado contenido de metoxilo y grado de esterificación; 13.81% y 96.57% respectivamente. Por otro lado, se realizaron películas con PE y una pectina comercial PC, en combinación con alginato las cuáles revelaron en su estudio FTIR que los espectros presentan bandas características de ambos polímeros, mientras que el estudio térmico reveló que la PeE-Alg es mucho más estable con respecto a la PeC-Alg, sin embargo, la PeE-Alg presentó una T_p mayor, esto indica que resiste mayores temperaturas, por tanto podemos decir que la PE a partir de la cáscara de naranja presenta buenas características estructurales y térmicas, que pueden ser empleadas para la obtención de productos bioplásticos.

Palabras clave: pectina, alginato, naranja, contenido de metoxilo, grado de esterificación

ABSTRACT

In Mexico, in state of Veracruz is the largest producer of oranges, yielding 2.5 million tons annually, while Tabasco ranks eighth with 95,581 tons. The exocarp (peel) of the orange contains significant amounts of pectin, as well as essential oils. Pectin, a polymer, offers a promising alternative to produce bioplastics when combined with alginate. Given the current high levels of environmental pollution, efforts are increasingly focused on developing bioplastic products that are both biocompatible and biodegradable. Bioplastics align well with the principles of the circular economy, which seeks to repurpose agro-industrial waste. In this study, pectin was extracted from orange peel (*Citrus sinensis*) using acid hydrolysis, then homogenized with alginate to produce bioplastic films. These films were structurally and thermally evaluated using FTIR and TGA analyses. The extracted pectin (PE), which exhibited a yellow color and characteristic orange scent, was also evaluated for its physicochemical properties, revealing a high methoxyl content and degrees of esterification of 13.81% and 96.57%, respectively. Additionally, films were produced using PE and a commercial pectin PC in combination with alginate. The FTIR analysis revealed characteristic bands from both polymers in the spectra. The thermal analysis showed that PeE-Alg is significantly more stable compared to PeC-Alg; however, PeE-Alg exhibited a higher peak temperature (T_p), indicating that it withstands higher temperatures. Therefore, we can conclude that PE extracted from orange peel has favorable structural and thermal properties, making it a suitable candidate to produce bioplastic products.

Keywords: pectin, alginate, orange, methoxyl content, degree of esterification

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

CAPÍTULO 1.

REVISIÓN LITERARIA

1.1 Introducción

Los productos de origen natural son fuente de importantes agentes bioactivos, la naranja (*Citrus sinensis*) representa una producción cada año de 123 millones de toneladas. En México el estado de mayor producción de naranja es Veracruz con 2.50 millones de toneladas (Rivera-López *et al.*, 2020). La naranja es una fuente de vitamina C, que es un antioxidante de origen natural que fortalece al sistema inmunológico. Es por ello, que al ser uno de los cítricos más cultivados en México se ha optado por proporcionarle un valor agregado, reutilizando su cáscara, para generar bioplásticos, uno de sus componentes principales es la pectina que tiene un amplio uso en la industria alimentaria como un agente gelificante.

La pectina es un heteropolisacárido que está constituido por unidades de ácido galacturónico, este polímero en la industria alimentaria se utiliza como espesante, gelificante y estabilizante, además su consumo tiene efectos favorables en la salud gracias a sus propiedades anticancerígenas, hipoglicemiantes e hipocolesterolemicas (Barreto *et al.*, 2017).

Los bioplásticos representan una alternativa para reducir la contaminación ambiental ya que tienen dos características principales como su biodegradabilidad y su elaboración a partir de materias primas renovables, como los residuos agroindustriales. La producción mundial de bioplásticos en el año 2019 fue de 2.1 millones de toneladas, lo que representa el 0.6 % de la producción total de plásticos. Cambiar a los plásticos derivados del petróleo no es tarea sencilla ya que la elaboración de los bioplásticos debe de estar acompañada de estrategias efectivas que deberán reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) (Fredri & Dorigato, 2021).

La sinergia que presenta la pectina y el alginato los convierten en buenos candidatos para la obtención de bioplásticos. La biodegradabilidad de la pectina y su abundancia la convierten en una alternativa para este tipo de productos, además, las propiedades gelificantes de la pectina y la resistencia mecánica del alginato hacen que las películas obtengan una mejor flexibilidad, estos polímeros se encuentran en abundancia ya que la

pectina se puede extraer de las pieles de los frutos cítricos y el alginato a partir de las algas marinas.

La obtención de los bioplásticos, ayudan a la economía circular disminuyendo el consumo excesivo de los plásticos comunes, lo cual contribuye al aumento en la contaminación del ambiente. Además, el reciclaje de materias primas permitirá crear productos similares que sean amigables con el medio ambiente.

Tabasco representa un lugar estratégico para la extracción de pectina a partir de residuos agroindustriales, debido a la cantidad de desechos a los que no se le dan un valor agregado, sin embargo, una de las principales limitantes es que no se cuenta con el apoyo necesario para el desarrollo de este tipo de industria, esto favorecería la reducción de la contaminación de suelo, aire y agua, además de evitar fuentes de contaminación para el hombre debido al crecimiento de microorganismos.

1.2 Marco teórico

1.2.1 Agroindustria

El desarrollo de las nuevas tecnologías trae ventajas para el hombre como el aumento en la calidad de vida, esto involucra la mejora constante de las industrias, que a su vez genera mayores residuos. En la actualidad se producen aproximadamente 155 billones de toneladas (Cury *et al.*, 2017) al año de materia orgánica, sin embargo, solo una mínima parte es aprovechada o consumida por el hombre, el resto de estos residuos son transformados en nuevos productos que no son comestibles para el hombre. El mal manejo de estos residuos provoca consecuencias para el planeta, como lo son contaminación del suelo, aire y agua, esto causó en el hombre una conciencia ambiental para lo cual la agroindustria juega un papel fundamental, es por ello que la sociedad se ha visto en la necesidad de crear productos con un beneficio que genere ingresos, solución a la problemática y el aprovechamiento de los desechos agroindustriales.

En el 2022, Tabasco se colocó como el octavo productor de naranja en México con 95,581 toneladas lo que equivale al 1.96 % de la producción total (SIAP; 2023). La cáscara de naranja es el residuo del cual se aprovechan sus distintos componentes como aceites esenciales, azúcares y pectina, proporcionándole así un valor agregado, además

este residuo es de interés en el área biomédica y cosmética (Del Rosario Moncayo Luján *et al.*, 2018)

Los residuos agroindustriales han ido aumentando con forme aumenta la población, estos, son una fuente renovable que pueden ser transformados en distintos subproductos, pues presentan un amplio potencial para ser utilizados en la industria alimentaria aprovechando así sus características funcionales y proporcionando un valor agregado, sin embargo, si no son aprovechados correctamente pueden causar severos problemas ambientales como contaminación por CO₂, malos olores, crecimiento de microorganismos, etc. (Angulo Arias *et al.*, 2018).

La exportación agroindustrial en México ha aumentado en el mercado mundial, ya que la balanza comercial agropecuaria y agroindustrial reportó en los primeros cuatro meses del 2017 un aumento de 2,603 millones de dólares. La agroindustria en México está representada por más de 70 mil empresas que producen más de cien productos, alguno de ellos es; cerveza, tequila, chocolate, vegetales, azúcares, etc. lo que lo convierte en un líder en Latinoamérica en este rubro (SADER; 2017).

1.2.2 Bioplásticos

Son productos que se obtienen a partir del proceso de productos de origen natural, como los residuos vegetales y animales, para ello es necesario transformar los residuos en materiales cuyas estructuras químicas sean adecuadas para que los microorganismos como bacterias y hongos sean capaces de degradarlos; sin embargo, existen algunos plásticos biodegradables como el polipropileno (PP) y el poliestireno que son derivados del petróleo y no cumplen con las normas internacionales de biodegradabilidad, algunos ejemplos de normas son las siguientes DIN V 54900, EN 13432, ISO 14855. La biodegradabilidad es una característica particular de todos los bioplásticos, ya que tienden a degradarse en menos de un año, generando principalmente CO₂, H₂O y biomasa, por otro lado, los productos derivados del petróleo tardan en degradarse hasta 1200 años (García Quiñonez, 2015). Algunos bioplásticos pueden resistir temperaturas desde -20 °C hasta los 120 °C, además de conservar la frescura de los alimentos, sin embargo, no se disuelven fácilmente en agua.

Durante los últimos 20 años se ha estado trabajando para sustituir a los plásticos derivados del petróleo, es por ello que hoy en día se ha buscado una solución a esta problemática y una de las alternativas es la fabricación de los bioplásticos que son ambientalmente sostenibles; es decir ayudan a reducir los niveles de contaminación en la tierra, así como también proporcionan un valor agregado a los residuos. A continuación, se describen algunos de los materiales principalmente utilizados para la obtención de bioplásticos (Atiweh *et al.*, 2021).

Almidón: es un polisacárido que presenta distintos tamaños, características físicas y estructura química debido a su fuente de origen (maíz, trigo, yuca, papa, plátano). Para la obtención de este polímero existen dos métodos que son la molienda seca y húmeda. Su estructura es compleja, misma que se compone por otros polímeros como glucosa, amilosa y amilopectina. Hoy en día el almidón se utiliza como un termoplástico y como nanocarga en forma de nanocristales, mayormente se obtiene el almidón a partir del maíz ya que está compuesto entre un 70 a 75 % de este (Riera, 2020).

Polihidroxicanoatos (PHA): están hechos de una base biológica, los cuáles son biocompatibles, biodegradables y no tóxicos que se sintetizan a partir de microorganismos como bacterias y fuentes naturales como las plantas. En la figura 1. Se muestra la estructura química de los PHA. Este se produce a partir del metano que se libera de aguas residuales, granjas, procesadores de alimentos, con fines comerciales para fabricar envoltorios, botellas e inclusive se puede mezclar con componentes naturales en la ropa. El polihidroxibutirato (PHB) es un bioplástico que se obtiene a partir de los PHA obtenido a partir de la fermentación de carbohidratos renovables, además tiene propiedades similares al PP que se obtiene de combustibles fósiles, entre sus aplicaciones más comunes está la elaboración de vajillas desechables, envoltorios y material de embalaje, además en la industria biomédica se utiliza en la elaboración de suturas quirúrgicas, así como en la administración de fármacos. Su estructura química se muestra en la figura 2 (Atiweh *et al.*, 2021).

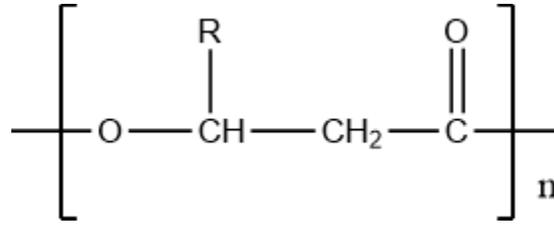


Figura 1. Estructura de los PHA

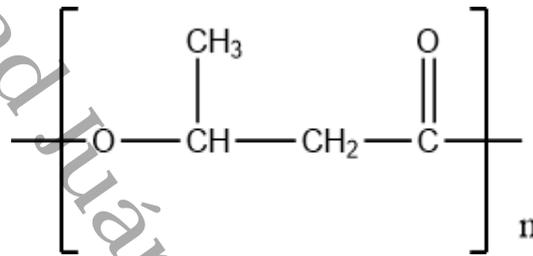


Figura 2. Estructura química del PHB

Ácido poliláctico (PLA): es un termoplástico, biopolímero, biodegradable que se obtiene de la polimerización del ácido láctico a partir de recursos renovables y se degrada mediante hidrólisis, este se utiliza mayormente en la industria alimentaria para la reducción de productos de alimentos desechables no degradables mediante sus fibras se pueden obtener productos desechables y biodegradables como toallas de uso femenino y pañales. Su estructura química se presenta en la figura 3, además el PLA es frágil y necesita de aditivos para que tengan una mayor durabilidad. Hoy en día el PLA presenta distintas aplicaciones en áreas como química, farmacia, medicina y biotecnología. Su degradación puede aplicarse en la liberación de fármacos, así como en el intercambio de bolsas a base de petróleo por bolsas de PLA produciendo un ahorro ambiental. El PLA ahorra dos tercios de la energía necesaria para elaborar un plástico, además se ha comprobado que no aumenta el CO₂ durante su degradación. La elaboración de bioplásticos se puede lograr incorporando el uso de energía renovable y simultáneamente reducir los gases producidos por el efecto invernadero (Atiwesh, *et al.*, 2021, Campozano Mendoza & Riera, 2022).

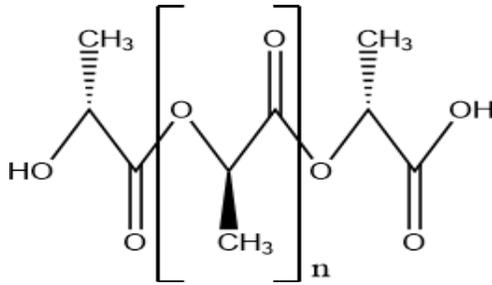


Figura 3. Estructura química del PLA

La economía circular se basa en hacer uso de fuentes sostenibles para reducir el consumo de los plásticos comunes, el hábito de los bioplásticos permite utilizar materias primas renovables y limitar el uso de recursos para obtener un producto con un rendimiento similar, es por ello que el uso de los bioplásticos en la economía circular tiene por objetivo: reducir las fuentes de carbono y usar las fuentes renovables, utilizar materiales que sean compostables, reducir el consumo de los combustibles, además de centrarse en el reciclaje orgánico con esquemas de certificación e información concreta para el público (Da Costa Farihna, 2018).

1.2.3 Naranja en México

México en el año 2017, ocupó el cuarto lugar de producción en el mundo y en el 2018, cosechó el 6.32 % de naranja a nivel mundial lo que equivale a 4.62 millones de toneladas. El estado de Veracruz es el mayor productor de naranja en el país con 2.50 millones de toneladas, lo que representa más del 50 % de la producción a nivel nacional (Rivera-López *et al.*, 2020).

En Tabasco la producción de naranja registró un alza entre los años 2016 y 2017, cuando tuvo una producción de 82,199 y 93,421 toneladas respectivamente, lo que significó un incremento del 13.65 %, por lo que hasta el año 2023 se han mantenido producciones similares a la del 2017, con ligeros incrementos en los años posteriores (SEDAFOP, 2023). Esto nos indica que en Tabasco se puede seguir manteniendo una estabilidad y que a la larga se presente un incremento en su producción y en consecuencia cause un aumento en la economía de los productores y en la cantidad de cáscaras de desecho.

La naranja, forma parte del género citrus, entre ellos destaca *Citrus sinensis* (Naranja dulce), *Citrus reticulata* (Mandarina), *Citrus aurantifolia* (Limón), etc. El naranjo alcanza aproximadamente hasta los 13 m, presenta hojas ovaladas, sus flores son de color blanco, de las cuáles posteriormente se obtendrán los frutos. La naranja presenta una forma esférica, su cáscara llamada epicardio, que puede ser lisa o rugosa y vesículas oleosas llamadas flavedo, debajo de la cáscara hay una piel blanca que cubre a la pulpa o albedo (Entonado Alejo, 2022).

La corteza de la naranja posee azúcar, almidón, fibra que contiene celulosa, hemicelulosa, lignina, pectina, proteínas, etc. en la tabla 1, se detalla su composición porcentual. Su corteza presenta compuestos de cadena corta, su pH es de 3.64, sin embargo, su composición varía porque hay factores que influyen en este como lo son sus condiciones de crecimiento, variedad, clima, etc. (López *et al.*, 2010).

Tabla 1. Composición química de la cáscara de naranja. Obtenido de López *et al.*, 2010.

Componente	Porcentaje (%)
Azúcar soluble	16.90
Almidón	3.75
Celulosa	9.21
Hemicelulosa	10.50
Lignina	0.84
Pectina	42.50
Ceniza	3.50
Grasas	1.95
Proteínas	6.50
Otros	4.35

1.2.4 Pectina

La pectina es un producto natural que se obtiene de la pared primaria de los frutos vegetales. Esta tiene la propiedad de absorber agua y en su mayoría tienen cadenas de

1-4 α -D-acido galacturónico, su peso molecular es muy variable, y esto le otorga su poder gelificante (Chasquibol-Silva *et al.*, 2008).

Pectina significa congelar o solidificar y se compone por distintos polisacáridos, los cuáles se encuentran en la pared celular de los frutos cítricos. Fue descubierta en 1970 por Vauquelin, pero caracterizada por Braconnot en 1825, el cual notó su capacidad de gelificante, mientras que otros investigadores la caracterizaron química y biológicamente. Hoy en día el estudio de la pectina está muy avanzado respecto a su composición química y estructural (Ardila Ferreira S, 2007).

Asimismo, la pectina no solo es utilizada por su poder gelificante sino también por su uso en las terapias farmacológicas, área de cosmética, formulación de fármacos, etc. La pectina tiene al menos un 65 % de ácido galacturónico ($C_6H_{10}O_7$), este arrastra también azúcares neutros como D-galactosa, L-arabinosa, etc. A la pectina la componen anillos de ácido galacturónico los cuáles hacen que varíen desde los 50,000 Da hasta los 150,000 Da, así pues, todos los anillos tienen consigo un grupo carboxilo (-COOH) (Franco, 2015).

1.2.5 Estructura química de la pectina

La pectina está compuesta por restos de ácidos α -(1,4)-D-galacturónico, el cuál presenta grupos carboxilos parcialmente metoxilados, su estructura es muy compleja y al tener esta característica su peso molecular es elevado. Su estructura química se muestra en la figura 4 (Mamani Crispín *et al.*, 2012).

Entre los distintos componentes de la pectina que se pueden encontrar en la pared celular de los frutos están:

Homogalacturano (HG): es una cadena lineal rígida que contiene ácido D-galactopiranosil urónico, unidos por enlaces α 1,4. En ocasiones los grupos carboxilos se pueden metoxilar, el HG representa cerca del 65 % de la pectina, además está constituido por ácido galacturónico. Las propiedades fisicoquímicas del HG afectan la ionización de los grupos carboxilos libres y su unión con los iones metálicos (Espinal Ruiz *et al.*, 2016, Teresa *et al.*, 2021).

Rhamnogalacturonano I (RG-I): este presenta del 20-35 % de la pectina, su estructura se basa en un disacárido repetido [α -D-GalA-1,2- α -L-Rha-1,4], el Rha corresponde a la ramnosa. Sus ramificaciones pueden ser -L-arabinofuranosilo y -D-galactopiranosilo. Se dice que la RG-I es capaz de regular la relación de HG con otros componentes de la pared celular, así como también de evitar que la cadena lineal de HG forme enlaces polivalentes (Espinal Ruiz *et al.*, 2016, Teresa *et al.*, 2021).

Rhamnogalacturonano II (RG-II): este componente tiene una estructura más compleja y representa el 10 % de la pectina. Además, su cadena se compone por D-GalA con enlaces 1,4 que presenta ramificaciones complejas constituidas hasta por 12 tipos de unidades de glicosilo. En la figura 5 se presenta el monómero de pectina. Aunque es un componente en menor porcentaje con respecto a la HG y RG-I este le otorga estabilidad a la pectina (Espinal Ruiz *et al.*, 2016, Teresa *et al.*, 2021).

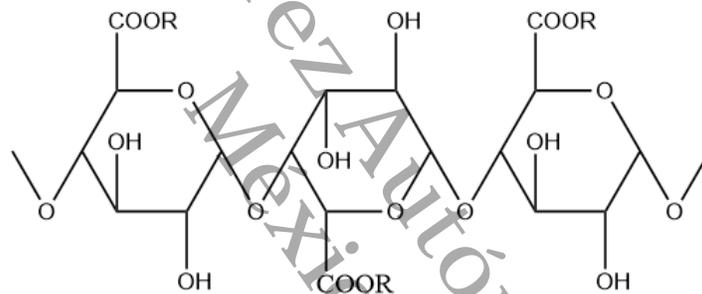


Figura 4. Estructura básica de la pectina. Si R es H se tiene un ácido carboxílico, si R es CH₃ es un metoxilo (éster), R es diversos grupos.

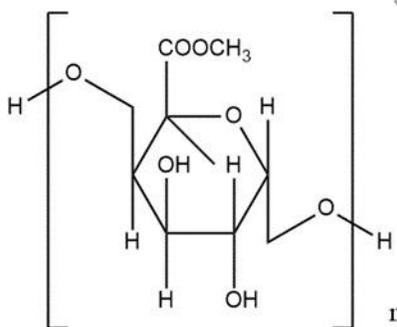


Figura 5. Monómero de la pectina

1.2.6 Contenido de metoxilo

1.2.6.1 Pectinas de alto contenido de metoxilo

Son aquellas que poseen más del 50 % de sus grupos carboxilos esterificados con etanol y pueden formar geles en un pH de 2.8 y 3.5. Los iones de calcio no afectan a la gelificación de las pectinas de alto contenido de metoxilo (Núñez Andrade, 2022). En la figura 6 se muestra la estructura de las pectinas con alto contenido de metoxilo.

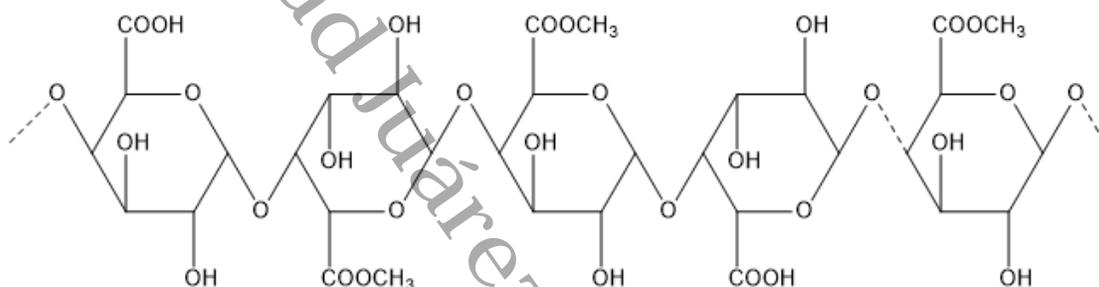


Figura 6. Estructura de pectinas de alto contenido de metoxilo

1.2.6.2 Pectinas de bajo contenido de metoxilo

Son las que poseen menos del 50 % de sus grupos hidroxilo esterificados con etanol, en este tipo de pectinas para que se forme el gel se necesitan cationes divalentes, generalmente para estos casos se utiliza calcio, aquí el gel se forma por los enlaces de los cationes con moléculas de la pectina. Se producen los geles cuando se tiene un pH de 1.0 a 7.0 y entre 40-100 mg de calcio ya que este es el principal factor en la formación del gel (Núñez Andrade, 2022) A continuación, se presenta en la figura 7 la estructura de las pectinas con bajo contenido de metoxilo.

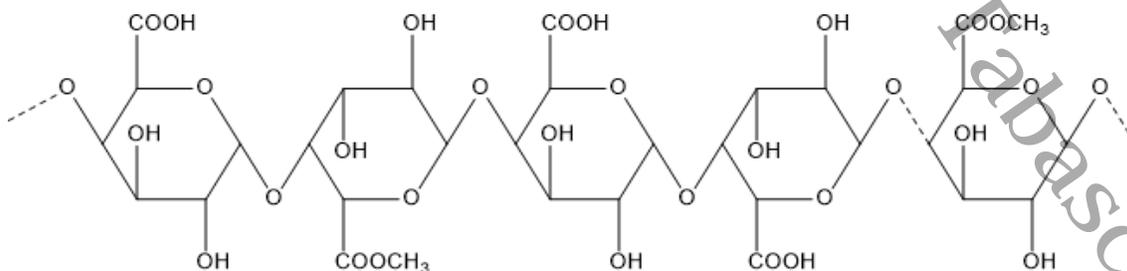


Figura 7. Estructura de la pectina de bajo contenido de metoxilo.

1.2.7 Propiedades fisicoquímicas

Solubilidad: la pectina es soluble en agua, aunque también se ha demostrado que es soluble en formamida, dimetilformamida y glicerina caliente. Es insoluble en solventes orgánicos y detergente cuaternarios, polímero, proteínas, etc. (Cabarcas *et al.*, 2012).

Acidez: tienen un pH de 7.0, son ácidos cuando están en solución pues tienen pH entre 2.4 y 3.8 pero va a depender de su grado de esterificación (Cabarcas *et al.*, 2012).

Viscosidad: esta depende del grado de polimerización, pH, temperatura, concentración y electrolitos. En las pectinas con alto grado de esterificación, su viscosidad y el peso molecular son proporcionales, los iones polivalentes hacen creciente su viscosidad (Cabarcas *et al.*, 2012).

Peso molecular: es muy complejo determinarlo puesto que las pectinas presentan estructuras diferentes entre ellas, sin embargo, se ha descrito que varían entre 20,000 a 30,000 g/mol, de esta propiedad dependen su viscosidad y su poder gelificante (Cabarcas *et al.*, 2012).

Grado de esterificación: la pectina tiene sus propias clasificaciones entre las que destaca su grado de esterificación, cuyo valor se representa en porcentaje, de este parámetro dependen sus propiedades reológicas tales como su viscosidad, peso molecular y su capacidad de gelificar. El grado de esterificación que contenga la pectina va a estar relacionado con la capacidad de formar geles, por lo tanto, a mayor grado de esterificación, más fuerte será el gel (Villani *et al.*, 2010). Este parámetro varía en las pectinas de bajo metoxilo de un 20 a 40 % mientras que en las de alto metoxilo entre un 60 a 75 % (Franco, 2015).

La gelificación de pectina con alto metoxilo requiere de un pH de 3.5 o más ácido, esta condicionante es importante ya que si se usan parámetros por encima o debajo, no se va a tener un gel si no una sustancia viscosante. Si se crea un gel a un pH de 3.8 con pectina de alto metoxilo, se pueden crear puentes de hidrógeno con grupos ácidos o hidroxilos (Ferreira Ardila, 2007).

En su forma natural las pectinas son de alto grado de esterificación, sin embargo, al momento de integrarse a la pared celular pasan por un proceso de desesterificación. Los grados de esterificación van a variar de acuerdo con su madurez, tejido y especie, pero

de se ha demostrado que existen pectinas que presentan grados de esterificación que van desde el 60 al 90 %. Cabe destacar que la distribución de los grupos carboxílicos libres en la pectina es regular y están ampliamente separados uno del otro (Pagan & Gilabert, J, 1996).

Gelificación: Las propiedades de gelificación de la pectina van a estar determinadas por el % de metoxilos, la United States Pharmacopeia (USP) dictamina que las pectinas con un contenido de metoxilos mayor a 6.7 %, se consideran de alto metoxilo, y menor a este se consideran de bajo metoxilo. (Franco, 2015). La pectina debe de tener una gelificación rápida si contiene un alto grado de esterificación, su peso molecular va a depender de la longitud de la cadena, por lo tanto, repercute en su capacidad gelificante (Montes & Durán Ramírez, 2006).

El gel se forma cuando existe una red tridimensional continua de moléculas de polímeros reticulados y consta de 3 elementos: Zonas de unión donde se encuentran las moléculas del polímero, partes de unión de polímeros móviles y agua atrapada en los polímeros. Mediante la formación de geles, la pectina contribuye en la consistencia y textura. El gel puede variar dependiendo del grado de polimerización y de la funcionalidad química de la cadena de la pectina (Thakur *et al.*, 1997).

Las moléculas poliméricas y los enlaces entrecruzados crean una red envuelta en agua, que tiene la función de ser el solvente y debido a sus fuerzas intermoleculares, mantienen la rigidez del gel gracias a los puentes de hidrógeno e interacciones hidrofóbicas, lo que permite tener una gran cantidad de agua (Pagan & Gilabert, J, 1996).

Las características que influyen en la formación del gel son las siguientes:

- Longitud de molécula: entre mayor sea esta, el gel va a tener mayor rigidez, si la longitud es muy baja no se podrá formar el gel.
- Grado de metilación: controla la velocidad de la gelificación y provee algunas propiedades organolépticas.
- Temperatura: cuando se deja enfriar una solución de pectina, la energía de la molécula baja y, por lo tanto, su gelificación aumenta. Sin embargo, en las pectinas de bajo metoxilo gelifican instantáneamente si su temperatura se encuentra por debajo de su temperatura crítica, mientras que en las de alto metoxilo van a depender del tiempo.

- pH: si hay más grupos ácidos disociados que no disociados entonces la pectina se hace mucho más hidrofílica, por lo que su gelificación aumenta al bajar el pH.

1.2.8 Fuentes de obtención de la pectina

Para su uso en los distintos tipos de industria la pectina en su mayoría se extrae en de los residuos cítricos, específicamente de las cáscaras de naranja, limón, especialmente del bagazo, aunque en la actualidad también se ha extraído pectina de mango, guayaba, residuos de girasol, etc. Las propiedades químicas de la pectina extraída van a variar dependiendo de la planta, maduración y metodología empleada (Páez G *et al.*, 2005).

Cáscara de naranja.

La industria juguera genera alrededor de 50 a 60 % de los residuos de cáscara, estos a su vez causan problemas de contaminación al suelo, los cuáles tardan en degradarse 6 meses, por lo tanto, la cáscara de naranja es una buena alternativa para la extracción de pectina, además se le otorga un valor agregado a este agrodesperdicio. La cáscara de naranja tiene muchos componentes esenciales tales como azúcares, flavonoides, etc. (Ramos-Alvarado *et al.*, 2020).

Cáscara de limón

Los desechos de limón son cada vez mayores y son una buena alternativa para la extracción de pectina presente en su cáscara, además tiene mucha importancia en la industria alimentaria y en área farmacéutica. La pectina en la cáscara de limón se encuentra en la pared celular y su principal uso es para hacer bebidas, sin embargo, también se utiliza en el procesamiento de pasteles, cremas, dulces, conservas, etc. (Flores *et al.*, 2013).

Cáscara de mango

El mango en México se cultiva en 23 de los 31 estados, de los cuáles Sinaloa es el mayor productor de esta fruta con 390,780 toneladas, existen diversas variedades de mango, sin embargo, en México destacan el mango Ataulfo y el Kent. Tomando en cuenta las estadísticas del año 2019 México es el sexto productor a nivel mundial de mango ya que exportó alrededor de 450,524 toneladas (SADER, 2021).

La pectina que contiene el mango se extrae principalmente de la cáscara, además se obtienen diversos productos que aportan entre del 35 y el 60 % del peso total del mango, y es utilizado como laxante y diurético (Barreto *et al.*, 2017).

Cascara de maracuyá

El maracuyá tiene amplio interés comercial en zonas tropicales y subtropicales, también representa un beneficio ya que contiene pectina que se usa en la industria alimenticia y farmacéutica, misma que se encuentra en la cáscara del maracuyá, además con ello se ayuda a disminuir los niveles de contaminación ambiental (Urango-Anaya *et al.*, 2018). Los residuos mencionados anteriormente son las principales fuentes de obtención de pectina, porque son frutos que se consumen en abundancia y a sus desperdicios no se les da otro uso, salvo en algunas ocasiones que se usa como abono/composta para las plantas, por otro lado el tipo de pectina que se obtiene va a variar dependiendo de cuál sea su fuente de extracción así como también las condiciones con las que se vaya a extraer, con base en lo reportado en la literatura las cáscaras secas tienen mayor contenido de pectina (Teresa *et al.*, 2021).

1.2.9 Usos de la pectina

La Food and Drug Administration (FDA) cataloga a la pectina como un aditivo seguro y sin límite, en la industria farmacéutica se le han dado múltiples usos como excipiente en comprimidos, geles y cubiertas, etc. La combinación de pectina con iones divalentes puede mejorar la liberación de fármacos, de igual modo si se aumentan los iones divalentes se obtiene una reticulación y agregación del sistema mayor, sin embargo, un aumento de iones de calcio provoca un efecto conocido como pre-gelificación que en consecuencia hará que se libere más fármaco. De igual modo se ha utilizado en la industria alimentaria como un agente espesante, gelificante y estabilizante (Mamani Crispín *et al.*, 2012, Espinal Ruiz *et al.*, 2016).

1.3 Alginato

El alginato se utiliza para la formación de geles, ya que de este resultan interacciones fuertes y específicas, este compuesto ha adquirido mucha importancia porque se han obtenido películas comestibles. Una de las principales propiedades del alginato es que

pueden formar un gel a partir de un intercambio iónico que crea enlaces entre las cadenas del polímero, regularmente son intercambios de iones divalentes por trivalentes (Núñez Andrade, 2022).

Es el polisacárido que más está presente en las algas marinas, ya que constituyen hasta un 40% y se encuentran en la pared celular de las algas, el alginato desempeña múltiples funciones como lo son rigidez, elasticidad y flexibilidad. Las especies de algas marinas que contienen alginato para su comercialización son *Laminaria hyperborea*, *Ascophyllum nodosum* y *Macrocystis pyrifera*. En su forma natural los alginatos contienen iones de Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^+ , estos estarán en proporción de su composición. Sus cadenas están compuestas por ácido β -D-Manurónico (M) y ácido α -L-gulurónico (G), estos le van a conferir las propiedades físicas. La conformación de estos monómeros en la cadena lineal va a proporcionarle al gel flexibilidad o rigidez dependiendo del contenido de ácido gulurónico. Generalmente cuando existe mayor presencia de bloques G el gel es duro y frágil, por otro lado, si hay mayor presencia de bloques M el gel será suave y elástico. Cuando dos bloques de cadenas G se alinean se crean bloques de coordinación y cavidades en la que pueden albergar al ion Ca^{2+} , lo que provoca que el alginato haga una nueva conformación estructural dando origen a la gelificación conocida como “caja de huevo” (Avendaño-Romero *et al.*, 2013).

1.3.1 Usos

Industria Farmacéutica

Se utiliza en forma de sal como espesante para medicamentos de uso tópico, la diversidad de alginatos hace que constantemente se estén desarrollando nuevos productos, el pH juega un papel fundamental en esta industria ya que se ha demostrado que cuando se trabaja con pH 7.0 se obtiene un gel que hidrata la piel, por otro lado, a un pH de 3.0 el alginato presenta un hinchamiento (Hurtado *et al.*, 2020).

Industria biotecnológica

Se ha demostrado que, mediante la inmovilización de enzimas, regulada por el alginato induce una mayor actividad enzimática como la quitinasa. También se han encapsulado distintos probióticos para tener un mejor control de procesos y una actividad biocatalítica

más prolongada. Hoy en día se están realizando estudios sobre el alginato de cobre para la inmovilización enzimática, ya que este presenta mejor estabilidad y actividad enzimática. Además, los geles de alginato pueden funcionar como vehículo en la ingeniería tisular para localización de células trasplantadas (Hurtado *et al.*, 2020).

Industria biomédica

Presenta diversos usos en la producción de lentes de contactos, así como también los hidrogeles de colágeno que contienen alginato con proteínas para dar solución a los problemas oculares. En la industria dental es utilizada para la fabricación de prótesis y el mejoramiento de la adhesión de las prótesis dentales, también se ha utilizado para impresión del sistema óseo. En la biomedicina suele utilizarse alginato ultrapuro ya que contiene endoxinas que pueden inducir efectos adversos en los estudios *in vivo*. Además, juegan un papel fundamental en la quelación de metales pesados, los cuáles pueden causar enfermedades en diversos órganos y sistemas (Hurtado *et al.*, 2020).

A continuación, en la tabla 2 se presentan los usos más importantes del alginato

Tabla 2. Usos del alginato en los distintos tipos de industria. Modificado de: Hurtado *et al.*, 2020.

Industria	Uso
Biomedicina, bioingeniería, clínica, biotecnología. Farmacéutica.	Quelante de metales pesados Liberación controlada Prótesis Inmovilización de enzimas Complementos alimenticios
Química, textil.	Cosmética Tinta textil Detergentes Adhesivos
Alimentos y bebidas Odontología	Aglutinante y espesante Confitería Moldes

1.4 Caracterización de materiales

1.4.1 Fundamento teórico de la espectroscopía infrarroja (IR)

Los estudios IR, representan una manera común de analizar la composición de los polímeros, ya que es una metodología rápida, sensible y fácil de usar. Sin embargo, este tipo de estudio presenta algunas limitaciones, en las que destaca su medición cuantitativa que involucra un proceso mucho más exigente, debido a que se necesita realizar mediciones precisas. El IR mide las bandas características de un polímero (número de onda cm^{-1}), intensidad, forma de la banda y las direcciones de transición del marco molecular. Todos los procedimientos suponen que el polímero es puro, sin embargo, esto sucede muy pocas veces, es por ello por lo que la mayoría de las veces hay interferencias entre los espectros. El espectro IR de un polímero o compuesto es la propiedad más importante (a excepción de los isómeros) ya que es imposible que dos compuestos tengan el mismo espectro, en muchos casos la huella molecular es única y eso facilita su identificación con respecto a los patrones de absorción de otras moléculas (Koenig, J, 1999).

El espectro IR muestra bandas asociadas a un comportamiento característico para cada tipo de moléculas, por lo tanto; estas bandas se relacionan con los movimientos de los enlaces dentro de la molécula. Cada molécula presenta comportamientos distintos frente al haz de IR. En la Tabla 3, se presentan los distintos tipos de longitudes de onda (Piqué & Vázquez, 2012).

Tabla 3. IR y sus rangos de longitudes de onda. Tomado de: Piqué & Vázquez., 2012.

IR	Longitud de onda (cm^{-1})
Lejano	10-650
Medio	650-4000
Próximo	4000-12500

Dentro de una molécula, existen dos tipos de vibraciones moleculares: de flexión y tensión. En la vibración de tensión existe un cambio constante entre los enlaces de los átomos, estos pueden ser simétricos y asimétricos. Por otro lado, las vibraciones de flexión se muestra un cambio en el ángulo de dos enlaces, estos pueden ser; tijereteo, torsión, balanceo y aleteo (Blanco Chávez, I. Y., & Caballero, C. A; 2015).

1.4.2 Técnicas de muestreo

1.4.2.1 Reflectancia Total Atenuada (ATR)

Es una técnica que se utiliza cuando se tiene una muestra de baja transmisión, este relaciona un cristal con alto índice de refracción y con baja absorción de IR. La técnica ATR se basa en que la sonda entra al elemento de reflexión interna (IRE), bajo un ángulo que excede el ángulo crítico para generar la reflexión interna total, en la interfaz se crea una onda evanescente y crea una penetración que será proporcional a la longitud de onda de la radiación. Esta técnica presenta muchas ventajas como obtener espectros de muestras opacas, la longitud del cristal induce la sensibilidad de la técnica ATR y la relación señal/ruido es mejor con respecto al número de reflexiones (Koenig J, 1999).

Cuando un haz de IR se mueve de un índice de refracción alto a uno bajo, una fracción de luz se refleja en la refracción baja, y las ondas casi en su totalidad se reflejan, este fenómeno se conoce como reflexión interna total. Esta técnica es muy útil en muestras sólidas y líquidas, es necesario tener un contacto entre la muestra y el cristal del ATR (Blanco Chávez, I. Y., & Caballero, C. A; 2015). Se genera cuando una radiación infrarroja entra a un cristal de ATR y este es de alto índice de refracción, esto crea una onda que se ensancha hacia la muestra que tiene el contacto con el cristal de ATR, generando así un espectro IR del analito.

1.4.2.2 Reflexión interna (ERS)

Se utiliza en películas delgadas sobre sustratos metálicos, por lo que el haz se refleja sobre la superficie metálica y se atenúa en las regiones de absorción del sustrato. Los espectros, son el resultado de la relación entre la polarización y el ángulo de incidencia del haz incidente lo que da como resultado una medida cuantitativa de la concentración superficial y la orientación de la molécula. El haz crea un ángulo de 88° y se pueden utilizar reflexiones únicas o múltiples, este método ha sido útil para el estudio de recubrimientos y adhesivos en zonas metálicas, sin embargo, su principal limitación es que se necesita una zona lisa parecida a un espejo y ello hace que se puedan estudiar pocas muestras. Cuando se está observando desde una superficie brillante su onda se mueve en el ángulo de incidencia (Koenig, J, 1999).

1.4.2.3 Espectroscopía FTIR de reflectancia difusa (DRIFT)

Resulta de la radiación incidente, en la cual los espectros presentan una reducción en la reflectancia en frecuencias donde se crean las bandas de absorción como resultado de la radiación que penetra la muestra. Sus espectros involucran procesos muy complejos, una parte de la energía se refleja, pero no se absorbe y la otra parte de la energía penetra las partículas y es parcialmente absorbida, esta técnica se utiliza cuando se van a estudiar muestras con alta dispersión. Su limitación puede deberse al tamaño de las partículas, contenido de humedad y empaquetamiento de la muestra. La técnica para el muestreo es la mezcla del polímero en polvo con exceso de KBr (Koenig L, 1999).

Este acopla la Reflexión difusa (DR) con el análisis FTIR, el módulo DR hace que la correlación por radiación difusa y el IR llegue al espectrómetro y la muestra. Para obtener un espectro medible, hay que hacer uso de un medio no absorbente tal como el KBr y KCl. El modo DRIF y ATR presentan combinaciones entre los sobretonos y las vibraciones, sus distorsiones hacen que los espectros DRIFT se hagan mucho más complejos (Hurtado García, 2021).

1.4.3 Análisis termogravimétrico (TGA)

El TGA es una técnica en la cual la masa de un polímero está en función de una temperatura controlada en una atmósfera inerte, para ello se necesita un gas como N, Ar o He. La pérdida de masa de los polímeros se relaciona con componentes volátiles, estas zonas de pérdida se caracterizan por presentar información para su composición, grado de curado y estabilidad térmica. Cabe destacar que hay factores que influyen en los resultados del TGA como efectos atmosféricos, reacciones secundarias, conductividad térmica, tasa de calentamiento, etc. (Prime *et al.*, 2009).

Los intervalos de temperatura para un TGA son de 1000°C, un gas de purga fluye por una balanza que crea una atmósfera inerte, el gas de purga contiene cierta humedad que puede ser seco a saturado. Los polímeros presentan un comportamiento en el que pierden masa, aunque también se ha observado que pueden ganar masa a velocidades de calentamiento lentas. La termobalanza es el responsable de medir la masa del polímero en función de la temperatura y tiempo (Prime *et al.*, 2009).

Los principales factores que afectan al TGA se resumen en la tabla 4, entre las que destaca las perturbaciones que pueden ser por efectos atmosféricos, reacciones secundarias, etc.

Tabla 4. Factores que afectan los resultados del TGA. Tomado de: Prime *et al.*, 2009.

Masa	Temperatura
Flotabilidad y expansión térmica	Conductividad térmica
Turbulencia atmosférica	Entalpía en los procesos
Condensación y reacción	Disposición del sensor del horno de muestras
Fuerzas electrostáticas y magnéticas	

La flotabilidad es la fuerza ascendente que se ejerce sobre la muestra que se crea por la atmósfera circundante, este fenómeno sucede cuando la densidad de la atmósfera disminuye conforme aumenta la temperatura, estos efectos en algunas ocasiones son evidentes al inicio del calentamiento o cuando se hace un cambio de atmósfera. Muchos de los factores antes mencionados hacen referencia a la técnica e instrumentación y otros a la naturaleza del polímero, a menudo se utiliza una combinación con los análisis de gases evolucionados (EGA), este determina la naturaleza de los cambios en su fase gaseosa, esta se puede realizar de manera cualitativa y cuantitativa (Prime *et al.*, 2009). El análisis termogravimétrico en ocasiones puede dar información cuantitativa respecto a la composición del polímero en estudio.

1.4.3.1 Tipos de muestras.

Un equipo de TGA puede analizar muestras en estado líquido, sólido y gel, con pesos que van desde los 1 a 100 mg, estos tipos de muestras pueden presentar alguno de los siguientes eventos térmicos como descomposiciones, vaporización de disolventes, oxidaciones y reducciones de electrolitos.

1.4.3.2 Estabilidad térmica

Este parámetro es uno de los más importantes en el estudio de los polímeros, la primera pérdida de masa indica la estabilidad térmica del polímero. Existen distintos tipos mediante las cuáles se pueden degradar los polímeros, lo cuáles se muestran a continuación en la tabla 5 (Price *et al.*, 2000).

Tabla 5. Principales vías de degradación de los polímeros. Modificado de: Price et al., 2000.

Vía de degradación de polímero
Escisión de la cadena principal
Escisión del grupo lateral
Eliminación
Despolimerización
Ciclización
Reticulación

La ciclación y reticulación no presentan cambios en la masa del polímero a menos de que haya una combinación con alguna de las otras vías antes mencionados, estas dan origen a productos volátiles que usualmente presentan un cambio de masa. Algunos polímeros tienen un rendimiento muy similar a sus monómeros y esto hace que se tengan rendimientos que se pueden cuantificar, siempre y cuando se utilice una atmósfera inerte (Price et al., 2000).

1.5 Propiedades químicas, fisicoquímicas y térmicas de bioplásticos a base de pectina y alginato.

La obtención de bioplásticos a partir de residuos de biomasa se está investigando arduamente. Uno de los productos utilizados para la fabricación de bioplásticos y que se obtiene de la biomasa de las frutas procesadas en la industria agroalimentaria es la pectina. A continuación, se presentan algunos casos en donde la pectina es el componente principal en la obtención de bioplásticos y se tratará de resaltar las cualidades que la pectina aporta a este tipo de material.

Se ha realizado la extracción y caracterización de pectina obtenida de níspero y otros frutos, bajo las siguientes condiciones a temperatura de 90 °C durante 75 minutos y pH de 2.5, de igual modo se realizó un estudio FTIR. Dando como resultado que la pectina extraída del níspero tiene un grado de metoxilo del 14.55 % y para el mesocarpio de la granadilla un 14.71 %, mientras que en el grado de esterificación presentan 86.24 % y 88.79 % respectivamente, clasificándose así ambos tipos de pectina como de gelificación ultrarrápida y alto contenido de metoxilo. En el análisis FTIR se encuentran los picos de mayor importancia para determinar el grado de metoxilo y grado de esterificación, situados en 1630 cm^{-1} y 1750 cm^{-1} que indican los grupos carboxilos libres y esterificados

y así conocer si una pectina es de alto o bajo grado de metoxilo (Chasquivol-Silva *et al.*, 2008).

Se puede extraer pectina de dos variedades de naranja (valencia y común) en el que se determinó el grado de metoxilación (%), la naranja valencia tiene un promedio de 10.87 % de metoxilación y por lo tanto esta se clasifica como pectina de alto contenido de metoxilo, mientras que la naranja común obtuvo un promedio de 6.53 % clasificándose como pectina de bajo metoxilo, tomando como referencia 7 % como un estándar para determinar si una pectina es de alto o bajo contenido de metoxilo (Villani *et al.*, 2010).

Se ha extraído pectina de cáscara de plátano, bajo las siguientes condiciones; pH de 1.5 – 3.0, temperatura de 60 – 80 °C, durante 1 hora, dando como resultados pectina de alto contenido de metoxilo, aunque algunas están cerca del límite y esto puede hacer que se comporten como de bajo metoxilo, de igual modo el grado de esterificación está entre 95.50 – 76.54 %, lo que nos indica un alto contenido de este, sin embargo, la relación entre estos dos parámetros forma complejos entre los grupos carboxílicos del ácido poligalacturónico (Cabarcas *et al.*, 2012).

En aplicaciones para la elaboración de bioplástico, se obtuvieron películas a base de extractos pécticos de la cáscara de naranja, en las que la mejor película fue caracterizada mediante análisis TGA a temperatura de 25 °C a 620 °C a una velocidad de 10 °C·min⁻¹ y un flujo de nitrógeno de 60 % dando como resultado 5 zonas de pérdida de peso, las cuales se deben a la pérdida de la humedad, descomposición de la pectina de cadenas cortas y largas y a la degradación de cadenas ramificadas de los polímeros. En el análisis FTIR la zona de 850 a 1200 cm⁻¹ se identifica como la zona de la cadena principal de ácidos poligalacturónicos, en 1750 cm⁻¹ hay un pico correspondiente al ácido carboxílico esterificado (Aldana *et al.*, 2015).

Se han realizado películas a base de pectina y alginato de sodio en el que se evalúan sus propiedades físicas, térmicas y estructurales mediante TGA y FTIR, obteniendo películas homogéneas y transparentes sin fisuras, en su análisis térmico se utilizó un flujo de gas de 30 ml/min y un barrido de calentamiento de 10 °C/min, en un rango de temperatura de 40 a 800 °C, dando como resultado 2 etapas de degradación en la película, en la cual la primera se lleva a cabo a los 160 °C asociada a la deshidratación de la película y su segunda etapa está relacionada a la descomposición de los

componentes propios de la pectina y alginato de sodio. Por otra parte, el análisis FTIR presentó picos característicos de 3270-3300 cm^{-1} relacionados al estiramiento del grupo OH, así como también un pico en 1025 cm^{-1} que confirma el estiramiento de COC de los enlaces glucosídicos (Siracusa *et al.*, 2018).

Se han realizado películas a base de pectina/alginato en el que evaluaron sus características fisicoquímicas por medio de pruebas FTIR y TGA. Para el TGA se utilizó un flujo de gas de 40 ml/min y un barrido de calentamiento de 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$, teniendo como resultado películas que presentaron una pérdida de peso antes de los 130 $^{\circ}\text{C}$, sin embargo, presentaron buena estabilidad térmica hasta los 200 $^{\circ}\text{C}$ y degradación máxima entre 217 $^{\circ}\text{C}$ y 235 $^{\circ}\text{C}$. Por otro lado, el análisis FTIR permitió identificar los grupos presentes en la pectina pura como un pico en 3343 cm^{-1} relacionado al estiramiento OH y picos en 2934 cm^{-1} y 2884 cm^{-1} asociados a las vibraciones de C-H de los ésteres metílicos, de igual modo se caracterizó el alginato puro que presentó en 3252 cm^{-1} el estiramiento del grupo OH, en 1599 cm^{-1} y en 1407 cm^{-1} las vibraciones asimétricas del carboxilo y las vibraciones de deformación de C –OH, respectivamente. De igual modo las películas presentaron picos típicos de ambos componentes (pectina y alginato) (Chakravartula *et al.*, 2019).

Se puede obtener pectina de cáscara de naranja mediante la hidrólisis ácida, en el que se determina el % de metoxilo, teniendo como resultado 5.74 %, esto nos indica que hay un bajo contenido de este y también se determinó el grado de esterificación dando como resultado 81.48 % (Chirivi Torres & Palencia Suarez, 2019). Se ha extraído pectina de cáscara de naranja mediante la hidrólisis ácida, en la que se hizo un estudio FTIR y TGA, así como también se determinó su grado de metoxilo. El estudio IR se realizó en el rango de 500 a 4000 cm^{-1} , a 32 barridos, mientras que para el estudio térmico se utilizó un flujo de nitrógeno de 20 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ y llevado a calentamiento de 10 a 1000 $^{\circ}\text{C}$, a una velocidad de 10 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$, por otra parte, el grado de metoxilo se determinó mediante volumetría y se obtuvieron los siguientes resultados para el estudio IR la pectina extraída presentó un pico fuerte entre 3600 a 3000 cm^{-1} , que se relaciona al estiramiento de los grupos OH, el pico entre 1760 a 1745 cm^{-1} se asocia con los grupos éster y los picos entre 1640 a 1620 cm^{-1} se relacionan al estiramiento del ion carboxilato. El estudio térmico reveló se presentaron 3 zonas de pérdida de masa, la primera pérdida de masa fue entre 40 – 100

°C misma que se relaciona con la pérdida de humedad, la segunda y tercera pérdida de peso se debe a la descomposición pirolítica del polímero, de igual modo se determinó que la pectina extraída contiene un alto grado de metoxilo (Santos *et al.*, 2020).

Se han realizado películas a base de pectina/alginato, las cuáles se caracterizaron mediante una análisis FTIR y TGA, bajo las siguientes condiciones la luz IR se transmitió a través de la muestra con un rango de frecuencia de 4000-600 cm^{-1} a 16 barridos y el estudio térmico se llevó a cabo a una temperatura de 30 a 600°C con una velocidad de calentamiento de 10 °C/min bajo un flujo de nitrógeno de 50 cm^3/min , en los que se mostraban picos característicos de ambos componentes de la película conformada, por otro lado en el análisis térmico, la película presentó una pérdida entre los 100 – 220 °C asociada a la pérdida de humedad, mientras que las segunda zona de pérdida situada entre 291 – 360 °C se debe a la degradación de ambos polímeros, de igual modo se demostró que la adición de alginato ayuda a que las películas tengan una mejor estabilidad térmica (Ahmad *et al.*, 2021).

Se formularon películas en igualdad de proporciones a las que se le realizaron pruebas estructurales y térmicas, las cuáles fueran tratadas por medio de microondas durante 1 a 5 minutos, estas se analizaron en un rango de número de onda de 400 a 4000 cm^{-1} , por otra parte, el estudio térmico se realizó bajo las siguientes condiciones donde se calentaron de 0 a 300 °C bajo un flujo continuo de gas nitrógeno a una velocidad de 40 ml/min. Las películas presentaron cambios significativos en los números de onda correspondientes de los dominios hidrófilos e hidrófobos, mientras que el estudio térmico reveló que la temperatura de fusión de la pectina se presentó en 105.43 °C y la de alginato a 184.48 °C, esto indica que el tratamiento con microondas aumenta la temperatura de fusión de los polímeros (Basit *et al.*, 2021).

Por lo tanto, con base en los resultados de los estudios anteriores, las propiedades fisicoquímicas y térmicas de las películas a base pectina y alginato son variantes entre sí, debido a la pureza de ambos polímeros, tratamiento de estos, así como su fuente y condiciones de extracción. Sin embargo, este trabajo permitirá hacer comparaciones de una fuente regional de pectina con las ya reportadas y conocer su calidad para que pueda ser empleada como un bioplástico.

1.6 Justificación

La elaboración de un bioplástico a partir de pectina extraída de cáscara de naranja podría ayudar a disminuir la cantidad de contaminación, esto debido a sus propiedades biodegradables y biocompostables. En Tabasco en el año de 2022 se obtuvo una producción de 37,293 toneladas de naranja (SIAP; 2022). Actualmente en el estado de Tabasco los desperdicios de cáscara de naranja se utilizan como composta casera para las plantas, es por ello que podría otorgarles un valor agregado a los agro desperdicios si se utilizan para obtener materias primas que sirvan para fabricar bioplásticos. Por lo anterior, con este proyecto se busca implementar una metodología para la extracción de pectina a partir de cáscaras de naranja residuales y explorar la posibilidad de obtener un bioplástico en forma de película. La cáscara de naranja es un residuo que tiene un gran potencial por sus componentes químicos, entre los que destaca la pectina que es ampliamente utilizado en la industria alimentaria, sin embargo este heteropolisacárido por sus propiedades químicas presenta cualidades que las hacen idóneas para el uso de bioplásticos, que son una alternativa amigable con el medio ambiente ayudando a disminuir los altos niveles de contaminación, además apoya el desarrollo de la economía circular otorgándole un valor agregado a los residuos no solo de naranja sino también de otros frutos cítricos, en combinación con un material del cual ya se ha demostrado que se pueden obtener bioplásticos con buenas propiedades como es el alginato. La obtención de la película permitirá analizar sus propiedades químicas y térmicas mediante estudios de FTIR y TGA.

1.7 Pregunta de investigación

¿Es posible obtener un bioplástico térmicamente resistente, mediante la combinación de los polímeros pectina-alginato?

¿Se puede extraer y caracterizar la pectina de la cáscara de naranja?

¿Puede una película de pectina-alginato presentar buenas características para su desarrollo como bioplástico?

1.8 Hipótesis

El tipo de pectina utilizada en combinación con alginato, influye en las propiedades estructurales y térmicas de los bioplásticos, debido a las características químicas de la pectina determinadas por su grado de metoxilación y esterificación.

1.9 Objetivo general

Obtener un bioplástico a partir de pectina de cáscara de naranja mediante hidrólisis ácida en combinación con alginato, para evaluar sus propiedades fisicoquímicas y térmicas.

1.9.1 Objetivos específicos

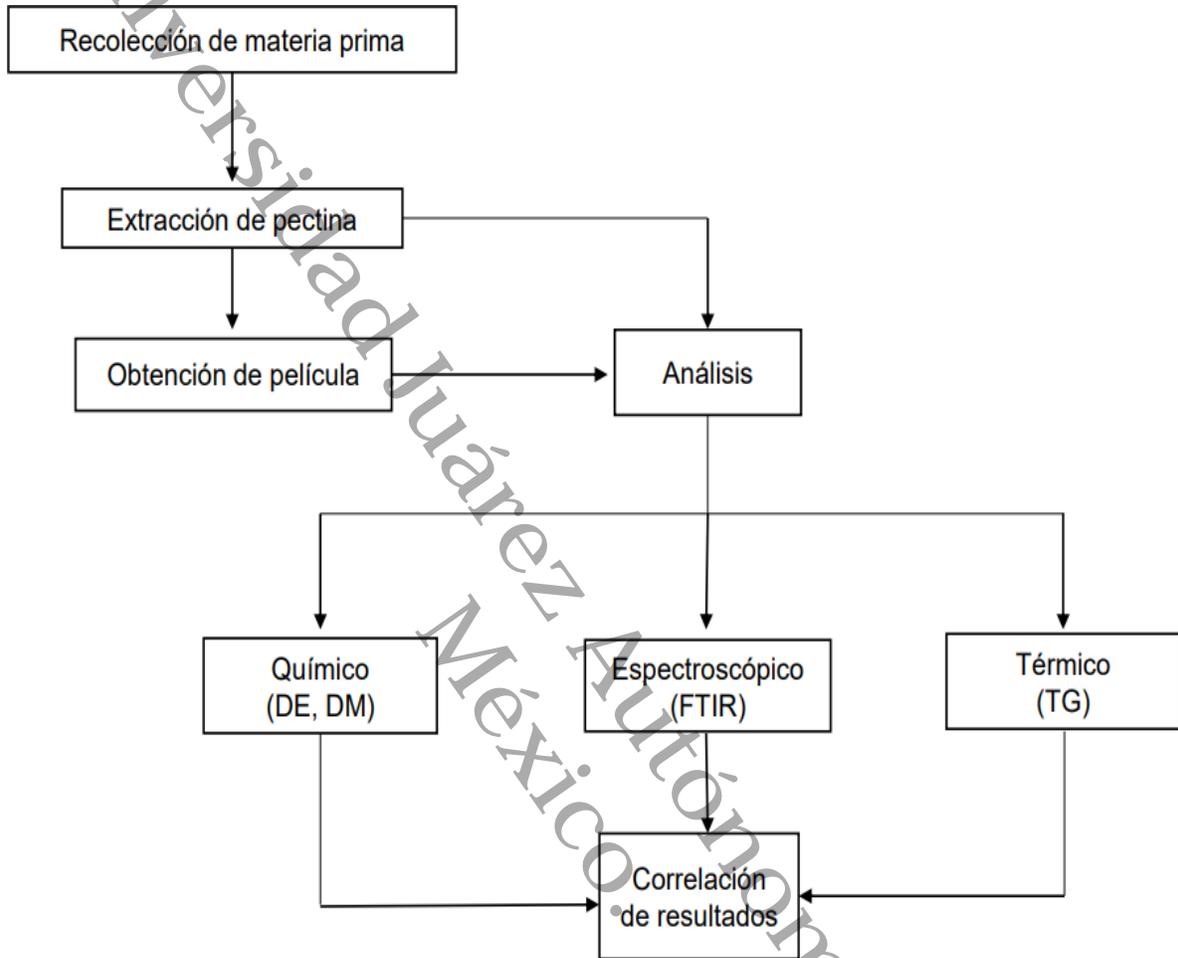
1. Extraer la pectina a partir de la corteza y del flavedo de la naranja.
2. Realizar los análisis químicos (DE, DM), fisicoquímicos (FTIR) y térmicos (TGA).
3. Elaborar la película de pectina-alginato mediante entrecruzamiento iónico.
4. Caracterizar la pectina y la película de pectina-alginato mediante análisis fisicoquímicos (FTIR) y térmico (TGA).

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

CAPÍTULO 2.

PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Resumen gráfico de la metodología



2.2 Metodología

2.2.1 Reactivos y equipos

Etanol, Hidróxido de sodio hidratado (NaOH), Ácido cítrico ($C_6H_8O_7$), Cloruro de calcio ($CaCl_2$), Indicador de Fenolftaleína, Ácido clorhídrico concentrado (HCl) de la marca Meyer, Biftalato de potasio hidratado $K[C_6CO_2HCO_2]$ de la marca Fagalab. Alginato de la marca MCC y Horno de secado, Thermo Scientific FTIR Nicolet™ iS™ 50 y Setaram Labsys EVO 1110

2.2.2 Materia prima

Se decidió trabajar con la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) debido a que es un fruto representativo del estado de Tabasco y por lo tanto es mucho más fácil su obtención, la materia prima se obtuvo de vendedores ambulantes del poblado Carlos Roviroza (Tulipán) del municipio de Cunduacán Tabasco, México.

2.3 Extracción de la pectina

La extracción de la pectina se llevó a cabo de la siguiente manera; la cáscara fue lavada con agua corriente, posteriormente fue lavada con agua destilada y triturada con una batidora doméstica, posteriormente el triturado fue dispersado en agua destilada en una proporción 1:25 p/v, llevando a calentamiento a $90^\circ C$ durante 1 hora con agitación constante a 500 rpm, para regular el pH a 3.7, se utilizó un amortiguador de ácido cítrico 0.1M, obteniéndose así un precipitado que se separó por filtración por gravedad en un embudo de vidrio con papel filtro. Posteriormente el extracto se precipitó con 4 partes de etanol y finalmente el precipitado se colocó en una caja Petri y se metió al horno a $80^\circ C$ por 24 horas para secarlo.

2.4 Determinación del contenido de grupos metoxilos y grado de esterificación

Se pesaron 201.0 mg de pectina para después añadir 5 ml de etanol al 96% y agitar hasta observar una fase uniforme. Posteriormente se pesaron 399.1 mg de $CaCl_2$ y añadir 50 ml de agua destilada recién hervida, esto se agitó hasta que la pectina y el $CaCl_2$ tenga una fase uniforme y adicionar 3 gotas del indicador de fenolftaleína para titular con hidróxido de sodio 0.01M previamente estandarizado hasta observar un color

rosa tenue o un pH de 7.5, una vez obtenido el viraje; añadir 25 ml de NaOH 0.1M previamente estandarizado y dejar agitar toda la noche a 200 rpm.

Posteriormente se añadieron 21.4 ml de HCl previamente estandarizado y adicionar 3 gotas de indicador de fenolftaleína para titular con NaOH 0.1M previamente estandarizado hasta tener un rosa tenue o un pH de 7.5.

Este proceso se llevó a cabo por triplicado teniendo en cuenta las proporciones respectivas para tener un promedio y desviación estándar del contenido de metoxilo y grado de esterificación de la pectina extraída de la cáscara de naranja.

Para realizar los cálculos correspondientes al grado de esterificación es necesario usar la siguiente ecuación:

$$DE(\%) = \frac{\text{meq NaOH (contenido de metoxilo)}}{\text{meq NaOH (acidez libre)} + \text{meq NaOH (contenido de metoxilo)}} \times 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

El grado de esterificación se relaciona con las determinaciones de acidez libre y de las unidades metiladas (contenido de metoxilo), por lo tanto, la suma de estos dos parámetros corresponde a los carboxilos totales de los ácidos pectínicos. Entonces se puede decir que existe una relación entre los carboxilos esterificados y los carboxilos libres expresados como meq/g. Ahora bien, para llegar a la ecuación antes descrita es necesario calcular la acidez libre la cual se determina de la siguiente manera: (Ardila Ferreira S, 2007).

$$\text{Acidez libre} = \frac{\text{meq de carboxilos libres}}{\text{gramos}} = \frac{N (\text{NaOH}) \times \text{Vol sosa (ml)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \quad (\text{Ec. 2})$$

Por lo tanto:

$$\text{Acidez libre} = \frac{N (\text{NaOH}) \times \text{Vol sosa (ml)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \quad (\text{Ec. 3})$$

La acidez libre relaciona el peso de la muestra (pectina) y los meq gastados de NaOH en la titulación.

En la cuantificación de la acidez libre fueron neutralizados el ácido, quedando en forma de carboxilatos y al adicionar el HCl estos se vuelven a protonar formando nuevamente ácidos carboxílicos y con el calentamiento en exceso de HCl, los grupos metoxilos se

hidrolizan dejando a todos los grupos en carbonilo en forma de ácido carboxílico, tanto los que originalmente eran ácidos como los que ya estaban esterificados. La segunda titulación por retroceso cuantifica el exceso de ácido, pudiendo calcular el total de los grupos esterificados de la molécula. Esto nos ayuda a saber la relación presente entre los grupos metoxilados y los ácidos libres que están en la cadena principal de la pectina.

Para calcular el contenido de metoxilo se utilizó la siguiente fórmula:

Donde 31 es el peso molecular del grupo éster (OCH₃)

$$\text{Contenido de metoxilo: } \frac{\text{meq de NaOH} \times 31}{\text{peso de la muestra (mg)}} \times 100 \quad (\text{Ec. 4})$$

2.5 Elaboración de películas

Se pesaron 20.1 mg de pectina extraída de cáscara de naranja y 19.6 mg de alginato, posteriormente se preparó una solución al 2% p/p de CaCl₂ en agua desionizada a temperatura ambiente y agitación constante de 300 rpm durante 1 hora. La solución se llevó al horno de secado a 80°C por 18 horas. La película formada se humedeció nuevamente con la solución al 2% p/p de CaCl₂ durante 4 horas, para que se llevara a cabo el entrecruzamiento iónico. Una vez que el solvente se evaporó la película se metió al horno para secarse a 80°C durante 12 horas.

2.6 Caracterización de la pectina extraída y de la película mediante FTIR

La pectina extraída de cáscara de naranja y la pectina comercial, se caracterizaron en un espectrofotómetro Thermo Scientific FTIR Nicolet™ iS™ 50, para llevar a cabo su análisis de estas dos muestras fue necesario llevar aproximadamente 1 gramo en estado sólido (polvo), en el que se utilizó el modo reflectancia total atenuada (ATR), el intervalo del número de onda fue de 4000 a 400 cm⁻¹, a 60 scans. Del mismo modo para la película pectina/alginato fue necesario cortar una parte de esta, aproximadamente un cuadro de 4x4 mm para llevar a cabo su análisis, este se llevó a cabo bajo las mismas condiciones que la pectina extraída y la pectina comercial.

2.7 Caracterización de la pectina extraída y de la película mediante TGA

La pectina extraída de cáscara de naranja y la pectina comercial se caracterizaron en un equipo Setaram Labsys EVO 1110, se utilizaron muestras entre 5 y 7 mg. El análisis térmico se realizó de 34 a 600°C a una velocidad de 10°C/min. Se utilizó gas argón como vehículo inerte. Mientras que para la película pectina/alginate se necesitó cortar aproximadamente un cuadro de 1x1 cm, este análisis fue llevado bajo las mismas condiciones que la pectina extraída y la pectina comercial.

2.8 Análisis estadístico

Los resultados del grado de esterificación y contenido de metoxilo se expresan como media \pm desviación estándar.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

CAPÍTULO 3.

RESULTADOS

3.1 Grado de esterificación

Los resultados obtenidos de la cuantificación del grado de esterificación (DE %) se muestran en la tabla 6. La pectina comercial (PC) contiene un alto grado de esterificación, sin embargo, los resultados obtenidos son más bajos con respecto a la PE y esto se debe a su origen, grado de maduración, condiciones de extracción, tratamiento de la muestra y grado de pureza. Cabe destacar que ambas determinaciones para el grado de esterificación se realizaron por triplicado y bajo las mismas condiciones.

Tabla 6. Grado de esterificación de las pectinas.

Muestra	Ensayo 1 (%)	Ensayo 2 (%)	Ensayo 3 (%)	Media	Valor de referencia (%)
PE	96.17	96.94	96.61	96.57±0.38	*74 – 77
PC	72.79	78.60	77.90	76.44±3.17	

Los valores se expresan como la media ± la desviación estándar. *La PE y PC, se catalogan como pectinas de gelificación ultrarrápida, tomado de: Franco, 2015.

3.2 Grado de metoxilo (DM %)

En la tabla 7, se presentan los resultados de la cuantificación del grado de metoxilo (DM%). Este parámetro va a estar en función del estado de maduración de la cáscara, ya que irá decreciendo a medida que el fruto va madurando, además de ayudarnos a clasificar el grado de gelificación de la PC y PE. Cabe destacar, el 7% es límite para determinar si una pectina es de alto o bajo grado de metoxilo, por tanto, la PE y PC están dentro del rango de pectina de alto grado de metoxilo, sin embargo, la PC está en el límite, lo cual puede influir en su comportamiento.

Tabla 7. Resultado de los ensayos de grado de metoxilo

Muestra	Ensayo 1 (%)	Ensayo 2 (%)	Ensayo 3 (%)	Media	Valores de referencia (%)
PE	11.08	15.04	15.31	13.81±2.3	*7
PC	6.48	7.26	8.66	7.47±1.10	

Los valores se expresan como la media ± la desviación estándar. *7 % es el porcentaje para determinar si una pectina es de alto o bajo grado de metoxilo. Tomado de: Urango-Anaya *et al.*, 2018.

3.3 Análisis FTIR

3.3.1 Análisis FTIR de la pectina

En la figura 8 se muestran los espectros IR de los polvos de PE y PC en modo ATR. Los picos de mayor importancia en los espectros son los que se encuentran ubicados entre 1800 a 1550 cm^{-1} , específicamente en 1615 cm^{-1} que nos indica la presencia de los grupos ésteres (C=O), este pico es más intenso en la PE lo cual se corresponde con su mayor grado de esterificación en comparación con la PC, que tiene menor grado de esterificación (Cabarcas *et al.*, 2012) y en 1750 cm^{-1} , los cuáles indican la presencia de grupos carboxilos libres y esterificados, este alto grado de esterificación y metoxilo se confirma con el pico ubicado en 1034 cm^{-1} (Ramos-Alvarado *et al.*, 2020). Estos dos picos son de amplia importancia para identificar si las pectinas son de alto o bajo contenido de metoxilo, la intensidad de estos va a ser proporcional a su contenido de metoxilo y grado de esterificación. Con esto se confirma que los resultados obtenidos en espectro IR corresponde a lo realizado analíticamente. En la tabla 8 se presentan los picos de mayor importancia para la caracterización química de la pectina.

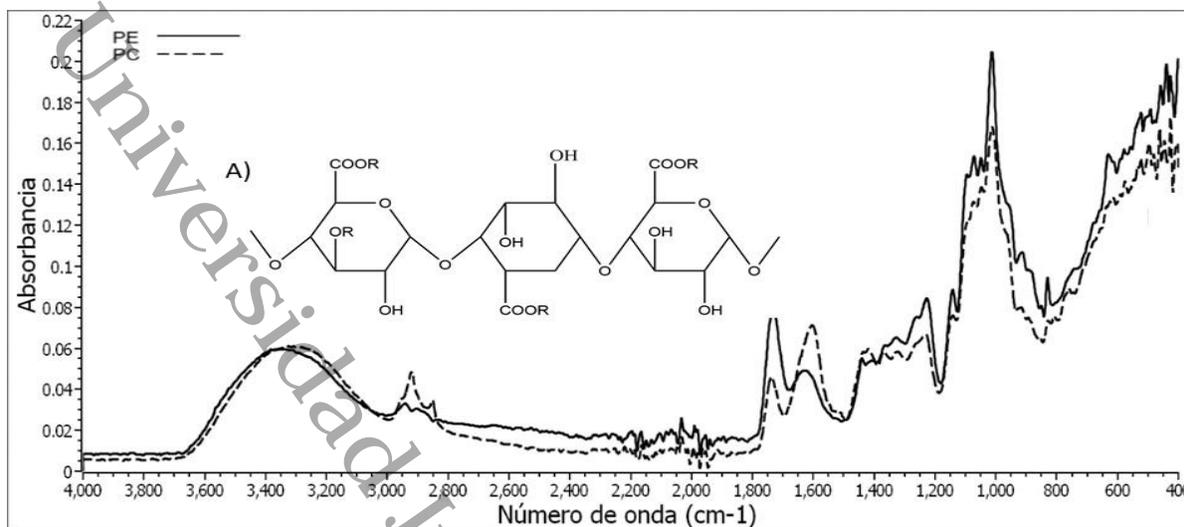


Figura 8. A) Estructura química de la pectina. Espectro IR de los polvos de PE y PC. El estudio se llevó a cabo en un espectrofotómetro Thermo Scientific FTIR Nicolet™ iS™ 50, usando el método ATR, con 1 gramo de muestra en intervalos de 4000 a 400 cm^{-1} .

Tabla 8. Picos de mayor importancia en pectinas

Pectina extraída	Pectina comercial	Valor de referencia
*1500-1650 cm^{-1}	*1500-1650 cm^{-1}	1500 – 1700 cm^{-1}
**1780-1700 cm^{-1}	**1675-1780 cm^{-1}	1700 – 1800 cm^{-1}
***1040-1030 cm^{-1}	***1040-1030 cm^{-1}	1034 cm^{-1}

Nota: Los puntos * y ** indican los picos característicos para la identificación de los grupos éster y carboxilos respectivamente. Tomado de: Cabarcas *et al.*, 2012. El punto *** indica la confirmación del alto grado de metoxilo y esterificación, Tomado de: Ramos-Alvarado *et al.*, 2020.

3.2.1 Análisis FTIR de las películas

En la figura 9, se muestran los espectros IR de las películas. En ambas muestras se puede observar un hombro de 3700 a 3000 cm^{-1} relacionado con estiramientos OH; se puede apreciar en la muestra película pectina extraída-alginato (PeE-Alg) que sobresalen dos picos, uno en 2850 cm^{-1} y otro en 2935 cm^{-1} , los cuales están relacionados con las vibraciones de ésteres metílicos (Chakravartula *et al.*, 2019).

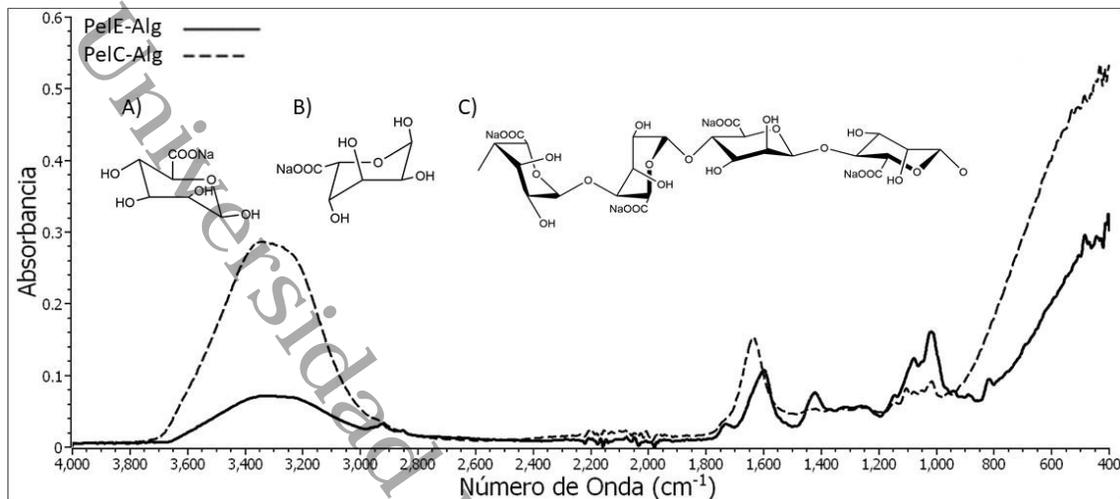


Figura 9. Espectro IR de PelC-Alg y PelE-Alg, A) Estructura del ácido manurónico, B) Estructura del ácido gulurónico, C) Estructura del alginato. El estudio se llevó a cabo en un espectrofotómetro Thermo Scientific FTIR Nicolet™ iS™ 50.

En la tabla 9 se exponen los números de onda de mayor importancia presentadas en las películas película pectina comercial-alginato (PelC-Alg) y PelE-Alg, en estas se identifican las interacciones entre ambos polímeros.

Tabla 9. Picos de mayor importancia en PelC-Alg Y PelE-Alg

PelC-Alg	PelE-Alg	Valor de referencia
*2950 cm ⁻¹	*2850 y 2935 cm ⁻¹	2934 cm ⁻¹ y 2884 cm ⁻¹
**1610 cm ⁻¹	**1640 cm ⁻¹	1630 cm ⁻¹
***1400 cm ⁻¹	***1400 cm ⁻¹	1400 cm ⁻¹

Nota: El punto * indica las vibraciones de esteres metílicos. Tomado de Chakravartula *et al.*, 2019. El punto ** y *** indica el estiramiento de hidrógeno y de los grupos COO⁻, respectivamente. Tomado de: Ngo *et al.*, 2018.

3.4 Análisis termogravimétrico (TGA)

La DTG representa la rapidez de la pérdida de la masa (% masa/°C) de los polvos y las películas, como lo han reportado Szekalska *et al.*, 2023 y Wang *et al.*, 2016.

3.4.1 Análisis TGA de pectina

En la figura 10, se presenta la curva de termogravimetría de las muestras de polvo de la PE y PC. Al analizar los termogramas de ambas muestras, se identifican 3 zonas de pérdidas de peso, que son pérdida de humedad, descomposición térmica de la pectina y formación de residuos carbonosos. Las muestras presentaron diferencias en los intervalos de temperatura de cada uno de los eventos térmicos, como se muestra en la tabla 10.

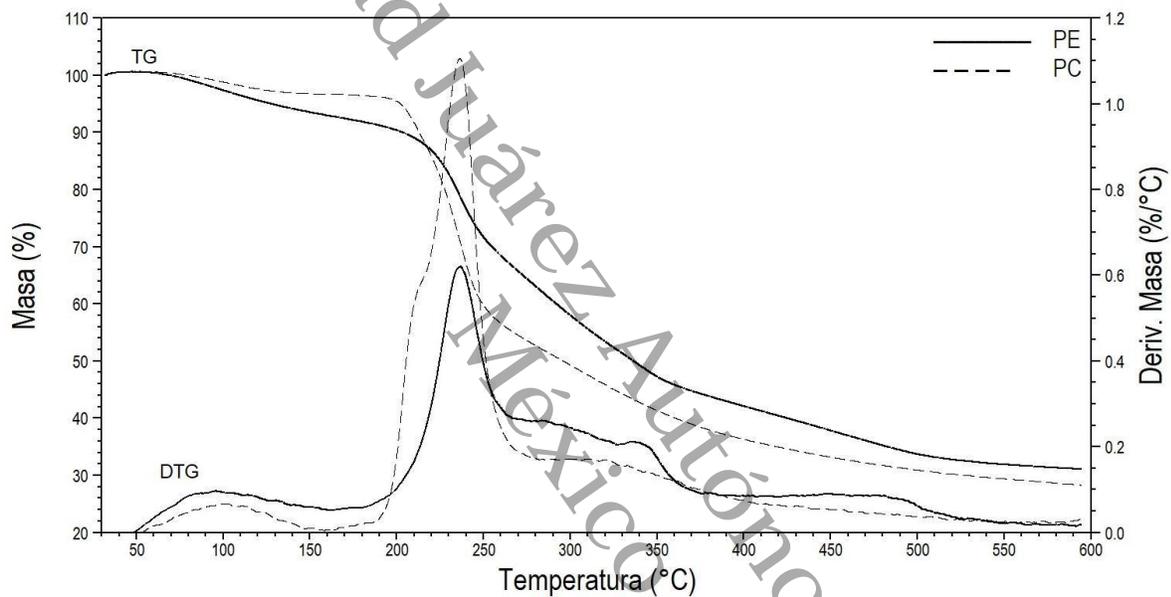


Figura 10. Termograma de PE y PC. Se hizo uso del equipo Setaram Labsys EVO 1110, se utilizaron muestras entre 5 y 7 mg. Con intervalos de 34 a 600°C, usando gas Argón como medio de arrastre.

La muestra PE presentó una temperatura de descomposición (T_d) mayor que la PC con una diferencia de 17.45 °C, lo cual indica una mayor estabilidad térmica de la PE. Por otra parte, la PE presentó 5.24 % más de humedad que la PC, es por ello por lo que en el termograma se aprecia un mayor decaimiento de esta muestra. La pérdida de humedad en ambas muestras se presenta en un intervalo de 70°C hasta 210°C. La segunda zona de pérdida asociada a la descomposición de la pectina se presenta en ambas muestras en intervalos que van desde los 230°C hasta 350°C y la última zona de pérdida inicia desde los 360°C hasta los 600°C, la cual se representa la formación de residuos carbonosos.

Tabla 10. Análisis de la pérdida de masa y eventos térmicos

Parámetro/muestra	Pectina extraída	Pectina comercial
Pérdida de masa		
Pérdida de humedad (%)	9.15 %	3.91%
Descomposición pectina (%)	45.90 %	40.91%
Carbonización (%)	13.94%	26.92%
Residuos	31.01%	28.26%
Eventos térmicos		
T _{on} (Onset)	192.81 °C	192.32°C
T _{off} (Offset)	366.88°C	266.19°C
T _d	219.42 °C	201.69 °C
V _{max}	0.6204 %/°C	1.102 %/°C
T _p	236.56°C	235.37°C

3.4.2 Análisis TGA de las películas

En la figura 11, se presenta el termograma de las muestras de película PelE-Alg y PelC-Alg. Se identifican 3 zonas de pérdida de peso que se relacionan con pérdida de humedad, descomposición de la pectina-alginato y la formación de residuos carbonosos.

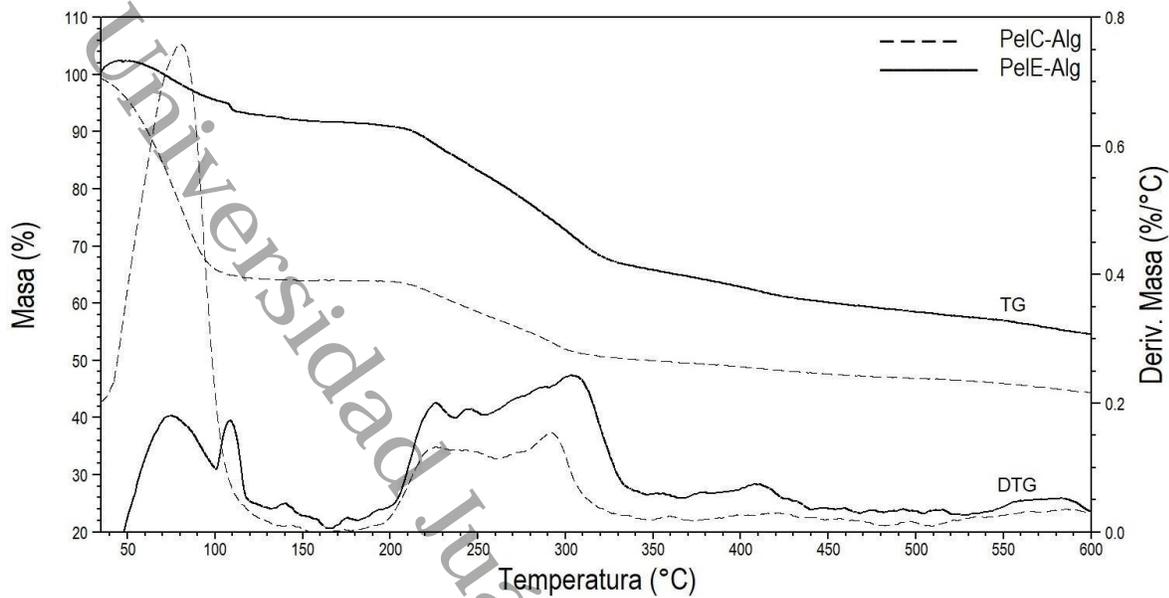


Figura 11. Termograma de PelC-Alg y PelE-Alg. Se hizo uso del equipo Setaram Labsys EVO 1110, se utilizaron muestras entre 5 y 7 mg. Con intervalos de 34 a 600°C, usando gas Argón como medio de arrastre.

En la figura 11, se observa que la muestra de PelC-Alg presentó un mayor contenido de humedad hasta por 29.48 %. Este evento en ambas muestras se presenta en un intervalo de 20°C hasta 100°C. Ambas películas resultaron con una estabilidad térmica similar, siendo la PelC-Alg solamente 2.5 °C más estable, el segundo evento térmico asociado a la descomposición de la mezcla de ambos polímeros (pectina, alginato) se presenta en intervalos que van desde 200°C hasta los 320°C, y el último evento se presenta desde los 330°C hasta los 600°C. Los intervalos de temperatura de cada uno de los eventos térmicos de las películas se muestran en la tabla 11.

Tabla 11. Eventos térmicos principales

Parámetro/Muestra	PeE-Alg	PeC-Alg
Pérdida de masa		
Pérdida de humedad (%)	4.42 %	33.90 %
Descomposición pectina y alginato (%)	27.32 %	14.48 %
Gasificación durante carbonización (%)	13.65 %	7.11 %
Cenizas (%)	54.61 %	44.51 %
Eventos térmicos		
T _{on} (Onset)	200.22 °C	199.71 °C
T _{off} (Offset)	333.22 %	316.63 °C
T _d	210.91 °C	208.41 °C
V _{max}	0.2418 %/°C	0.1576 %/°C
T _p	303.06 °C	294.22 °C

En la curva DTG de la figura 11 se puede observar el inicio y el final de la descomposición térmica de las películas, como la T_{on} y T_{off}, respectivamente; teniendo como resultado que la PeE-Alg presenta intervalos más amplios, los valores de V_{max} indican que la PeE-Alg presentó una mejor homogeneidad, así como también una mayor T_p. La PeC-Alg presentó un contenido mayor de agua del 29.47% con respecto a la PeE-Alg, esto sucede cuando una interacción entre el grupo carboxilo y los grupos polares del polímero se ven bloqueados, esto genera que una menor cantidad de grupos funcionales del polisacárido reaccionen con el agua (Kulig *et al.*, 2016).

Si se analiza el T_{on} de las películas este inicia a una temperatura mayor con respecto al del polímero lo que se relaciona con una atracción intermolecular de los enlaces de hidrógeno. Esto a su vez implica un alto número de grupos polares dando lugar la despolimerización térmica que involucran galacturano y restos metilados de pectina y fracciones de manuronato y glucuronato, estos últimos dos dan origen a los que se

conoce como “egg box” estructura compleja, resultando fuertemente enredado en la red tridimensional, resultando así estable para degradarse a temperaturas más altas.

3.5 Discusión

Los elevados porcentajes de esterificación de la pectina extraída (PE) se deben a que la materia prima con que se trabajó fue cáscara verde, la cual se ha reportado que contiene pectina con mayores grados de esterificación, comparada con la cáscara madura, en el estado verde de la materia prima predomina la protopectina, posteriormente conforme va avanzando su estado de maduración esta protopectina se desesterifica y hace que su grado de esterificación disminuya (Paredes & Cañizares, 2015). Se ha demostrado que entre mayor sea el pH durante la extracción, mayor será el grado de esterificación (Cabarcas *et al.*, 2012). El elevado grado de esterificación de nuestra pectina extraída la clasifica como una pectina de gelificación ultrarrápida, según lo reportado (Chasquibol-Silva *et al.*, 2008, Flores *et al.*, 2013). Por otra parte, los resultados del grado de esterificación de la PC la clasifican como una pectina de gelificación rápida.

Por otro lado, se observa que la muestra PE resultó ser de alto grado de metoxilo, ya que posee un contenido mayor al 7% que es el valor de referencia para este tipo de pectinas (Urango-Anaya *et al.*, 2018), mientras que la muestra PC presentó un valor cercano al límite por lo que podemos considerarla como de bajo grado de metoxilación. El grado de metoxilo va a disminuir en medida que esté presente una enzima llamada pectinesterasa, esta enzima corta el radical metoxilo de la cadena de ácido galacturónico, lo que causa que los altos grados de metoxilo vayan disminuyendo a medida que la materia prima vaya madurando (Paredes & Cañizares, 2015). Las propiedades fisicoquímicas de la pectina van a estar en función del grado de metoxilo, una de ellas es la gelificación que se debe a la interacción hidrofóbica entre los grupos metoxilados y a la formación de puentes de hidrógeno intra e intermoleculares a pH bajo (Chasquibol-Silva & Morales-Gomero, 2010). El grado de metoxilo depende de ciertas características del polímero, como por ejemplo su composición química ya que contiene distintos tipos de polisacáridos (Morris, 2000).

Con respecto al análisis espectroscópico, se observa una banda ancha entre 3600 a 3000 cm^{-1} en ambas muestras, lo cual está relacionado con el estiramiento de los grupos $-\text{OH}$. Entre 3000 a 2850 cm^{-1} se presentan los estiramientos del grupo CH ; por otra parte, de 1700 a 1500 cm^{-1} se encuentra el estiramiento del grupo $\text{C}=\text{O}$ del ácido galacturónico; en los picos ubicados entre 1200 a 1100 cm^{-1} se muestra estiramiento del grupo $\text{C}-\text{O}$ (Betancur *et al.*, 2022; Júnior *et al.*, 2022). La región de 3000 a 2900 cm^{-1} , es una buena manera de identificar si una pectina es de alto o bajo contenido de metoxilo, ya que se muestra el grupo $\text{O}-\text{CH}_3$, sin embargo, la banda de hidroxilo es ancha, por lo tanto, se enmascaran en los espectros. Otra manera de relacionar el alto o bajo contenido de metoxilo de la pectina es a partir de su grupo carbonilo ya que entre más intenso se muestre en el espectro, mayor será su contenido de metoxilo (Santos *et al.*; 2020). El pico mostrado en 1740 cm^{-1} , representa el estiramiento $\text{C}=\text{O}$ de los ésteres alifáticos de la pectina. Alrededor de 1600 cm^{-1} se presenta un pico en PeE-Alg, mientras que en PeC-Alg este se encuentra corrido hasta 1650 cm^{-1} , este pico se encuentra asociado con las vibraciones simétricas del grupo COO^- . En 1400 cm^{-1} se presenta un pico en PeE-Alg que se relaciona con las vibraciones asimétricas del grupo COO^- ; por otro lado, en la PeC-Alg este pico no se aprecia debido a la baja presencia de los grupos COO^- (Ngo *et al.*, 2018; Shahzad *et al.*, 2019; Júnior *et al.*, 2022). Los cambios de ondas en los espectros de las películas de los dos materiales, presentarán enlaces de hidrógeno más fuertes que los de material puro (Makaremi *et al.*, 2019). La matriz está compuesta de ácidos, esto influye en el espectro IR ya que la banda correspondiente a los Ácidos carboxílicos se intensifica, es decir las bandas se traslapan y hacen que estas se ensanchen al punto de ser casi imperceptible la banda de los ésteres ubicada entre 1200 a 950 cm^{-1} . Es por ello que en la PeE-Alg aún es perceptible debido a que la PE contiene un mayor grado de esterificación, con respecto a la PC.

En el DTG de la figura 10 se puede observar el inicio y final de la descomposición térmica de la pectina, como la T_{on} y la T_{off} , respectivamente; presentando un intervalo más amplio en la muestra PE. Los valores de V_{max} indican que la muestra PC presentó mayor homogeneidad, mientras que ambas presentaron una T_p muy similar. El polvo para PE es térmicamente más estable con respecto al polvo PC debido a que el polvo PE contiene un alto peso molecular. En un rango de 240 a 350°C se presenta un pico que indica la

presencia de productos volátiles, y a la degradación de la pectina que principalmente se llevó a cabo por la descomposición pirolítica y descarboxilación (Szekalska *et al.*, 2023). De igual modo ambas muestras presentan un T_p y T_{on} , similar que nos indica que tienen un proceso de descomposición parecido. La segunda zona de pérdida de la pectina se debe a la descomposición pirolítica de la pectina, posteriormente inicia la degradación del ácido galacturónico, para dar lugar a la descarboxilación del grupo ácido, lo que conlleva a la tercera zona de pérdida de peso que da lugar a la formación de productos gaseoso y la obtención de los residuos carbonosos (Wang *et al.*, 2016). Por otra parte, en el DTG de la figura 11 se puede observar el inicio y el final de la descomposición térmica de las películas, como la T_{on} y T_{off} , respectivamente; teniendo como resultado que la PeE-Alg presenta intervalos más amplios, los valores de V_{max} indican que la PeE-Alg presentó una mejor homogeneidad, así como también una mayor T_p . La PeC-Alg presentó un contenido mayor de agua del 29.47% con respecto a la PeE-Alg, esto sucede cuando una interacción entre el grupo carboxilo y los grupos polares del polímero se ven bloqueados, esto genera que una menor cantidad de grupos funcionales del polisacárido reaccionen con el agua (Kulig *et al.*, 2016). Si se analiza el T_{on} de las películas este inicia a una temperatura mayor con respecto al del polímero lo que se relaciona con una atracción intermolecular de los enlaces de hidrógeno. Esto a su vez implica un alto número de grupos polares dando lugar la despolimerización térmica que involucran galacturano y restos metilados de pectina y fracciones de manuronato y glucuronato, estos últimos dos dan origen a los que se conoce como “egg box” estructura compleja, resultando fuertemente enredado en la red tridimensional, resultando así estable para degradarse a las temperaturas más altas.

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Se obtuvo una pectina de gelificación ultrarrápida, con altos grado de metoxilo y esterificación, haciéndolas ideales para la elaboración de películas de bioplástico en combinación con alginato. Además, el análisis estructural y térmico tanto de la pectina PE, PC, y de las películas PeE-Alg y PeC-Alg permitió realizar las comparaciones pertinentes, obteniéndose un espectro IR similar entre ambos espectros de PC y PE, con ligeros movimientos debido a la naturaleza de ambos polímeros, mientras que su estudio

térmico reveló cuál de las dos muestras es más estable. Por otro lado, las películas PelC-Alg y PelE-Alg reveló que las interacciones del grupo COO⁻ y el ion Ca²⁺ mejoró la estabilidad térmica de las mismas, lo que lo convierte en un candidato para la obtención de bioplásticos. La combinación entre ambos polímeros mostró una mejora en las interacciones de enlace de Hidrógeno.

Se considera la extracción de pectina utilizando distintos residuos agroindustriales típicos de la región como lo son piña, plátano, limón, cacao, etc. Además, a las películas que se obtengan se les sigue realizando pruebas microbiológicas, mecánicas, a tensión, esto implica una mejora en las características fisicoquímicas de los bioplásticos obtenidos. Así como también la extracción de pectina a distintos parámetros como pH, tiempo y temperatura para evaluar su grado de gelificación, contenido de metoxilo y grado de esterificación.

REFERENCIAS CITADAS

- Ahmad, M. M., Chauhan, K., Naz, A., & Nayeem, M. (2021). Antimicrobial and antioxidant activity of impregnated pectin and alginate based bio composite packaging material for fresh produce safety. *The Pharma Innovation*, 10(8), 262-272. <https://doi.org/10.22271/tpi.2021.v10.i8d.7176>
- Aldana, D. S., Contreras-Esquivel, J., Nevárez-Moorillón, G., & Aguilar, C. (2015). Caracterización de películas comestibles a base de extractos pécticos y aceite esencial de limón mexicano. *CyTA - Journal of Food*, 13(1), 17-25. <https://doi.org/10.1080/19476337.2014.904929>
- Angulo Arias, L. V., de Souza Silva, V., Augustus de Oliveira, R., & Matta Fakhouri, F. (2018). Caracterización de subproductos agroindustriales: naranja y maracuyá. *Ingeniería Y Región*, 20(1), 59-66. <https://doi.org/10.25054/22161325.1916>

- Ardila Ferreira S. (2007). *Pectinas: Aislamiento, Caracterización y Producción a Partir de Frutas Tropicales y de los Residuos de su Procesamiento Industrial*; Facultad de Ciencias, Departamento de Farmacia, Universidad Nacional de Colombia: Bogotá, Colombia,
- Atiweh, G., Mikhael, A., Parrish, C. C., Banoub, J., & Le, T. T. (2021). Environmental impact of bioplastic use: A review. *Heliyon*, 7(9), e07918. doi.org/10.1016/j.heliyon. 2021.e07918
- Avendaño-Romero, G., López-Malo, A., & Palou, E. (2013). Propiedades del alginato y aplicaciones en alimentos. *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos*, 7, 87–96.
- Barreto, G., PúaRosado, A. L., De Alba, D., & Pión, M. (2017). Extracción y caracterización de pectina de mango de azúcar (*Mangifera indica* L.). *Temas Agrarios*, 22(1), 77-84. https://doi.org/10.21897/rta.v22i1.918
- Basit, H. M., Ali, M., Shah, M. M., Shah, S. U., Wahab, A., Albarqi, H. A., Alqahtani, A. A., Walbi, I. A., & Khan, N. R. (2021). Microwave Enabled Physically Cross Linked Sodium Alginate and Pectin Film and Their Application in Combination with Modified Chitosan-Curcumin Nanoparticles. A Novel Strategy for 2nd Degree Burns Wound Healing in Animals. *Polymers*, 13(16), 2716. https://doi.org/10.3390/polym13162716
- Betancur, Bedolla. S., Gil, Amar. S., Rolando, Barrera. Z., Arriola, E., & Ardila, A. Alba. N. (2022). Escenario técnico y económico para la valorización integral a pequeña escala de residuos de naranja en Colombia. *Ingeniería*, 26(3), 367-380. https://doi.org/10.14483/23448393.17783

Blanco Chávez, I.Y., & Caballero, C.A. (2015) Propuesta de validación del método de espectroscopía infrarrojo para la cuantificación de grasas trans en margarina.

San Salvador, El Salvador: Facultad de Química y Farmacia, Universidad de El Salvador.

Cabarcas, E., Guerra, A., & Henao, C. (2012). *Extracción y caracterización de pectina a partir de cáscaras de plátano para desarrollar un diseño general del proceso de producción*. Biblioteca Digital Universidad de Cartagena. <https://hdl.handle.net/11227/109>

Campozano Mendoza Iris. R., & Riera, María Antonieta. (2022). Ácido poliláctico: una revisión de los métodos de producción y sus aplicaciones. Zenodo (CERN European Organization for Nuclear Research). <https://doi.org/10.5281/zenodo.6908007>

Chakravartula, S. S. N., Soccio, M., Lotti, N., Balestra, F., Rosa, M. D., & Siracusa, V. (2019). Characterization of Composite Edible Films Based on Pectin/Alginate/Whey Protein Concentrate. *Materials*, 12(15), 2454. <https://doi.org/10.3390/ma12152454>

Chasquibol-Silva, N., Arroyo-Benites, E., & Morales-Gomero, J. C. (2008). Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana. *Ingeniería Industrial*, 0(026), 175. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2008.n026.640>

- Chasquibol Silva, N., & Morales Gomero, JC (2010). Contribución al estudio del proceso de gelación de la pectina del níspero de la sierra. *Ingeniería Industrial*, (28), 157-176
- Chirivi Torres, N. y Palencia Suarez, G. J. (2019) Evaluación del proceso de obtención de una biopelícula utilizando pectina extraída enzimáticamente de la cáscara de naranja valenciana (Trabajo de grado). Fundación Universidad de América. Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.11839/7625>
- Cury R, K., Aguas M, Y., Martínez M, A., Olivero V, R., y Chams Ch, L. (2017). Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*, 9(S1), 122–132. <https://doi.org/10.24188/recia.v9.nS.2017.530>
- Da Costa Nunes Farihna.J.P. (2018). Bioplásticos compostáveis na economia circular (Doctoral dissertation). Universidad de Lisboa. Repositorio UL. [https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/34951/3/ULFBA_TES1157_Jo%C3%A3o Costa_Disserta%C3%A7%C3%A3o-de-Mestrado-%20Vers%C3%A3o-com-Correc%C3%A7%C3%B5es.pdf](https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/34951/3/ULFBA_TES1157_Jo%C3%A3o%20Costa_Disserta%C3%A7%C3%A3o-de-Mestrado-%20Vers%C3%A3o-com-Correc%C3%A7%C3%B5es.pdf)
- Del Rosario Moncayo Luján, M., Munguía, A. R., & Inungaray, M. L. C. (2018). Aprovechamiento de subproductos agronómicos. *TLATEMOANI Revista Académica de Investigación*, 9(29), 115-127. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7337182.pdf>
- Entonado Alejo, R. B. (2022). Conserva de naranja (*Citrus sinensis*) variedad tangelo en almíbar. <https://hdl.handle.net/20500.13028/3990>

- Espinal-Ruiz, M., Restrepo-Sánchez, L., & Narváez-Cuenca, C. (2016). Effect of pectins on the mass transfer kinetics of monosaccharides, amino acids, and a corn oil-in-water emulsion in a Franz diffusion cell. *Food Chemistry*, 209, 144-153. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.04.046>
- Flores, R. B., Mariños, D. C., Rodríguez, N. B., & Rodríguez, D. S. (2013). Optimization of the conditions of pectin extraction from lemon rind french (*Citrus medica*) using response surface methodology. *Agroindustrial Science*, 77-89. <https://doi.org/10.17268/agroind.science.2013.02.01>
- Franco Zegada Vanesa Y. (2015). EXTRACCIÓN DE PECTINA DE RESIDUOS DE CÁSCARA DE NARANJA POR HIDRÓLISIS ÁCIDA ASISTIDA POR MICROONDAS (HMO). *Revista Investigación & Desarrollo*, 15(1), 65-76. <https://doi.org/10.23881/idupbo.015.1-6i>
- Fredi, G., & Dorigato, A. (2021). Recycling of bioplastic waste: A review. *Advanced Industrial And Engineering Polymer Research*, 4(3), 159-177. <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2021.06.006>
- García Quiñonez Alma. V. (2015). Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz. Escuela Especializada en Ingeniería ITCA – FEPADE.
- Hurtado, A., Selgas, R., & Aroca, Á. S. (2020). El alginato y sus inmensas aplicaciones industriales. *Nereis Interdisciplinary Ibero-American Journal Of Methods Modelling And Simulation*, 12, 137-149. https://doi.org/10.46583/nereis_2020.12.573
- Hurtado García Violeta. (2021). Desarrollo de una base de datos de pigmentos históricos mediante espectroscopía infrarroja y colorimetría. Universidad de Valladolid. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/58343>

- Júnior, L. M., Fozzatti, C. R., Jamróz, E., Vieira, R. P., & Alves, R. M. V. (2022). Biopolymer-Based Films from Sodium Alginate and Citrus Pectin Reinforced with SiO₂. *Materials*, 15(11), 3881. <https://doi.org/10.3390/ma15113881>
- Koenig, J. (1999). *Spectroscopy of Polymers*. Países Bajos: Elsevier Science.
- Kulig, D., Zimoch-Korzycka, A., Jarmoluk, A., & Marycz, K. (2016). Study on Alginate–Chitosan Complex Formed with Different Polymers Ratio. *Polymers*, 8(5), 167. <https://doi.org/10.3390/polym8050167>
- López, J. Á. S., Li, Q., & Thompson, J. P. (2010). Biorefinery of waste orange peel. *Critical Reviews In Biotechnology*, 30(1), 63-69. <https://doi.org/10.3109/07388550903425201>
- Makaremi, M., Yousefi, H., Cavallaro, G., Lazzara, G., Goh, C. B. S., Lee, S. M., Solouk, A., & Pasbakhsh, P. (2019). Safely Dissolvable and Healable Active Packaging Films Based on Alginate and Pectin. *Polymers*, 11(10), 1594. <https://doi.org/10.3390/polym11101594>
- Mamani Crispín P.L., Ruiz Caro R & Veiga M. D. (2012). Usos Farmacéuticos y Aplicaciones Terapéuticas. *Anales de la Real Academia de Farmacia*, Madrid, España, vol. 78, no. 1, pp. 82-97.
- Montes, D., & Durán Ramírez, M. F. (2006). *Manual del ingeniero de alimentos*. Ed Grupo Latino.
- Morris, G. (2000). The effect of the degree of esterification on the hydrodynamic properties of citrus pectin. *Food Hydrocolloids*, 14(3), 227-235. [https://doi.org/10.1016/s0268-005x\(00\)00007-2](https://doi.org/10.1016/s0268-005x(00)00007-2)

- Ngo, T. M. P., Dang, T. M. Q., Tran, T. X., & Rachtanapun, P. (2018). Effects of Zinc Oxide Nanoparticles on the Properties of Pectin/Alginate Edible Films. *International Journal Of Polymer Science*, 2018, 1-9.
<https://doi.org/10.1155/2018/5645797>
- Núñez Andrade Itzel G. (2022). Uso de pectina y alginato de sodio como agentes gelificantes en la elaboración de mermelada de jamaica y evaluación de su efecto en los parámetros de calidad. <http://hdl.handle.net/20500.11799/113187>
- Páez, G., Marín, M., MármoI, Z., & Ferrer, J. (2005). Obtención y caracterización de pectina a partir de la cáscara de parchita (*Passiflora edulis f. flavicarpa Degener*). *Revista de la Facultad de Agronomía*, 22(3), 241-251.
- Pagán & Gilabert Jordi (1996). Degradación enzimática y características físicas y químicas de la pectina del bagazo de melocotón. En TDX (Tesis Doctorals en Xarxa). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=7240>
- Paredes, J., Hernández, R., & Cañizares, A. (2015). Efecto del grado de madurez sobre las propiedades fisicoquímicas de pectinas extraídas de cascos de guayaba (*Psidium guajava L.*). *Idesia*, 33(3), 35-41. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292015000300006>
- Piqué, Teresa M., & Vázquez, Analía. (2012). Uso de Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR) en el estudio de la hidratación del cemento. *Concreto y cemento. Investigación y desarrollo*, 3(2), 62-71.
- Price, D. M., Hourston, D. J., & Dumont, F. (2000). Thermogravimetry of Polymers. *Encyclopedia Of Analytical Chemistry*.
<https://doi.org/10.1002/9780470027318.a2037>

- Prime, R. B., Bair, H. E., Vyazovkin, S., Gallagher, P. K., & Riga, A. (2009). Thermogravimetric Analysis (TGA). Wiley, 241-317. <https://doi.org/10.1002/9780470423837.ch3>
- Ramos-Alvarado, M. M., Cadenas-González, M. T., Bolio-López, G. I., Leo-Avelino, G., Maciel-Cerda, A., Castañeda-Castañeda, C., & Ramos-Valencia, J. J. (2020). Biofilms based on pectin from orange peel (*Citrus sinensis*): Physical, chemical and structural characterization. *Agroindustrial Science*, 10(3), 273-278. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2020.03.08>
- Riera, M. A. (2020). OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE ALMIDÓN DE MAÍZ (*Zea mays* L.). *Revista Colón Ciencias Tecnología y Negocios*, 7(1), 1-11. <https://doi.org/10.48204/j.colonciencias.v7n1a1>
- Rivera-Lopez, S., Perales-Salvador, A., Del Valle-Sanchez, M., & Caamal-Cauich, I. (2020). Panorama de la producción y comercialización de naranja en México. *Agro Productividad*, 13(7). <https://doi.org/10.32854/agrop.vi.1614>
- Santos, E. E., Amaro, R. C., Bustamante, C. C. C., Guerra, M. H. A., Soares, L. C., & Froes, R. E. S. (2020). Extraction of pectin from agroindustrial residue with an ecofriendly solvent: use of FTIR and chemometrics to differentiate pectins according to degree of methyl esterification. *Food Hydrocolloids*, 107, 105921. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105921>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Agroindustria, motor de desarrollo. 2017, consultado el 10/07/2024, disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/agroindustria-motor-de-desarrollo>

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. 2021 El mango, producto estrella en México., consultado el 23 de marzo de 2023, disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-mango-producto-estrella-en-mexico>

Secretaría de Desarrollo Agropecuario Forestal y Pesca. Naranja (2023). Consultado el 08/07/2024, disponible en línea: <https://campotabasco.gob.mx/?agricola=naranja>,

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2023). Panorama agroalimentario. Consultado el 09/07/2023, disponible en línea: <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/panorama-agroalimentario-258035>

Siracusa, V., Romani, S., Gigli, M., Mannozi, C., Cecchini, J., Tylewicz, U., & Lotti, N. (2018). Characterization of Active Edible Films based on Citral Essential Oil, Alginate and Pectin. *Materials*, 11(10), 1980. <https://doi.org/10.3390/ma11101980>

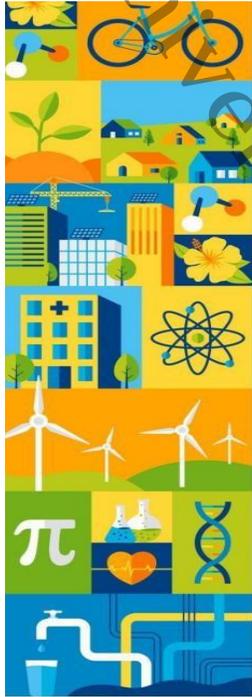
Shahzad, A., Khan, A., Afzal, Z., Umer, M. F., Khan, J., & Khan, G. M. (2018). Formulation development and characterization of cefazolin nanoparticles-loaded cross-linked films of sodium alginate and pectin as wound dressings. *International Journal Of Biological Macromolecules*, 124, 255-269. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.11.090>

Szekalska, M., Czajkowska-Kośnik, A., Maciejewski, B., Misztalewska-Turkowicz, I., Wilczewska, A. Z., Bernatoniene, J., & Winnicka, K. (2023). Mucoadhesive Alginate/Pectin Films Crosslinked by Calcium Carbonate as Carriers of a Model Antifungal Drug—Posaconazole. *Pharmaceutics*, 15(10), 2415. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15102415>

- Teresa, G. C. M., Mónica, C. S., & De Valladolid Escuela de Ingenierías Industriales, U. (2021). *Obtención de pectina mediante extracción asistida por microondas*. Universidad de Valladolid. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/47728>
- Thakur, B. R., Singh, R. K., Handa, A. K., & Rao, M. A. (1997). Chemistry and uses of pectin — A review. *Critical Reviews In Food Science And Nutrition*, 37(1), 47-73. <https://doi.org/10.1080/10408399709527767>
- Urango-Anaya, K. J., Ortega-Quintana, F. A., Vélez-Hernández, G., & Pérez-Sierra, Ó. A. (2018). Extracción Rápida de Pectina a Partir de Cáscara de Maracuyá (*Passiflora edulis flavicarpa*) empleando Microondas. *Información Tecnológica*, 29(1), 129-136. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642018000100129>
- Villani, C., Ceron, R. F. & Marino, J. (2010). Evaluación de la calidad de las pectinas cítricas obtenidas a partir de las cáscaras de naranja, de las variedades valencia y comun . en estado de maduración grado cinco (5). [Proyecto aplicado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD]. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/20489>
- Wang, W., Ma, X., Jiang, P., Hu, L., Zhi, Z., Chen, J., Ding, T., Ye, X., & Liu, D. (2016). Characterization of pectin from grapefruit peel: A comparison of ultrasound-assisted and conventional heating extractions. *Food Hydrocolloids*, 61, 730-739. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.06.019>

ANEXOS

4.1 Productos Académicos y Premios Obtenidos durante la elaboración de la tesis



El Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Tabasco

OTORGA LA PRESENTE

CONSTANCIA

A: Fernando Hernández Madrigal

Por su destacada participación con el Proyecto “Obtención y caracterización de un bioplástico a base de pectina extraída de la cáscara de naranja” en la Categoría de Ingenierías de Educación (Media-Superior/Superior) de la Feria Tabasqueña de Ciencias e Ingenierías 2022.

15 de Noviembre de 2022

Lic. Gerardo Humberto Arévalo Reyes
Director del CCYTET



El Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Tabasco

OTORGA LA PRESENTE

CONSTANCIA

A: Fernando Hernández Madrigal

Por haber obtenido el Segundo Lugar
En la Categoría Ingenierías de Educación Superior de la Feria Tabasqueña de Ciencias e Ingenierías 2022.

15 de Noviembre de 2022

Lic. Gerardo Humberto Arévalo Reyes
Director del CCYTET



UJAT
UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

ESTUDIO EN LA ACCIÓN EN LA FE



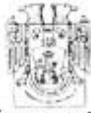
OTORGA LA PRESENTE

CONSTANCIA

Fernando Hernández Madrigal
Rafael Omar Saavedra Diaz
Roberto Hernández Córdoba

Por haber presentado el cartel: “Análisis de pectina extraída de cáscara de naranja, para la obtención de bioplástico: efectos sinérgicos con alginato”, en la categoría Experimental a nivel superior, dentro de las actividades del 4º Congreso Internacional de Química Sustentabilidad Energética y Ambiental “Dr. Mario Molina Henríquez”, modalidad virtual, llevado a cabo del 27 de noviembre al 01 de diciembre de 2023.

Dra. Hermicenda Pérez Vidal
Directora de la División Académica
de Ciencias Básicas



Dr. Abraham Gómez Rivera
Presidente del Comité Organizador

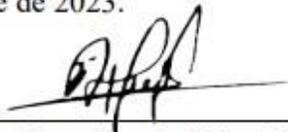
Cunduacán, Tabasco 01 de diciembre de 2023



OTORGA LA PRESENTE
CONSTANCIA

*Fernando Hernández Madrigal, Rafael Omar Saavedra Díaz
y Roberto Hernández Córdova.*

Por haber obtenido el **Segundo Lugar** en la categoría “**Cartel Experimental Nivel Superior**”, con el trabajo titulado: **Análisis de pectina extraída de cáscara de naranja, para la obtención de bioplástico: efectos sinérgicos con alginato.** Dentro de las actividades del “**4º Congreso Internacional de Química Sustentabilidad Energética y Ambiental “Dr. Mario Molina Henríquez”**”, modalidad virtual, llevado a cabo del 27 de noviembre al 01 de diciembre de 2023.



Dra. Hermicenda Pérez Vidal
Directora de la División Académica
de Ciencias Básicas



Dr. Abraham Gómez Rivera
Presidente del Comité Organizador

Cunduacán, Tabasco 01 de diciembre de 2023



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



Otorga la presente

CONSTANCIA

A: Fernando Hernández Madrigal

Por impartir la plática "Los Bioplásticos", ofrecida en la Semana de Divulgación de la Ciencia, en la Escuela Secundaria Técnica No. 25 de Cunduacán. Esta actividad, con una duración de 3 horas, se llevó a cabo el día viernes 13 de octubre de 2023.

Cunduacán, Tabasco, 22 de enero de 2024.

Dra. Hermicenda Pérez Vidal
Directora



DIVISIÓN ACADÉMICA DE
CIENCIAS BÁSICAS



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



División
Académica
de Ingeniería
y Arquitectura

Red **MEB**
Académica

Materiales,
Energía y
Biotecnología



3^{er} Coloquio
Nacional
Tendencias en el desarrollo
de los materiales: Hacia los
procesos sostenibles

Otorga la presente
CONSTANCIA

A: Fernando Hernández Madrigal, Rafael Omar Saavedra Díaz
y Roberto Hernández Córdoba

Por haber presentado el cartel denominado "ANÁLISIS DE PECTINA EXTRAÍDA DE CÁSCARA DE NARANJA (CITRUS SINENSIS) PARA OBTENER BIOPLÁSTICO: EFECTOS SINÉRGICOS CON ALGINATO". En el marco del 3er. Coloquio Nacional *Tendencias en el Desarrollo de los Materiales: Hacia los Procesos Sostenibles*, realizado los días 07 y 08 de septiembre del presente, a través de la plataforma del Aula Virtual MS TEAMS.

Cunduacán, Tabasco; a 08 de septiembre de 2023

Dra. Dora María Frías Márquez
DIRECTORA



DIRECCIÓN



Folio: CDCE/2023/2704

Pectin Extracted from Orange Peel (*Citrus Sinensis*) to Obtain Bioplastic: Synergistic Effects with Alginate

Hernández-Madriral, F.¹; Saavedra-Díaz R. O.¹; Hernández-Córdova, R.^{1*}

¹División Académica de Ciencias Básicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, C.P. 86690 Cunduacán, Tabasco, México.

*roberto.hernandez@ujat.mx

Abstract

Pectin, derived from agri-food industry waste, is an almost inexhaustible resource. This study aims to develop a bioplastic from pectin extracted from orange peel, combined with commercial alginate, and to investigate its physicochemical and thermal properties. Pectin was extracted using acid hydrolysis, and its degree of esterification and methoxyl content were determined through titration. The bioplastic film was obtained by ionic cross-linking method. Structural characterization was conducted with Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy, while the thermal properties of the pectin and the film were assessed via thermogravimetric analysis (TGA). The results indicated that pectin and alginate exhibited synergistic interactions through miscibility and ionic cross-linking. The bioplastic film demonstrated thermal stability, with a plateau in the range of 130 – 200 °C, indicating that the material possesses suitable properties for thermal processing.

Keywords: *Bioplastic film, Pectin TGA, Methoxy titration*

Recibido: 30 de mayo de 2024, Aceptado: 14 de agosto de 2024, Publicado: 30 de agosto de 2024

Figura 12. Portada del artículo publicado

4.2 Glosario

Ácido galacturónico: unidad estructural de las sustancias pécticas.

Albedo: tejido blanco, esponjoso y celulósico siendo el principal componente de la piel de ciertas frutas.

Biocombustible: comburente derivado de fuentes orgánicas como biomasa o residuos orgánicos.

Biodegradabilidad: proceso natural en el que un material por acción biológica cambia y pierde sus propiedades originales y a nivel químico las moléculas que lo conforma se convierten en formas más simples y estables.

Biomedicina: campo que fusiona la biología y la medicina para comprender procesos biológicos subyacentes a las enfermedades humanas.

Economía circular: sistema que busca reducir, reciclar y reutilizar todo aquello que se desecha y darle un segundo uso.

Enzima: es un catalizador que tiene la capacidad de acelerar un proceso de reacción biológica.

Espectroscopia: estudio de la interacción entre la radiación electromagnética y la materia, con absorción o emisión de energía radiante.

Flavedo: parte externa de los frutos típicos de los cítricos.

FTIR: técnica utilizada para obtener un espectro infrarrojo de absorción o emisión de un sólido, líquido o gas.

Gelificante: aditivo a base de proteínas y carbohidratos que forman una red tridimensional cuando se disuelven en soluciones líquidas.

Grado de esterificación: relación entre los grupos de ácido galacturónico esterificado y los grupos de ácido galacturónico total presentes en la pectina

Grupo hidroxilo: grupo funcional formado por un átomo de oxígeno y de hidrógeno, característico de los alcoholes, fenoles y ácidos carboxílicos, entre otros compuestos orgánicos.

Metoxilación: relación entre los grupos metoxilados y aquellos ácidos libres presentes en la cadena molecular de la pectina.

Pectina: polisacárido de origen vegetal que posee características de gelificación y biocompatibilidad.

Polímero: son macromoléculas compuestas por una o varias unidades químicas (conocidas como monómeros) que se repiten a lo largo de toda la cadena.

Residuo agroindustrial: tipo de biomasa generada por el procesamiento de materiales orgánicos provenientes de plantas, animales, frutas y verduras.

TGA: método de análisis térmico en el que la masa de una muestra se mide a lo largo del tiempo a medida que cambia la temperatura.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

4.3 Alojamiento de la Tesis en el Repositorio Institucional

Título de Tesis:	Obtención y caracterización de películas de bioplástico a base de pectina de cáscara de naranja y alginato
Autores de la Tesis:	Fernando Hernández Madrigal Dr. Roberto Hernández Córdova Dr. Rafael Omar Saavedra Díaz
ORCID:	Fernando Hernández Madrigal [0009-00008-0081-5329] Rafael Omar Saavedra Díaz [0009-0005-9434-2531] Roberto Hernández Córdova [0000-0001-9925-6505]
Resumen de la Tesis:	En México, Veracruz es el mayor productor de naranja con 2.5 millones de toneladas, mientras que Tabasco se ubica en el octavo lugar dentro de los productores con 95,581 toneladas, su exocarpio (cáscara), contiene grandes cantidades de pectina, además de otros aceites esenciales. La pectina es un polímero que representa una buena alternativa para la obtención de bioplásticos en combinación con el alginato. Hoy en día, debido a los altos niveles de contaminación presentes en la tierra, se está trabajando en la elaboración de productos bioplásticos los cuales sean biocompatibles y biodegradables. Los bioplásticos presentan sinergia con la

<p>Universidad Juárez México Autónoma</p>	<p>economía circular que pretenden darle un segundo uso a los desechos de la agroindustria, es por ello que en el presente trabajo se extrajo pectina de cáscara de naranja (<i>Citrus sinensis</i>) mediante el método de hidrólisis ácida y se homogenizó con alginato para obtener películas de bioplástico, evaluándolos estructural y térmicamente mediante estudios de FTIR y TGA, para ello fue necesario evaluar fisicoquímicamente la PE la cuál poseía un color amarillo y olor característico a naranja, misma que presentó un elevado contenido de metoxilo y grado de esterificación; 13.81 % y 96.57 % respectivamente. Por otro lado, se realizaron películas con PE y PC, en combinación con alginato las cuáles revelaron en su estudio FTIR que los espectros presentan bandas características de ambos polímeros, mientras que el estudio térmico reveló que la PeE-Alg es mucho más estable con respecto a la PeC-Alg, sin embargo, la PeE-Alg presentó una T_p mayor, esto indica que resiste mayores temperaturas, por tanto podemos decir que la PE a partir de la cáscara de naranja presenta buenas características estructurales y térmicas, que pueden ser empleadas para la obtención de productos bioplásticos.</p>
---	---

Palabras clave de la Tesis:	Pectina, alginato, naranja, contenido de metoxilo, grado de esterificación.
Referencias citadas:	<p>Ahmad, M. M., Chauhan, K., Naz, A., & Nayeem, M. (2021). Antimicrobial and antioxidant activity of impregnated pectin and alginate based bio composite packaging material for fresh produce safety. <i>The Pharma Innovation</i>, 10(8), 262-272. https://doi.org/10.22271/tpi.2021.v10.i8d.7176</p> <p>Aldana, D. S., Contreras-Esquivel, J., Nevárez-Moorillón, G., & Aguilar, C. (2015). Caracterización de películas comestibles a base de extractos pécticos y aceite esencial de limón mexicano. <i>CyTA - Journal Of Food</i>, 13(1), 17-25. https://doi.org/10.1080/19476337.2014.904929</p> <p>Angulo Arias, L. V., de Souza Silva, V., Augustus de Oliveira, R., & Matta</p>

	<p>Fakhouri, F. (2018). Caracterización de subproductos agroindustriales: naranja y maracuyá. <i>Ingeniería Y Región</i>, 20(1), 59–66. https://doi.org/10.25054/22161325. 1916</p> <p>Ardila Ferreira S. (2007). <i>Pectinas: Aislamiento, Caracterización y Producción a Partir de Frutas Tropicales y de los Residuos de su Procesamiento Industrial</i>; Facultad de Ciencias, Departamento de Farmacia, Universidad Nacional de Colombia: Bogotá, Colombia,</p> <p>Atiweh, G., Mikhael, A., Parrish, C. C., Banoub, J., & Le, T. T. (2021). Environmental impact of bioplastic use: A review. <i>Heliyon</i>, 7(9), e07918. doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07918</p>
--	--

<p>Universidad Juárez Autónoma de México</p>	<p>Avendaño-Romero, G., López-Malo, A., & Palou, E. (2013). Propiedades del alginato y aplicaciones en alimentos. <i>Temas selectos de Ingeniería de Alimentos</i>, 7, 87–96.</p> <p>Barreto, G., PúaRosado, A. L., De Alba, D., & Pión, M. (2017). Extracción y caracterización de pectina de mango de azúcar (<i>Mangifera indica</i> L.). <i>Temas Agrarios</i>, 22(1), 77-84. https://doi.org/10.21897/rta.v22i1.918</p> <p>Basit, H. M., Ali, M., Shah, M. M., Shah, S. U., Wahab, A., Albarqi, H. A., Alqahtani, A. A., Walbi, I. A., & Khan, N. R. (2021). Microwave Enabled Physically Cross Linked Sodium Alginate and Pectin Film and Their Application in Combination with Modified Chitosan-Curcumin Nanoparticles. A Novel Strategy for 2nd Degree</p>
--	--

<p>Universidad Juárez México.</p>	<p>Burns Wound Healing in Animals. <i>Polymers</i>, 13(16), 2716. https://doi.org/10.3390/polym13162716</p> <p>Betancur, Bedolla. S., Gil, Amar. S., Rolando, Barrera. Z., Arriola, E., & Ardila, A. Alba. N. (2022). Escenario técnico y económico para la valorización integral a pequeña escala de residuos de naranja en Colombia. <i>Ingeniería</i>, 26(3), 367-380. https://doi.org/10.14483/23448393.17783</p> <p>Blanco Chávez, I.Y., & Caballero, C.A. (2015) Propuesta de validación del método de espectroscopía infrarrojo para la cuantificación de grasas trans en margarina.</p>
---------------------------------------	---

<p style="text-align: center; color: gray; font-size: 2em; opacity: 0.5; transform: rotate(-45deg);"> Universidad Juárez Autónoma de Tabasco México. </p>	<p>San Salvador, El Salvador: Facultad de Química y Farmacia, Universidad de El Salvador.</p> <p>Cabarcas, E., Guerra, A., & Henao, C. (2012). <i>Extracción y caracterización de pectina a partir de cáscaras de plátano para desarrollar un diseño general del proceso de producción</i>. Biblioteca Digital Universidad de Cartagena. https://hdl.handle.net/11227/109</p> <p>Campozano Mendoza Iris. R., & Riera, María Antonieta. (2022). Ácido poliláctico: una revisión de los métodos de producción y sus aplicaciones. Zenodo (CERN European Organization For Nuclear Research). https://doi.org/10.5281/zenodo.6908007</p> <p>Chakravartula, S. S. N., Soccio, M., Lotti, N., Balestra, F., Rosa, M. D., &</p>
---	--

<p style="text-align: center; color: gray; font-size: 2em; opacity: 0.5; transform: rotate(-45deg);"> Universidad Juárez Autónoma de México </p>	<p> Siracusa, V. (2019). Characterization of Composite Edible Films Based on Pectin/Alginate/Whey Protein Concentrate. <i>Materials</i>, 12(15), 2454. https://doi.org/10.3390/ma12152454 </p> <p> Chasquibol-Silva, N., Arroyo-Benites, E., & Morales-Gomero, J. C. (2008). Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana. <i>Ingeniería Industrial</i>, 0(026), 175. https://doi.org/10.26439/ing.ind2008.n026.640 </p> <p> Chasquibol Silva, N., & Morales Gomero, JC (2010). Contribución al estudio del proceso de gelación de la pectina del níspero de la sierra. <i>Ingeniería Industrial</i>, (28), 157-176 </p> <p> Chirivi Torres, N. y Palencia Suarez, G. J. (2019) Evaluación del proceso de </p>
---	---

<p>Universidad Juárez Autónoma de México.</p>	<p>obtención de una biopelícula utilizando pectina extraída enzimáticamente de la cáscara de naranja valenciana (Trabajo de grado). Fundación Universidad de América. Retrieved from http://hdl.handle.net/20.500.11839/7625</p> <p>Cury R, K., Aguas M, Y., Martinez M, A., Olivero V, R., y Chams Ch, L. (2017). Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. <i>Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA</i>, 9(S1), 122–132. https://doi.org/10.24188/recia.v9.nS.2017.530</p> <p>Da Costa Nunes Farihna.J.P. (2018). Bioplásticos compostáveis na economia circular (Doctoral dissertation). Universidad de Lisboa. Repositorio UL.</p>
---	---

<p>Universidad Juárez Autónoma de México</p>	<p>https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/34951/3/ULFBA_TES1157_Jo%C3%A3oCosta_Disserta%C3%A7%C3%A3o-de-Mestrado-%20Vers%C3%A3o-com-Correc%C3%A7%C3%B5es.pdf</p> <p>Del Rosario Moncayo Luján, M., Munguía, A. R., & Inungaray, M. L. C. (2018). Aprovechamiento de subproductos agronómicos. TLATEMOANI Revista Académica de Investigación, 9(29), 115-127. https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7337182.pdf</p> <p>Entonado Alejo, R. B. (2022). Conserva de naranja (Citrus sinensis) variedad tangelo en almíbar. https://hdl.handle.net/20.500.13028/3990</p> <p>Espinal-Ruiz, M., Restrepo-Sánchez, L., & Narváez-Cuenca, C. (2016). Effect of pectins on the mass transfer kinetics of monosaccharides,</p>
--	--

<p>Universidad Juárez México</p>	<p>amino acids, and a corn oil-in-water emulsion in a Franz diffusion cell. Food Chemistry, 209, 144-153. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.04.046</p> <p>Flores, R. B., Mariños, D. C., Rodríguez, N. B., & Rodríguez, D. S. (2013). Optimization of the conditions of pectin extraction from lemon rind french (Citrus medica) using response surface methodology. Agroindustrial Science, 77-89. https://doi.org/10.17268/agroind.science.2013.02.01</p> <p>Franco Zegada Vanesa Y. (2015). EXTRACCIÓN DE PECTINA DE RESIDUOS DE CÁSCARA DE NARANJA POR HIDRÓLISIS ÁCIDA ASISTIDA POR MICROONDAS (HMO). Revista Investigación & Desarrollo, 15(1), 65-76.</p>
--------------------------------------	---

<p>Universidad Juárez México</p>	<p>https://doi.org/10.23881/idupbo.015.1-6i</p> <p>Fredi, G., & Dorigato, A. (2021). Recycling of bioplastic waste: A review. <i>Advanced Industrial And Engineering Polymer Research</i>, 4(3), 159-177. https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2021.06.006</p> <p>García Quiñonez Alma. V. (2015). Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz. Escuela Especializada en Ingeniería ITCA – FEPADE.</p> <p>Hurtado, A., Selgas, R., & Aroca, Á. S. (2020). El alginato y sus inmensas aplicaciones industriales. <i>Nereis Interdisciplinary Ibero-American Journal Of Methods Modelling And Simulation</i>, 12, 137-149. https://doi.org/10.46583/nereis_2020.12.573</p>
--------------------------------------	---

<p>Universidad Juárez Autónoma de Tabasco México.</p>	<p>Hurtado García Violeta. (2021). Desarrollo de una base de datos de pigmentos históricos mediante espectroscopía infrarroja y colorimetría. Universidad de Valladolid. https://uvadoc.uva.es/handle/10324/58343</p> <p>Júnior, L. M., Fozzatti, C. R., Jamróz, E., Vieira, R. P., & Alves, R. M. V. (2022). Biopolymer-Based Films from Sodium Alginate and Citrus Pectin Reinforced with SiO₂. <i>Materials</i>, 15(11), 3881. https://doi.org/10.3390/ma15113881</p> <p>Koenig, J. (1999). <i>Spectroscopy of Polymers</i>. Países Bajos: Elsevier Science.</p> <p>Kulig, D., Zimoch-Korzycka, A., Jarmoluk, A., & Marycz, K. (2016). Study on Alginate–Chitosan Complex Formed with Different Polymers.</p>
---	---

<p>Universidad Juárez Autónoma de México.</p>	<p>Ratio. <i>Polymers</i>, 8(5), 167. https://doi.org/10.3390/polym8050167</p> <p>López, J. Á. S., Li, Q., & Thompson, I. P. (2010). Biorefinery of waste orange peel. <i>Critical Reviews In Biotechnology</i>, 30(1), 63-69. https://doi.org/10.3109/07388550903425201</p> <p>Makaremi, M., Yousefi, H., Cavallaro, G., Lazzara, G., Goh, C. B. S., Lee, S. M., Solouk, A., & Pasbakhsh, P. (2019). Safely Dissolvable and Healable Active Packaging Films Based on Alginate and Pectin. <i>Polymers</i>, 11(10), 1594. https://doi.org/10.3390/polym11101594</p> <p>Mamani Crispín P.L., Ruiz Caro R & Veiga M. D. (2012). Usos Farmacéuticos y Aplicaciones Terapéuticas. <i>Anales de la Real Academia de</i></p>
---	--

<p>Universidad Juárez Autónoma de México</p>	<p>Farmacia, Madrid, España, vol. 78, no. 1, pp. 82-97.</p> <p>Montes, D., & Durán Ramírez, M. F. (2006). Manual del ingeniero de alimentos. Ed Grupo Latino.</p> <p>Morris, G. (2000). The effect of the degree of esterification on the hydrodynamic properties of citrus pectin. <i>Food Hydrocolloids</i>, 14(3), 227-235. https://doi.org/10.1016/s0268-005x(00)00007-2</p> <p>Ngo, T. M. P., Dang, T. M. Q., Tran, T. X., & Rachtanapun, P. (2018). Effects of Zinc Oxide Nanoparticles on the Properties of Pectin/Alginate Edible Films. <i>International Journal Of Polymer Science</i>, 2018, 1-9. https://doi.org/10.1155/2018/5645797</p> <p>Núñez Andrade Itzel G. (2022). Uso de pectina y alginato de sodio como agentes gelificantes en la</p>
--	---

<p>Universidad Juárez México.</p>	<p>elaboración de mermelada de jamaica y evaluación de su efecto en los parámetros de calidad. http://hdl.handle.net/20.500.11799/113187</p> <p>Páez, G., Marín, M., Mármol, Z., & Ferrer, J. (2005). Obtención y caracterización de pectina a partir de la cáscara de parchita (<i>Passiflora edulis</i> f. <i>flavicarpa</i> Degener). <i>Revista de la Facultad de Agronomía</i>, 22(3), 241-251.</p> <p>Pagan, & Gilabert Jordi (1996). Degradación enzimática y características físicas y químicas de la pectina del bagazo de melocotón. En TDX (Tesis Doctorals en Xarxa). https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=7240</p> <p>Paredes, J., Hernández, R., & Cañizares, A. (2015). Efecto del grado de madurez sobre las propiedades</p>
---------------------------------------	--

<p>Universidad Juárez Autónoma de México</p>	<p>fisicoquímicas de pectinas extraídas de cascos de guayaba (<i>Psidium guajava</i> L.). <i>Idesia</i>, 33(3), 35-41.</p> <p>https://doi.org/10.4067/s0718-34292015000300006</p> <p>Piqué, Teresa M., & Vázquez, Analía. (2012). Uso de Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR) en el estudio de la hidratación del cemento. <i>Concreto y cemento. Investigación y desarrollo</i>, 3(2), 62-71.</p> <p>Price, D. M., Hourston, D. J., & Dumont, F. (2000). Thermogravimetry of Polymers. <i>Encyclopedia Of Analytical Chemistry</i>. https://doi.org/10.1002/9780470027318.a2037</p> <p>Prime, R. B., Bair, H. E., Vyazovkin, S., Gallagher, P. K., & Riga, A. (2009). <i>Thermogravimetric Analysis (TGA)</i>. Wiley, 241-317.</p>
--	---

<p>Universidad Juárez Autónoma de México Tabasco</p>	<p>https://doi.org/10.1002/9780470423837.ch3</p> <p>Ramos-Alvarado, M. M., Cadenas-González, M. T., Bolio-López, G. I., Leo-Avelino, G., Maciel-Cerda, A., Castañeda-Castañeda, C., & Ramos-Valencia, J. J. (2020). Biofilms based on pectin from orange peel (<i>Citrus sinensis</i>): Physical, chemical and structural characterization. <i>Agroindustrial Science</i>, 10(3), 273-278.</p> <p>https://doi.org/10.17268/agroind.sc.i.2020.03.08</p> <p>Riera, M. A. (2020). OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE ALMIDÓN DE MAÍZ (<i>Zea mays</i> L.). <i>Revista Colón Ciencias Tecnología y Negocios</i>, 7(1), 1-11.</p> <p>https://doi.org/10.48204/j.colonciencias.v7n1a1</p> <p>Rivera-Lopez, S., Perales-Salvador, A., Del Valle-Sanchez, M., & Caamal-</p>
--	--

<p>Universidad Juárez Autónoma de México.</p>	<p>Cauich, I. (2020). Panorama de la producción y comercialización de naranja en México. <i>Agro Productividad</i>, 13(7). https://doi.org/10.32854/agrop.vi.1614</p> <p>Santos, E. E., Amaro, R. C., Bustamante, C. C. C., Guerra, M. H. A., Soares, L. C., & Froes, R. E. S. (2020). Extraction of pectin from agroindustrial residue with an ecofriendly solvent: use of FTIR and chemometrics to differentiate pectins according to degree of methyl esterification. <i>Food Hydrocolloids</i>, 107, 105921. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105921</p> <p>Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <i>Agroindustria, motor de desarrollo</i>. 2017, consultado el 10/07/2024, disponible en:</p>
---	--

<p>Universidad Juárez Autónoma de México</p>	<p>https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/agroindustria-motor-de-desarrollo</p> <p>Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. 2021 El mango, producto estrella en México., consultado el 23 de marzo de 2023, disponible en: https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-mango-producto-estrella-en-mexico</p> <p>Secretaría de Desarrollo Agropecuario Forestal y Pesca. Naranja (2023). Consultado el 08/07/2024, disponible en línea: https://campotabasco.gob.mx/?agricola=naranja,</p> <p>Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2023). Panorama agroalimentario. Consultado el 09/07/2023, disponible en línea: https://www.gob.mx/siap/acciones-</p>
--	--

<p>Universidad Juárez México.</p>	<p>y-programas/panorama- agroalimentario-258035</p> <p>Siracusa, V., Romani, S., Gigli, M., Mannozi, C., Cecchini, J., Tylewicz, U., & Lotti, N. (2018). Characterization of Active Edible Films based on Citral Essential Oil, Alginate and Pectin. <i>Materials</i>, 11(10), 1980. https://doi.org/10.3390/ma11101980</p> <p>Shahzad, A., Khan, A., Afzal, Z., Umer, M. F., Khan, J., & Khan, G. M. (2018). Formulation development and characterization of cefazolin nanoparticles-loaded cross-linked films of sodium alginate and pectin as wound dressings. <i>International Journal Of Biological Macromolecules</i>, 124, 255-269. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.11.090</p>
---------------------------------------	---

<p>Universidad Juárez México.</p>	<p>Szekalska, M., Czajkowska-Kośnik, A., Maciejewski, B., Misztalewska-Turkowicz, I., Wilczewska, A. Z., Bernatoniene, J., & Winnicka, K. (2023). Mucoadhesive Alginate/Pectin Films Crosslinked by Calcium Carbonate as Carriers of a Model Antifungal Drug—Posaconazole. <i>Pharmaceutics</i>, 15(10), 2415. https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15102415</p> <p>Teresa, G. C. M., Mónica, C. S., & De Valladolid Escuela de Ingenierías Industriales, U. (2021). <i>Obtención de pectina mediante extracción asistida por microondas</i>. Universidad de Valladolid. https://uvadoc.uva.es/handle/10324/47728</p> <p>Thakur, B. R., Singh, R. K., Handa, A. K., & Rao, M. A. (1997). Chemistry and uses of pectin — A review. <i>Critical</i></p>
---------------------------------------	--

<p>Universidad Juárez México</p>	<p><i>Reviews In Food Science And Nutrition</i>, 37(1), 47-73. https://doi.org/10.1080/10408399709527767</p> <p>Urango-Anaya, K. J., Ortega-Quintana, F. A., Vélez-Hernández, G., & Pérez-Sierra, Ó. A. (2018). Extracción Rápida de Pectina a Partir de Cáscara de Maracuyá (<i>Passiflora edulis flavicarpa</i>) empleando Microondas. <i>Información Tecnológica</i>, 29(1), 129-136. https://doi.org/10.4067/s0718-07642018000100129</p> <p>Villani, C., Ceron, R. F. & Marino, J. (2010). Evaluación de la calidad de las pectinas cítricas obtenidas a partir de las cáscaras de naranja, de las variedades valencia y comun . en estado de maduración grado cinco (5). [Proyecto aplicado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD]. Repositorio</p>
--------------------------------------	---

	<p>Institucional UNAD. https://repository.unad.edu.co/handle/10596/20489</p> <p>Wang, W., Ma, X., Jiang, P., Hu, L., Zhi, Z., Chen, J., Ding, T., Ye, X., & Liu, D. (2016). Characterization of pectin from grapefruit peel: A comparison of ultrasound-assisted and conventional heating extractions. <i>Food Hydrocolloids</i>, 61, 730-739. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.06.019</p>
--	--