

**Exploración bibliográfica del uso de pectina y almidón en la fabricación de empaques  
para alimentos**

Daniela Carolina Londoño Serpa

Luidina Margarita Rincón Hernández

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela Ciencias básicas, Tecnología e Ingeniería - ECBTI

Ingeniería de Alimentos

2024

**Exploración bibliográfica del uso de pectina y almidón en la fabricación de empaques  
para alimentos**

Daniela Carolina Londoño Serpa

Luidina Margarita Rincón Hernández

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar título de Ingeniero De Alimentos

Director(a)

Msc. Ing. Diana Edith Molina Soler

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela Ciencias básicas, Tecnología e Ingeniería - ECBTI

Ingeniería de Alimentos

2024

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del Jurado

## Dedicatoria

Primero y, ante todo, queremos agradecer a Dios por brindarnos la fuerza, la sabiduría y la constancia necesarias para completar esta monografía. Sin Su guía y bendiciones, este logro no habría sido posible.

A nuestras familias, que han sido nuestros pilares de apoyo absoluto a lo largo de todo este proceso. A nuestras madres, por su amor y sacrificio, a nuestros esposos, por su constante aliento y comprensión, y a nuestros hijos, por ser nuestra inspiración diaria. Su apoyo ha sido fundamental para alcanzar esta meta.

A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, por proporcionarnos el entorno académico y los recursos necesarios para crecer profesional y personalmente. Gracias a esta institución, hemos podido ampliar nuestros conocimientos y desarrollar habilidades que serán cruciales en nuestro futuro.

A nuestros docentes, en especial a la profesora Diana Edith Molina Soler, quien ha sido una fuente constante de inspiración y guía. Su dedicación y pasión por la enseñanza han dejado una huella imborrable en nuestra formación académica.

Finalmente, agradecemos a todos aquellos que de alguna manera contribuyeron a este proyecto, con su apoyo y colaboración durante este viaje. Las experiencias compartidas han enriquecido nuestras vidas de maneras que nunca olvidaremos.

A todos ustedes, gracias de corazón. Este logro también es suyo.

Daniela Carolina Londoño Serpa

Luidina Margarita Rincón Hernández

## Resumen

La pectina y el almidón son polisacáridos naturales prometedores para la elaboración de empaques eco-amigables, biodegradables y sostenibles para la industria alimentaria, sus propiedades funcionales los hacen ideales para reducir el impacto ambiental generado por los empaques tradicionales. Para evaluar su viabilidad en la fabricación de estos empaques, se realizó una revisión sistemática de la literatura científica publicada entre 2018 y 2024, enfocada en sus propiedades mecánicas y de barrera, que son fundamentales para evaluar su viabilidad en la fabricación de empaques, se examinaron sus fuentes y métodos de extracción. Los hallazgos más relevantes indican que la pectina ofrece un tiempo de degradación entre 2 a 6 meses y una buena compatibilidad con otros biopolímeros, mejorando así sus propiedades. Su capacidad de formación de películas es buena, con una permeabilidad al oxígeno de 0,2 a 0,5 cm<sup>3</sup>. Sin embargo, su resistencia a la tracción es baja, en el rango de 1 a 10 Mpa y la elongación de ruptura es inferior al 5%, pero su alto costo puede limitar su uso.

Por otra parte, el almidón se destaca por su rápida biodegradación, flexibilidad en la formación de películas y bajo costo, pero con ciertas limitaciones, como la sensibilidad a la humedad, una capacidad de absorción de agua superior al 50%, baja resistencia a la tracción (entre 5 a 20 Mpa) y la necesidad del uso de aditivos.

La combinación de pectina y almidón en la fabricación de empaques ha demostrado un equilibrio óptimo, superando algunas de las limitaciones individuales de cada material, siendo viables como materias primas debido a su abundancia, biodegradabilidad y funcionalidad.

**Palabras clave:** Almidón, Pectina; biopolímeros, Polisacáridos, Empaques.

## Abstract

Pectin and starch are promising natural polysaccharides for the production of eco-friendly, biodegradable and sustainable packaging for the food industry. Their functional properties make them ideal for reducing the environmental impact generated by traditional packaging. To evaluate their viability in the manufacture of these packages, a systematic review of the scientific literature published between 2018 and 2024 was carried out, focusing on their mechanical and barrier properties, which are essential to evaluate their viability in the manufacture of packaging. Their sources and extraction methods were examined. The most relevant findings indicate that pectin offers a degradation time between 2 to 6 months and good compatibility with other biopolymers, thus improving its properties. Its film-forming capacity is good, with an oxygen permeability of 0.2 to 0.5 cm<sup>3</sup>. However, its tensile strength is low, in the range of 1 to 10 Mpa and the elongation at break is less than 5%, but its high cost may limit its use.

On the other hand, starch stands out for its rapid biodegradation, flexibility in film formation and low cost, but with certain limitations, such as sensitivity to moisture, a water absorption capacity greater than 50%, low tensile strength (between 5 to 20 Mpa) and the need to use additives.

The combination of pectin and starch in the manufacture of packaging has demonstrated an optimal balance, overcoming some of the individual limitations of each material, being viable as raw materials due to their abundance, biodegradability, and functionality.

**Keywords:** Starch, Pectin; biopolymers, Polysaccharides, Packaging.

## Tabla de contenido

Introducción	12
Planteamiento del problema	14
Justificación	16
Objetivos	18
Objetivo General	18
Objetivos específicos	18
Metodología	19
Búsqueda de información sobre polisacáridos	19
Búsqueda de información sobre pectina	19
Búsqueda de información sobre estructura química de la pectina	20
Búsqueda de información sobre métodos de extracción de la pectina	20
Búsqueda de información sobre Almidón	20
Búsqueda de información sobre estructura química del Almidón	20
Búsqueda de información sobre métodos de extracción de la Almidón	21
Resultados Búsqueda Sistemática De Información	22
Marco conceptual y teórico	28
Polisacáridos	28
Biomateriales avanzados	31
Nanotecnología:	31
Alimentos funcionales	32

Pectina	33
Estructura química de la Pectina	34
Fuentes de extracción de la pectina	37
Métodos de extracción de la Pectina	39
Extracción de Pectina por Métodos químicos	42
Extracción de Pectina por Métodos Microbiológicos	42
Extracción de Pectina por Método Enzimático	43
Extracción de Pectina por Ultrasonido	45
Usos de la pectina	45
Almidón	48
Estructura Molecular del Almidón	49
Amilosa	50
Amilopectina	51
Métodos de Extracción del almidón	51
Fuentes Naturales donde se encuentra el almidón	55
Usos del almidón	57
Elaboración y Formulación de Empaques Fabricados con Pectina y/o Almidón	71
preparación de películas	73
Composición de la mezcla de pectina y/o almidón	73
Parámetros Fisicoquímicos	73
Propiedades Químicas y Físico Mecánicas Evaluadas en los Polímeros	78

Pectina y Almidón: Una alternativa sostenible para la industria alimentaria	80
Propiedades mecánicas y barrera	81
Conclusiones	118
Referencias	122

**Lista de Tablas**

<b>Tabla 1.</b> <i>Resultados Búsqueda sistemática de información</i>	23
<b>Tabla 2.</b> <i>Cantidad de publicaciones de creación de empaques con polisacáridos</i>	26
<b>Tabla 3.</b> <i>Fuentes de obtención de la pectina</i>	38
<b>Tabla 4.</b> <i>Métodos de extracción de la pectina</i>	39
<b>Tabla 5.</b> <i>Microorganismos productores de proto pectinasas (ppasas) con sus respectivas actividades enzimática</i>	44
<b>Tabla 6.</b> <i>Caracterización funcional de almidones Yuca, Maíz, Papa, Camote, Harina</i>	54
<b>Tabla 7.</b> <i>Caracterización química de almidones Yuca, Maíz, Papa, camote, harina</i>	55
<b>Tabla 8.</b> <i>Contenido de almidón en productos Naturales</i>	56
<b>Tabla 9.</b> <i>Propiedades gelificantes del almidón</i>	61
<b>Tabla 10.</b> <i>Propiedades emulsificantes del almidón</i>	62
<b>Tabla 11.</b> <i>Tabla comparativa empaques con empaques sintéticos-Bioempaques</i>	64
<b>Tabla 12.</b> <i>Etapas de elaboración de empaques</i>	72
<b>Tabla 13.</b> <i>Parámetros fisicoquímicos de la pectina y el almidón</i>	76
<b>Tabla 14.</b> <i>Estabilidad de empaques pectina</i>	77
<b>Tabla 15.</b> <i>Publicaciones de pico XRD</i>	81
<b>Tabla 16.</b> <i>publicaciones % pérdida de masa</i>	90
<b>Tabla 17.</b> <i>Elongación de rotura (%)</i>	97
<b>Tabla 18.</b> <i>Módulo de tracción (Mpa)</i>	107

## Lista de Figuras

<b>Figura 1.</b> <i>Elección de artículos para la realización de la monografía.</i>	25
<b>Figura 2.</b> <i>Publicaciones de documentos científicos utilizados.</i>	27
<b>Figura 3.</b> <i>Aplicaciones de polisacáridos en empaques alimentarios adaptado de (Yao et al., 2024).</i>	30
<b>Figura 4.</b> <i>Estructura molecular de la pectina (Freitas et al., 2021).</i>	36
<b>Figura 5.</b> <i>Estructura Molecular del almidón (Valdivieso &amp; Mollinedo, 2021).</i>	50
<b>Figura 6.</b> <i>Estructura de la amilosa (Valdivieso &amp; Mollinedo, 2021).</i>	50
<b>Figura 7.</b> <i>Estructura de la amilopectina (Valdivieso &amp; Mollinedo, 2021).</i>	51
<b>Figura 8.</b> <i>Diagrama de flujo proceso de elaboración de empaques a partir de pectina o almidón.</i>	71
<b>Figura 9.</b> <i>Picos XRD</i>	88
<b>Figura 10.</b> <i>Porcentaje pérdida de masa</i>	95
<b>Figura 11.</b> <i>Porcentaje de elongación de rotura</i>	106
<b>Figura 12.</b> <i>Módulo de tracción (Mpa).</i>	116

## Introducción

El aumento desenfrenado del uso de empaques plásticos procedentes del petróleo ha sido fundamental para la preservación y protección de alimentos, pero su degradabilidad limitada ha desencadenado graves consecuencias ambientales, desde la liberación de componentes tóxicos hasta la formación de micro y nano plásticos, poniendo en riesgo no solo el equilibrio ecológico, sino también la salud humana y animal. Esta problemática global, respaldada por cifras alarmantes que evidencian la angustiosa predominancia del plástico en la basura oceánica y su consumo masivo en la industria alimentaria, exige soluciones inmediatas y sostenibles.

En este contexto, Colombia enfrenta desafíos similares, con un consumo anual de plásticos que asciende a 1,250,000 toneladas y una eliminación masiva de desechos plásticos en ciudades como Bogotá (Polanco, 2021). Ante esta situación urgente, surge la necesidad de explorar alternativas como la pectina y el almidón en la fabricación de empaques biodegradables para la preservación de alimentos. La pectina, es un polisacárido presente en la pared celular de las plantas, y el almidón, una reserva de energía en diversas especies vegetales, representan opciones prometedoras gracias a su capacidad para formar matrices poliméricas que, además de ser biodegradables, pueden ofrecer propiedades de barrera y resistencia mecánica similares. Aunque la pectina y el almidón pueden ofrecer propiedades de barrera, estas son limitadas en comparación con los plásticos convencionales. En particular, el almidón es bastante permeable al agua y al vapor de agua, y la pectina también tiene ciertas limitaciones en este aspecto. Sin embargo, con modificaciones o combinaciones con otros materiales, se pueden mejorar estas propiedades (Polanco, 2021).

En la presente monografía se propone, por tanto, evaluar la viabilidad de utilizar pectina y almidón en la manufactura de empaques biodegradables, mediante una revisión

bibliográfica que parte desde su estructura molecular hasta sus propiedades técnicas, con el objetivo de mitigar los impactos negativos del plástico convencional y fomentar prácticas más responsables con el medio ambiente en el ámbito de la preservación de alimentos.

## Planteamiento del problema

Los empaques plásticos derivados del petróleo han asumido un papel preponderante en la preservación y protección de alimentos, gracias a su facilidad de manufactura, bajo costo, asequibilidad, resistencia al agua, naturaleza rígida, flexibilidad y propiedades mecánicas versátiles. Sin embargo, la baja degradabilidad de estos materiales ha conllevado a consecuencias ambientales significativas, incluyendo la liberación de componentes tóxicos y la formación de micro y nano plásticos. Este impacto adverso no solo afecta el equilibrio ecológico, sino que además representa una amenaza para la salud humana y animal, y contradice las demandas crecientes de sostenibilidad en la actualidad (Cortes Daza, 2022).

Las cifras estadísticas respaldan esta problemática. De manera alarmante, el plástico constituye el 85% del total de la basura que llega a los océanos, alcanzando 11 millones de toneladas métricas al año, según la ONU (2021). En el ámbito de los envases alimentarios, la (FAO, 2021) informa que durante el año 2019 se utilizaron 37,3 millones de toneladas de plástico, de las cuales 12,5 millones de toneladas fueron destinadas a la producción agrícola y ganadera. Estos datos revelan una realidad preocupante que demanda una acción inmediata para abordar la insostenibilidad de los materiales plásticos convencionales.

A nivel nacional, el contexto colombiano enfrenta también este desafío. Según MASP y Greenpeace Colombia (2019), el consumo anual de materiales plásticos en Colombia asciende a 1,250,000 toneladas, equivalente a un promedio de 24 kilogramos por habitante al año. En Bogotá, la capital del país, se eliminan 3,508 toneladas de desechos plásticos. Estas cifras subrayan la urgente necesidad de buscar alternativas sostenibles para la fabricación de envases, destacando la importancia de explorar alternativas como la pectina y el almidón en la manufactura de empaques biodegradables que mitigan estos impactos negativos y fomentan prácticas más responsables con el medio ambiente.

En este contexto crítico, surge el siguiente interrogante:

¿Cuál es la viabilidad de utilizar pectina y almidón, estudiados desde su estructura hasta sus propiedades técnicas, en la manufactura de empaques biodegradables destinados a la preservación de alimentos?

## Justificación

La crisis ambiental generada por los plásticos sintéticos, cuya descomposición puede extenderse hasta 400 años en los vertederos, se presenta como una amenaza central para la salud de los océanos y el equilibrio climático. La incineración de estos materiales los posiciona como el segundo mayor emisor de gases de efecto invernadero. Son tóxicos, no biodegradables y riesgosos para la salud (Butler et al., 2023). La baja tasa de reciclaje, apenas un 9% de los 9000 millones de toneladas de plástico producido a lo largo de la historia, resalta la magnitud del desafío en la gestión de residuos (Ministerio de Desarrollo y ambiente sostenible, 2021), instando a la imperativa necesidad de explorar envases alternativos y compostables.

Se proyecta que la fabricación mundial de plástico alcance 34.000 millones de toneladas acumuladas para 2050, generando anualmente aproximadamente 300 millones de toneladas de residuos plásticos. En este contexto, es esencial explorar biopolímeros renovables, como la pectina y el almidón, que puedan servir como materia prima principal para la fabricación de envases alimentarios, ofreciendo alternativas a los existentes. Estos polisacáridos, no solo son no tóxicos y biodegradables, sino que también son fácil de obtener (Arias, 2020).

La pectina, componente estructural de las paredes celulares de plantas, ha demostrado tener propiedades térmicas, mecánicas y de resistencia al agua, ser antimicrobiana y antioxidantes, reforzando su idoneidad para abordar los retos actuales en la fabricación de envases alimentarios. El almidón, por su parte, se destaca en la fabricación de películas de embalaje debido a su resistencia adecuada, baja absorción de humedad y alta transparencia. A pesar de ciertas limitaciones, como fragilidad y solubilidad en agua, que pueden superarse mediante la combinación con plastificantes o polímeros adicionales (Ortiz et al., 2018).

El propósito de esta revisión es presentar las propiedades de la pectina y el almidón, incluyendo su fuente, estructura, proceso de extracción, propiedades físicas y aplicaciones en la fabricación de envases para alimentos. Se espera que los conocimientos resultantes sean una base sólida para futuras indagaciones y desarrollos en el ámbito. Los destinatarios directos de este esfuerzo de investigación comprenden no solo a la industria alimentaria colombiana, que podría beneficiarse mediante la adopción de prácticas más sostenibles, sino también a la sociedad en su conjunto, al contribuir a la mitigación de la contaminación ambiental y la preservación de la salud pública mediante la implementación efectiva de pectina y almidón en la fabricación de envases para alimentos.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Explorar la viabilidad de la pectina y el almidón, para la manufactura de empaques biodegradables para alimentos, mediante revisión bibliográfica.

### **Objetivos Específicos**

Establecer el estado del arte en cuanto la estructura, las fuentes, las propiedades fisicoquímicas y los métodos de extracción de la pectina y el almidón, con el propósito de comprender su idoneidad en la producción de envases para los alimentos.

Examinar información derivada de bases de datos científicos, registrados entre los años 2018 y 2024, relacionados con las condiciones de elaboración y formulación de empaques fabricados con pectina y/o almidón, que permita cumplir su finalidad en la industria alimentaria.

Comparar las propiedades mecánicas y de barrera de los empaques biodegradable con los plásticos de origen fósil, que facilite conocer su viabilidad funcional.

## **Metodología**

Se consideraron una serie de criterios para la extracción de información. Se procedió a buscar específicamente artículos en español e inglés que estuvieran divulgados en el período comprendido entre los años 2016 y 2024. Estos artículos fueron rastreados en las bases de datos Scopus, Science Direct y Google Académico, haciendo uso de diferentes conectores booleanos. Además, se llevó a cabo una evaluación con criterios de exclusión predefinidos. Estos criterios determinaron que los artículos seleccionados desde mayo del año 2018 hasta mayo de 2024, deberán ser artículos de ingeniería tanto en el idioma inglés como español.

### **Búsqueda de información sobre polisacáridos**

La información acerca de los polisacáridos se realizó en Science Direct, Google académico y Scopus directamente con los criterios de búsqueda:

ALL (“polysaccharides”) AND (“Packaging”) OR (“food”)

ALL (“polisacáridos en alimentos”) AND (“Empaques”)

ALL (“polysaccharides in food”) AND (“packaging”)

### **Búsqueda de información sobre pectina**

La información acerca de los polisacáridos se realizó en Science Direct, Google académico y Scopus directamente con los criterios de búsqueda:

ALL (“pectin”) AND (“polysaccharide”) OR (“food”)

ALL (“pectin packaging”) AND (“biodegradable”) NOT(“Pharmaceutical”)

ALL (pectin packaging) AND (Food)

### **Búsqueda de información sobre estructura química de la pectina**

La información acerca de los polisacáridos se realizó en Science Direct, Google académico y Scopus directamente con los criterios de búsqueda:

ALL ("chemical structure") AND ("pectin")

ALL ("pectin") AND ("chemical composition") OR ("molecular composition")

ALL ("pectin") AND ("structure" OR "composition") AND ("chemical" OR "molecular")

### **Búsqueda de información sobre métodos de extracción de la pectina**

La información acerca de los polisacáridos se realizó en Science Direct, Google académico y Scopus directamente con los criterios de búsqueda:

"Extraction methods" AND "pectin"

"pectin extraction" OR "pectin extraction procedures"

("methods" OR "techniques") AND "extraction" AND "pectin"

### **Búsqueda de información sobre Almidón**

La información acerca de los polisacáridos se realizó en Science Direct, Google académico y Scopus directamente con los criterios de búsqueda:

"starch" AND ("physical properties" OR "chemical properties") OR "structure"

"uses of starch" OR "applications of starch"

"starch" AND ("properties" OR "characteristics") AND ("physical" OR "chemical")

### **Búsqueda de información sobre estructura química del Almidón**

La información acerca de los polisacáridos se realizó en Science Direct, Google académico y Scopus directamente con los criterios de búsqueda:

"chemical structure" AND "starch"

"chemical composition" AND "starch"

"starch" AND ("chemical formula" OR "molecular configuration")

### **Búsqueda de información sobre métodos de extracción de la Almidón**

La información acerca de los polisacáridos se realizó en Science Direct, Google académico y Scopus directamente con los criterios de búsqueda:

"extraction methods" AND "starch"

"starch extraction" OR "starch extraction procedures"

("methods" OR "techniques") AND "extraction" AND "starch"

## **Resultados Búsqueda Sistemática de Información**

La búsqueda sistemática que se realizó para indagar sobre el uso de pectina y almidón en la elaboración de envases destinados a alimentos abarcó un rango temporal, extendiéndose desde el año 2016 hasta mayo del 2024. Este periodo de investigación se erige para nutrir y enriquecer el contenido de nuestro estudio. A lo largo de este proceso de exploración, se recolectaron datos, cuyo alcance abarcó desde definiciones precisas hasta una revisión de los principales tipos de polisacáridos, con un enfoque particular en la pectina y el almidón. Además, se profundizó en los diferentes procesos empleados para su obtención, así como en los distintos métodos de extracción y sus aplicaciones en diversas industrias, particularmente en la fabricación de empaques para alimentos.

La recopilación de información se llevó a cabo mediante la consulta de fuentes diversas y confiables de las bases de datos especializadas Scopus, Google Scholar y Science Direct, seleccionadas cuidadosamente por su amplio alcance y la calidad de los recursos disponibles en ellas. con el objetivo de certificar la solidez y validez de los datos obtenidos. Estos datos se organizaron de manera minuciosa en una tabla dinámica, lo cual facilitó su visualización y análisis subsiguiente, permitiendo identificar tendencias, patrones y relaciones relevantes.

La creación de la Tabla 1, que presenta la información recopilada, se sustentó en las ecuaciones de búsqueda detalladas en nuestra metodología. Para llevar a cabo este estudio, Se prestó una atención particular a temas específicos, como las definiciones de los polisacáridos analizados, sus variados usos, los métodos detallados de extracción y sus diversas estructuras moleculares. Este enfoque tuvo como propósito garantizar la relevancia y precisión de los datos recopilados, así como su pertinencia para los objetivos de nuestro estudio.

**Tabla 1.***Resultados Búsqueda sistemática de información.*

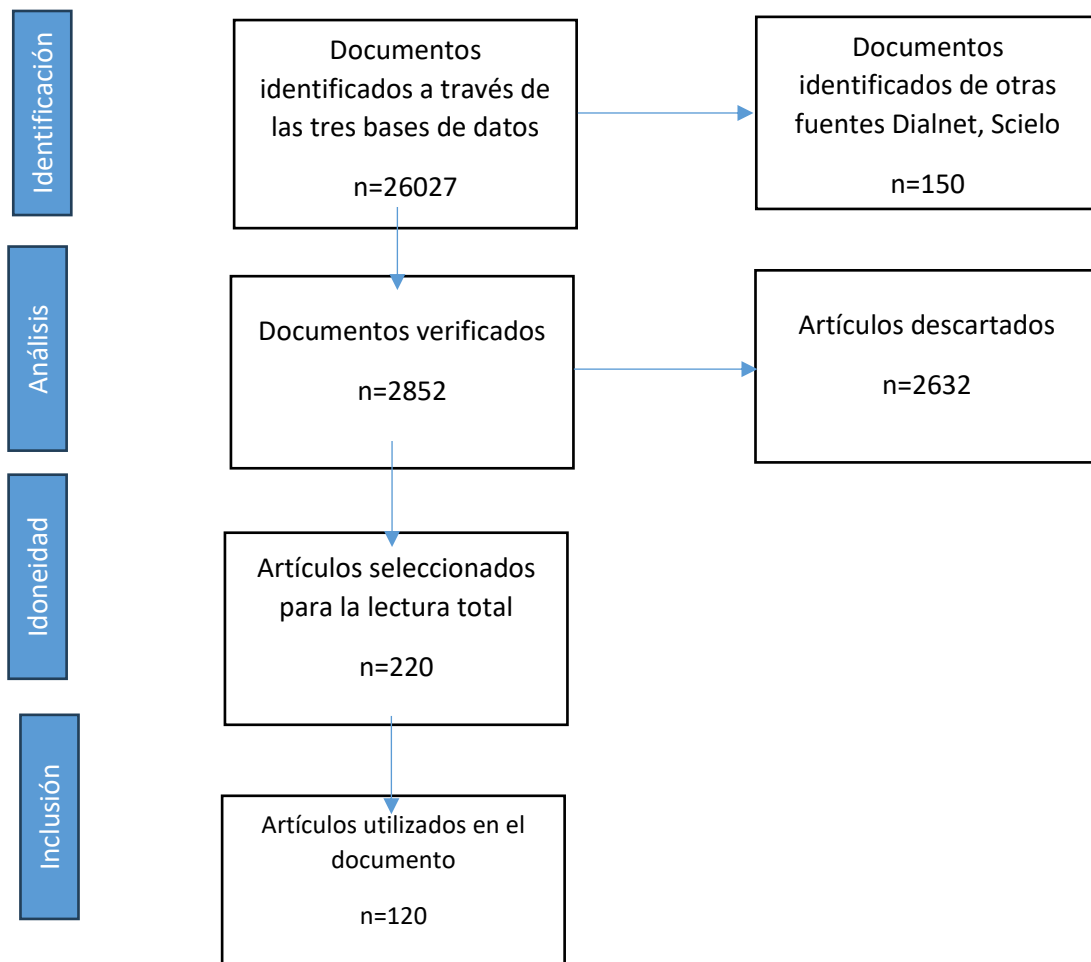
Ecuación de búsqueda	Scopus	Science Direct	Google Académico
ALL (“polysaccharides”) AND (“Packaging”) OR (“food”)	1605	2102	1330
ALL (“polisacáridos en alimentos”) AND (“Empaques”)	302	1	0
ALL (“polysaccharides in food”) AND (“packaging”)	27	1	4
ALL (“pectin”) AND (“polysaccharide”) OR (“food”)	1528	5956	1943
ALL (“pectin packaging”) AND (“biodegradable”) NOT(“Pharmaceutical”)	26	3	0
ALL (pectin packaging) AND (Food)	2	189	1441
ALL ("chemical structure") AND ("pectin")	19	24	49
ALL ("pectin") AND ("chemical composition") OR ("molecular composition")	126	75	215
ALL ("pectin") AND ("structure" OR "composition") AND ("chemical" OR "molecular")	95	26	253
"extraction methods" AND "pectin"	179	31	151
("methods" OR "techniques") AND "extraction" AND "pectin"	110	808	321
"starch" AND ("physical properties" OR "chemical properties") OR "structure"	185	1001	95

<b>"uses of starch" OR "applications of starch"</b>	41	1414	61
<b>"starch" AND ("properties" OR "characteristics") AND ("physical" OR "chemical")</b>	461	1356	1810
<b>"chemical structure" AND "starch"</b>	1	22	240
<b>"chemical composition" AND "starch"</b>	15	1308	1460
<b>"starch" AND ("chemical formula" OR "molecular configuration")</b>	0	203	11
<b>"extraction methods" AND "starch"</b>	10	152	216
<b>"starch extraction" OR "starch extraction procedures"</b>	9	18	152
<b>("methods" OR "techniques") AND "extraction" AND "starch"</b>	41	241	185

**Nota.** La tabla muestra los resultados obtenidos en Scopus, Science Direct y Google académico.

**Figura 1.**

*Elección de artículos para la realización de la monografía.*



**Tabla 2.**

*Cantidad de publicaciones de creación de empaques con polisacáridos 2018-2024.*

<b>Año</b>	<b>Cantidad de publicaciones de creación de empaques con polisacáridos</b>
<b>2016</b>	2
<b>2018</b>	10
<b>2019</b>	6
<b>2020</b>	16
<b>2021</b>	19
<b>2022</b>	21
<b>2023</b>	27
<b>2024</b>	19

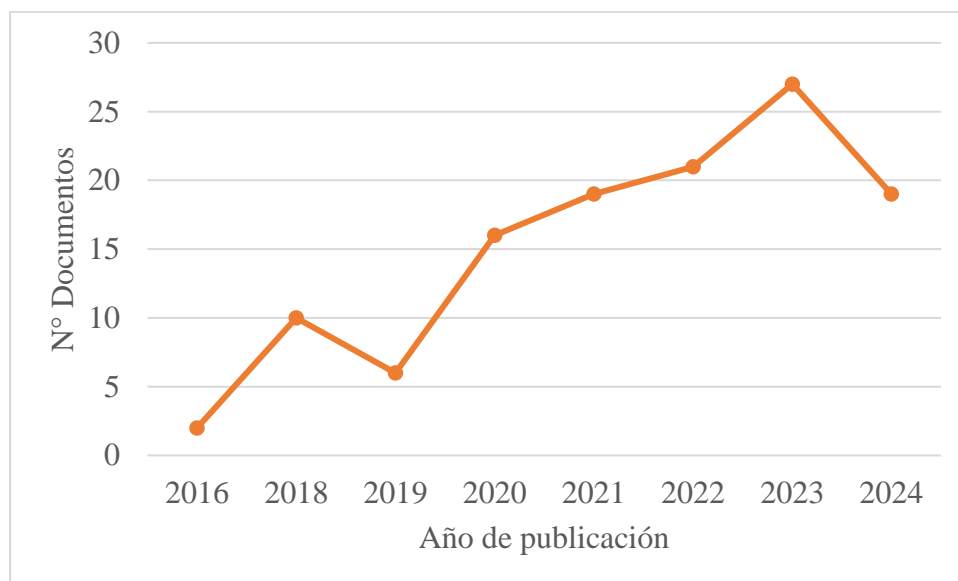
**Nota.** Representa los resultados derivados en Scopus, Science Direct y Google académico de las publicaciones de creación de empaques.

Al analizar la cantidad de publicaciones sobre la creación de envases con polisacáridos entre 2016 y 2024 se muestra una tendencia general al alza, con un crecimiento significativo a lo largo de los años. Desde 2018 hasta 2020, se observa un aumento progresivo en la cantidad de publicaciones, con un incremento notable de 2 a 16 publicaciones en ese período, lo que sugiere un progresivo interés en la investigación y desarrollo de envases basados en polisacáridos durante esos años. El año 2021 muestra un incremento considerable en comparación con los años anteriores, con un total de 19 publicaciones, posiblemente debido a avances tecnológicos, cambios en las políticas de investigación o una mayor demanda en la industria de envases por soluciones más sostenibles y biodegradables. El año 2022 continúa la tendencia al alza, con un total de 21 publicaciones, lo que indica una consolidación del interés en este campo y posiblemente un mayor enfoque en la optimización y aplicación práctica de los envases con polisacáridos. Sin embargo, en 2023 se registra el pico más alto en la cantidad de publicaciones, con un total de 27 artículos, lo que podría indicar una fase de apogeo en la investigación y desarrollo de envases basados

en polisacáridos, posiblemente impulsado por la creciente conciencia sobre la necesidad de soluciones sostenibles en la industria de envases. Finalmente, en 2024 se observa una disminución en la cantidad de publicaciones, con un total de 19 esto se atribuye al primer trimestre del año, finalmente se destaca que la mayor parte de las publicaciones son de países latinoamericanos.

**Figura 2.**

*Publicaciones de documentos científicos utilizados.*



Como se observa en la gráfica, en los años 2023-2024 se registra un crecimiento significativo en la publicación de estudios relacionados con la fabricación de empaques biodegradables basados en polisacáridos para la industria alimentaria. Este aumento sugiere una tendencia creciente en la búsqueda de alternativas sostenibles, específicamente en la implementación de películas biodegradables para empaques, con el objetivo de mitigar el impacto ambiental.

## Marco Conceptual y Teórico

### Polisacáridos

Los polisacáridos, son polímeros naturales, que destacan por su versatilidad, la cual deriva de su diversidad de propiedades químicas, físicas y funcionales. Estas propiedades son de vital importancia en los seres vivos, ya que los polisacáridos cumplen una amplia gama de funciones. Desde proporcionar estructura y almacenar energía hasta desempeñar roles más especializados, Los polisacáridos son fundamentales para la vida, ya que participan en procesos clave como el reconocimiento y la adhesión en células eucariotas, la activación de mecanismos de resistencia en las plantas y la formación de biopelículas en microorganismos (Jarpa, 2023).

Si bien los polisacáridos derivados de celulosa y almidones se utilizan ampliamente en las industrias como las de fibras, textiles, papel y alimentos, cada vez se descubre más evidencia que indica que ciertos grupos de polisacáridos poseen propiedades funcionales que pueden ser de utilidad en sectores industriales más especializados, tales como la biomedicina, la cosmética, lo farmacéutico y alimentario (Jarpa, 2023).

Es importante destacar que ciertos biopolímeros integran propiedades fisicoquímicas, como la habilidad para generar hidrogeles, micro y nanopartículas, con cualidades biológicas, como la adhesividad y mucoadhesividad. Estas particularidades hacen que dichos polisacáridos resulten especialmente interesantes para el desarrollo y diseño de materiales tanto en el ámbito de la ingeniería de la salud como en el de los empaques alimentarios (Goycoolea et al., 2018).

La continua investigación en este campo está revelando nuevas aplicaciones y posibilidades para los polisacáridos, lo que podría tener un impacto significativo en diversas industrias y en el desarrollo de soluciones innovadoras y sostenibles (Vera et al., 2020).

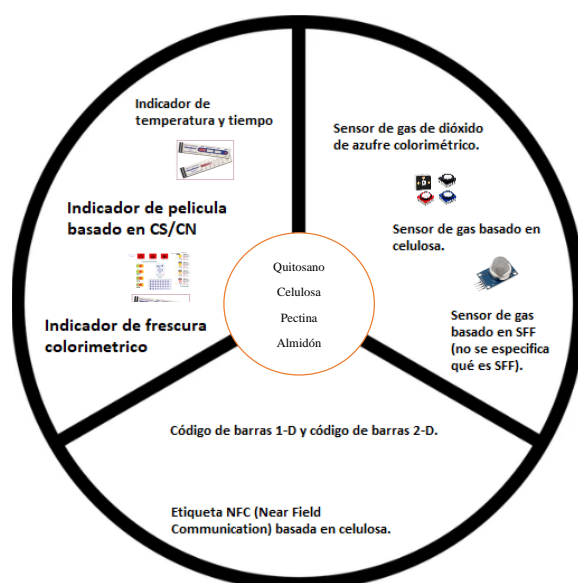
En los últimos años, la investigación y aplicación de materiales de empaques inteligentes hechos a base de polisacáridos han tenido un avance significativo (ver figura 3), pero a pesar de estos avances, existen varios retos que requieren de atención, como la sensibilidad a la humedad, las limitaciones en las propiedades mecánicas y la susceptibilidad a la contaminación microbiana la cual es una característica común en los materiales de origen natural; el estudio realizado por Yao et al. (2024) muestra un esfuerzo por abordar estas limitaciones dándonos a conocer los avances más significativos en el campo de los materiales de empaque con polisacáridos, abordando temas como los sistemas de empaques inteligentes, enfocado en los empaques con polisacáridos, así mismo, destaca las diversas tecnologías de monitoreo en la calidad alimentaria, mostrando que dichas tecnologías abarcan la medición de parámetros como lo son la temperatura, humedad, niveles de oxígeno, pH, contenido de humedad, indicadores de frescura y composición química, además, establece el papel de los polisacáridos en los diferentes sistemas de los empaques inteligentes para alimentos, mostrando su versatilidad y potencial. Este estudio también resalta los mecanismos de formación de las películas de polisacáridos, y los factores que influyen en su rendimiento, dando a conocer los aspectos físicos y químicos de la formación de enlaces cruzados entre las diferentes cadenas poliméricas, en si nos muestra las posibilidades y limitaciones de los materiales de empaques inteligente, elaborados con polisacáridos (Yao et al., 2024).

Por otra parte, Posada & Montes. (2021), indican que existen limitaciones en los polímeros biodegradables en los empaques para alimentos, donde la industria se enfrenta a varios desafíos, entre los desafíos se encuentran las propiedades fisicomecánicas de los

materiales, como la resistencia a la tracción, la flexibilidad. La permeabilidad al vapor de agua y la resistencia de impacto, aunque los polímeros como el PLA pueden mejorarse con refuerzos naturales como las fibras de palma o plátano, aun es necesario encontrar combinaciones optimas que establezcan las propiedades requeridas para la fabricación de dichos empaques, en este estudio los autores indican que la estabilidad térmica y la actividad antimicrobiana, pueden mejorarse con agentes como aceites esenciales, así mismo se muestra en el estudio que otra limitación es la permeabilidad y las propiedades de barrera mostrando que la incorporación de nano cristales de celulosa han mejorado la permeabilidad del vapor de agua y las propiedades de barrera de oxígeno, seguidamente, la incorporación de ciertos aditivos como el timol de compuestos PLA/Kenaf, pueden disminuir la resistencia a la tracción, para lo cual es limitada su aplicabilidad, de este modo aunque los polímeros biodegradables presentan muchas ventajas para los empaques en alimentos, existen muchas limitaciones con sus propiedades físicas, de barrera, de estabilidad costo y comparación de desempeño con materiales tradicionales.

### Figura 3.

*Aplicaciones de polisacáridos en empaques alimentarios adaptado de (Yao et al., 2024).*



## **Biomateriales avanzados**

Los polisacáridos están siendo investigados para su uso en la fabricación de biomateriales avanzados, como andamios para ingeniería de tejidos, suturas quirúrgicas biodegradables y dispositivos de liberación controlada de fármacos, así como en la industria alimentaria en la creación de empaques alimentarios sostenibles debido a sus propiedades biodegradables y biocompatibles. Estos biopolímeros, como el almidón, la celulosa y los alginatos, se utilizan para fabricar biopelículas y recubrimientos comestibles que mejoran la vida útil de los alimentos al proporcionar barreras eficaces contra el oxígeno, la humedad y los microorganismos, además. Su biocompatibilidad, capacidad para formar geles y biodegradabilidad los convierten en candidatos prometedores para aplicaciones biomédicas.

En empaques alimentarios se refieren a materiales innovadores derivados de fuentes biológicas como plantas, algas o microorganismos, diseñados para mejorar la seguridad y la sostenibilidad de los envases utilizados en la industria alimentaria. Estos materiales proporcionan propiedades como biodegradabilidad, barrera contra gases y humedad, resistencia mecánica y capacidad antimicrobiana, lo que contribuye a prolongar la vida útil de los alimentos y a reducir el sobrante. Además, su origen renovable y su capacidad para descomponerse de manera natural al final de su vida útil los hacen una alternativa prometedora a los materiales plásticos convencionales derivados del petróleo, ayudando a mitigar la contaminación ambiental (Acosta et al., 2023).

**Nanotecnología:** Los polisacáridos están siendo explorados en el campo de la nanotecnología para la producción de nanopartículas y nanomateriales con diversas aplicaciones, como agentes de liberación de fármacos, sistemas de entrega de genes, y recubrimientos antibacterianos y anticorrosivos, así mismo; La aplicación de nanotecnología en los envases alimentarios implica utilizar materiales y técnicas a una escala

extremadamente pequeña para mejorar las propiedades de los envoltorios utilizados en la industria alimentaria. Estos materiales nanoestructurados pueden proporcionar características como resistencia a los gases, propiedades antimicrobianas, liberación controlada de nutrientes o aromas, y sistemas de detección de frescura o contaminación, entre otros beneficios. Esta tecnología permite la creación de envases más efectivos y seguros, prolongando la frescura de los alimentos durante su almacenamiento y transporte, lo que potencialmente contribuye a reducir el desperdicio. No obstante, se deben abordar cuidadosamente los aspectos relacionados con la seguridad y la regulación en el uso de nanopartículas en contacto con alimentos dado que se considera un fenómeno invisible (Vera et al., 2020).

Los nanomateriales, se consideran nuevos alimentos es por ello que el parlamento europeo desde su reglamento 2015/2283, busca garantizar el buen uso y funcionamiento de estos nanomateriales, para asegurar y proteger la salud de los consumidores de este nuevo tipo de producto (Pérez, 2019).

### **Alimentos funcionales**

Los polisacáridos están siendo incorporados en alimentos funcionales y suplementos dietéticos debido a sus propiedades prebióticas, antioxidantes y moduladoras del sistema inmunológico. Se están estudiando para su uso en la formulación de productos destinados a mejorar la salud digestiva, cardiovascular y metabólica (Jarpa, 2023). En la industria alimentaria, los polisacáridos son empleados para desarrollar envases innovadores y funcionales que extienden la vida útil de los alimentos y los resguardan de influencias externas como la humedad, el oxígeno y la luz. Estos envoltorios suelen ser diseñados para liberar compuestos activos de manera controlada, como antioxidantes o conservantes naturales, mejorando así la calidad y seguridad de los alimentos. Además, algunos polisacáridos poseen propiedades de barrera que pueden limitar la migración de sustancias no

deseadas del envase al producto alimenticio. En sí, tanto los alimentos funcionales como los envases innovadores que hacen uso de polisacáridos ofrecen nuevas formas de promover la salud y el bienestar a través de la alimentación (Lara et al., 2022).

Los recientes avances en formación de películas y recubrimientos funcionales ofrecen beneficios para la salud, la incorporación de estos compuestos bioactivos como antioxidantes, antimicrobianos o prebióticos y sus propiedades ayudan a mejorar sus características, estas películas funcionales ofrecen nuevas oportunidades para el desarrollo de alimentos funcionales más saludables, seguros y sostenibles que aportan a la salud de los consumidores (Solano et al., 2018).

Los biopolímeros utilizados en la fabricación de películas biodegradables como el almidón y la pectina ofrecen ciertas características funcionales que pueden ser modificadas para mejorar la calidad, reducir el desperdicio y ofrecer ciertas características funcionales. Las tendencias e investigaciones actuales de películas biopoliméricas son nuevas oportunidades para la industria alimentaria que ofrecen una nueva visión de como estas películas ayudan a mejorar la seguridad, sostenibilidad y calidad de los envases y de los alimentos (López & Martínez, 2018).

### **Pectina**

La pectina contiene macromoléculas de tipo heteropolisacárido de alto peso molecular y componente fundamental de las paredes celulares de las plantas superiores, representando aproximadamente un tercio de su composición, en los últimos años, ha ganado gran interés debido a su versatilidad en aplicaciones en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica gracias a sus propiedades gelificantes, espesantes y estabilizantes que se derivan de sus propiedades fisicoquímicas y su capacidad de biodegradabilidad.

La pectina, como polisacárido de origen vegetal, presenta propiedades destacables en la gelificación y biocompatibilidad, lo que la convierte en un excipiente de interés en diversas formas farmacéuticas para controlar la liberación de sustancias activas, como constituyente de fibra dietaria, uso terapéutico, ingrediente en las formulaciones farmacéuticas y antidiarreicos, desintoxicantes, en insulina, pomadas y ungüentos. La pectina es usada como ingrediente funcional en la industria alimentaria (Rubiano et al., 2022).

La pectina es usada en elaboración de jaleas, mermeladas, helados y mayonesa como agente gelificante, estabilizante y emulgente, También es utilizada como sustitutivo de grasas o azúcares en productos que son bajos en calorías (Dalgo et al., 2024).

### **Estructura química de la Pectina**

Químicamente, las pectinas son heteropolisacáridos, es decir, una mezcla de polímeros ácidos y neutros con una estructura altamente ramificada. Su composición está dominada por residuos de ácido D-galacturónico enlazados por uniones  $\alpha$  (1  $\rightarrow$  4), y en el carbono 6 se encuentran grupos carboxilos que pueden estar metil-esterificados o permanecer libres. Cuando estos grupos carboxilos no están esterificados, pueden interactuar electrostáticamente con iones calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), formando la estructura llamada "caja de huevos". Esta conformación es esencial para las propiedades funcionales de la pectina, ya que le otorga la capacidad de gelificar en presencia de calcio, lo que resulta fundamental en diversas aplicaciones en las industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica (Benítez, 2022).

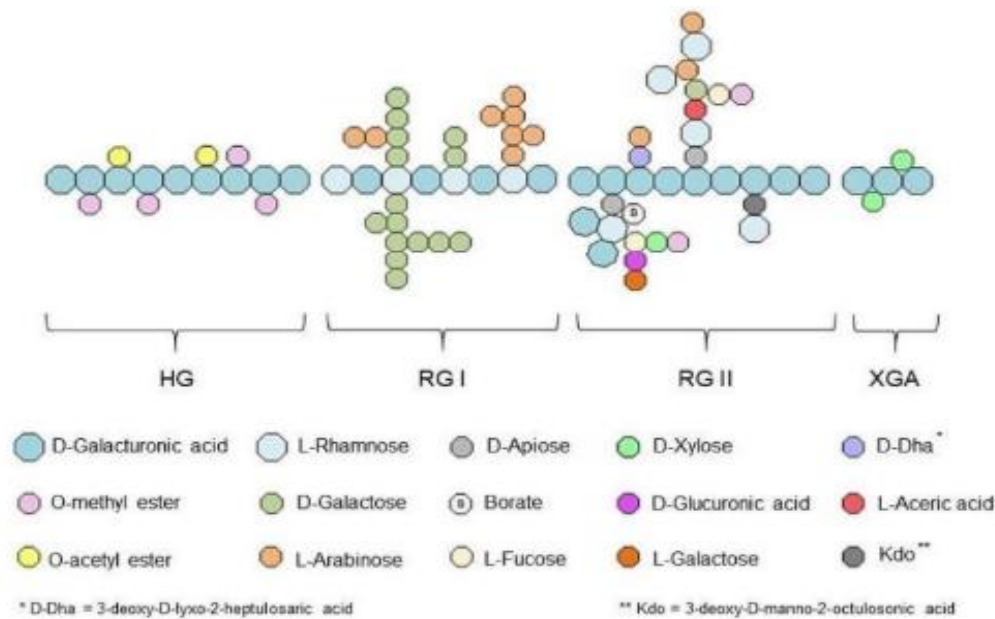
Por otro lado, las pectinas se clasifican principalmente en dos categorías según su grado de esterificación: pectinas de alto metoxilo (HM) y pectinas de bajo metoxilo (LM), además de otras variantes como las pectinas desmetiladas o moléculas anidadas. Las pectinas HM tienen un grado de metoxilación que varía entre el 60% y el 75%, mientras que las pectinas LM presentan un grado de metoxilación más bajo, entre el 20% y el 40%. Esta

diferencia afecta directamente la capacidad de formación de geles de cada tipo de pectina. Las pectinas de alto metoxilo (HM) requieren un pH cercano a 3 para formar geles. Estas pectinas son generalmente solubles en agua caliente y necesitan un dispersante, como la dextrosa, para evitar la formación de grumos durante el proceso de gelificación. En contraste, las pectinas de bajo metoxilo (LM) pueden gelificar independientemente del pH, pero requieren una cantidad controlada de iones de calcio u otros cationes divalentes. Debido a su capacidad versátil para formar geles, las pectinas LM son especialmente valoradas en aplicaciones farmacéuticas (Pacheco et al., 2022). Además, el tipo de gel resultante también depende de factores como la viscosidad, el peso molecular y la solubilidad. (Diez, 2021; Bogdanoff et al., 2023).

Así mismo, La pectina es un carbohidrato que contiene al menos un 65% de unidades de ácido galacturónico ( $C_6H_{10}O_7$ ) en su estructura (ver figura 4). Sus cadenas están formadas por anillos de este ácido, con un número que puede alcanzar varios cientos, aproximadamente 1,000, y tienen masas moleculares que varían entre 50,000 y 150,000 daltons. Cada anillo en la cadena posee un grupo carboxilo ( $-COOH$ ), que puede estar esterificado con metanol, formando ésteres metílicos ( $-COOCH_3$ ), o neutralizado por una base, completando así la estructura de la cadena, que puede incluir hasta cuatro anillos de ácido (Fustamante et al., 2019).

**Figura 4.**

*Estructura molecular de la pectina adaptado de (Freitas et al., 2021).*



Las pectinas estructuralmente forman polímeros de unidades de ácido D-Galacturónico (AGA) que se encuentran unidos entre sí y forman parte de la cadena principal de la pectina. Los ácidos se pueden encontrar parcialmente esterificados con grupos de metilo, en la cadena principal se encuentran intercalados residuos de ramnosa que puede generar irregularidades en la estructura, este polisacárido tiene cadenas laterales de monosacáridos como arabinosa y galactosa que contribuyen a la solubilidad y propiedades gelificantes. En las pectinas se pueden evidenciar diferentes tipos de estructuras debido a que varían según el método y fuente de extracción (Freitas et al., 2021).

La pectina es un polisacárido complicado, por lo que su caracterización estructural se realiza mediante diversas técnicas analíticas, como la espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), resonancia magnética nuclear, espectroscopia FT-Raman, cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC), espectrometría de masas con ionización por electropulverización (EZIMNS), espectrometría de masas por cromatografía de gases y electroforesis de gel de carbohidratos (PACE). Además, la pectina es susceptible a

modificaciones fisicoquímicas y enzimáticas, debido a la reactividad de sus distintos grupos funcionales. Estas modificaciones pueden influir en propiedades clave como el grado de esterificación, la carga frontal y el peso molecular, lo que abre nuevas posibilidades para aplicaciones innovadoras (Freitas et al., 2021).

### **Fuentes de extracción de la pectina**

La pectina es un heteropolisacárido que se localiza en la lamela media y pared celular de muchas plantas que contribuyen a la adhesión intercelular y a las propiedades mecánicas de la pared, su contenido varía entre las especies vegetales y grado de madurez en frutos inmaduros se encuentra como propectina insoluble en agua, durante su maduración es pectina soluble, y en la sobre maduración en ácidos pécticos que tienen menores propiedades gelificantes y espesantes (Molina Soler, 2016). En términos comerciales, la extracción de pectina se lleva a cabo principalmente a partir de cáscaras de cítricos (limón, naranja, toronja, lima), que representan aproximadamente el 85% de la producción total. El orujo de manzana también es una fuente importante, contribuyendo con alrededor del 14% de la producción comercial de pectina (Rubiano et al., 2022). Además, en menor proporción, se puede obtener pectina a partir de residuos en la industria azucarera (como la remolacha) y de la industria aceitera (semillas de girasol), entre otros recursos (Ver Tabla 3). Este enfoque en la obtención de pectina a partir de diversas fuentes contribuye a una gestión más sostenible de los recursos y a la exploración de nuevas aplicaciones para este polisacárido. Gracias a su bajo costo, amplia disponibilidad, biodegradabilidad, no toxicidad y biocompatibilidad la pectina ha captado recientemente la atención como un nuevo material potencial en la formación de películas comestibles, especialmente (Butler et al., 2023; Cajusol et al., 2022).

Colombia posee una ventaja significativa en la extracción de la pectina debido a su gran riqueza natural, sin embargo, como lo señala González et al (2023), la mayoría de la

pectina usada en las fábricas de alimentos en Colombia se importa desde países extractores de este carbohidrato como México, Brasil, Ecuador, Argentina, Costa rica, Bolivia y Chile (González et al., 2023).

**Tabla 3.**

*Fuentes de obtención de la pectina.*

<b>Fuente de obtención de la pectina</b>	<b>Contenido de pectina (peso seco, %)</b>	<b>Referencia</b>
Naranja	8,48 – 32,6	Tsouko et al., 2020; Kute et al., 2020
Cáscara de limón	37,9 – 41,4	Cheng-Pei et al., 2024
Girasol	29,50	Muthusamy et al., 2019
Pomelo	8,38 – 21,28	Cui et al., 2020
Cáscara de manzana	1,21 – 14,50	Kumar et al., 2020
Pulpa de manzana	33,50	Morales- Contreras et al., 2020
Banano	14,34	Aklilu (2021)
Orujo de zanahoria	2,35 ± 0,06	Laet et al., 2024
Granada	14,95	Wang et al., 2020
Mandarina	13,46 – 26,05	Polanco-Lugo et al., 2019
Remolacha azucarera	16,20	Dranca y Mironeasa, 2024

**Nota.** Representa las fuentes de obtención de la pectina, Adaptado de (Laet et al., 2024).

Varios parámetros pueden influir en la eficiencia de la extracción de pectina como el pH, tiempo de proceso, temperatura, relación líquido-sólido, el tamaño de partícula, y otras variables de acuerdo con el método de extracción utilizado (Laet et al., 2024)

### Métodos de extracción de la Pectina

Existen varios métodos de extracción de pectina, entre ellos, la extracción microbiológica, enzimática y química (ver tabla 4). Además, encontramos la extracción asistida por microondas (MAE), la extracción asistida por ultrasonidos (UAE) y la extracción subcrítica con agua. Destaca la eficiencia y aspectos ecológicos de la MAE, que reduce el tiempo de procesamiento, el uso de solventes y la energía requerida, mejorando además el rendimiento y calidad de la pectina obtenida (Younis et al., 2021).

**Tabla 4.**

*Métodos de extracción de la pectina.*

Fuente de extracción	Método de extracción	Tiempo de extracción (min)	Temperatura (°C)	pH	Relación peso/volumen g/mL	Grado de esterificación (%)
Manzana <sup>a</sup>	Hidrolisis ácida	40-120	70-100	1-3	1:10 - 1:25	56-69
	Radio frecuencia	15	85	2	1:10 - 1:30	65,8
	Microondas	15	85	2	1:10 - 1:30	53,8
	Enzimático	1800	40-50	4-4,5	1:8	56,98
Toronja <sup>a</sup>	Hidrolisis ácida	60-120	70-90	1-3	1:30	26,68-80,32
	Ultrasonido	28-30	25-67		1:30	29,7-65,37

	Hidrolisis alcalina	60	80	9-11	1:30	7,13-25,19
	Microondas	2	80	1		37,25
	Enzimático	1800	50	4		56,98
	Agua subcrítica	5	130			83,41
Guayaba <sup>a</sup>	Hidrolisis ácida	60	97	4		40,99
Mango <sup>a</sup>	Microondas	3-30	75-130	1,5	1:15	52-79
	Ultrasonido	10	85			58
	Hidrolisis ácida	90	85	1,5		56,5
Naranja <sup>a</sup>	Hidrolisis ácida	40-160	60-90	1-3	1:2-1:5	35-70
	Microondas	1,5-1		1,5-2,5	1:15-1:25	42,85
	Enzimática	1200-1800	50	2,5-4	1:2	56-58
Cascara de naranja <sup>b</sup>	Microondas 620W	3		1,5 HCl	1:25	50,63
	Ultrasonido y microondas 50/850W	30/3		1,5	1:20	72,41
Cascara de naranja <sup>c</sup>	Ultrasonido 100%	30		1,5 Ácido cítrico		

Mandarina <sup>a</sup>	Ultrasonido	15-30	80	2,5	1:30	71,81-82,30
	Microondas	1,17		1,3	1:35	51-55,21
	Hidrolisis ácida	15	80	2,2		51,20
Piña <sup>a</sup>	Hidrolisis ácida	65	80	2	1:30	

**Nota.** Representación de los métodos de extracción de la pectina, adaptado de (Salazar et al., 2023), (Zioga et al., 2022), (Yousuf et al., 2018).

En la tabla 4 se revela que cada método de extracción de pectina presenta ventajas y desventajas en términos de eficiencia, costo, escalabilidad y sostenibilidad. Los métodos de microondas y ultrasonido ofrecen tiempos de extracción rápidos y grados de esterificación competitivos, que puede mejorar la eficiencia y reducir los costos operativos en comparación con métodos más largos como la hidrolisis ácida y el enzimático. Sin embargo, el costo inicial y la escalabilidad de los métodos como la hidrolisis ácida y el enzimático pueden ser menos favorables debido a la necesidad de equipos especializados y largos tiempos de procesamiento, lo que puede aumentar los costos y limitar la producción a gran escala. En términos de sostenibilidad, métodos como la hidrolisis ácida y el agua subcrítica pueden generar menos residuos químicos y ofrecer una opción más ecológica en comparación con los métodos que utilizan grandes cantidades de energía o productos químicos. La hidrolisis ácida muestra una alta eficiencia en términos de grado de esterificación, pero su impacto ambiental y los costos asociados pueden ser considerables. En general, para una implementación industrial efectiva, se debe equilibrar la eficiencia del proceso con su costo, escalabilidad y sostenibilidad, seleccionando el método que ofrezca el mejor rendimiento global según los requisitos específicos del contexto de producción.

### **Extracción de Pectina por Métodos químicos**

Es un método que consume volúmenes importantes de disolventes, y periodos prolongados de calentamiento (1-3horas), con temperatura entre 50°C – 100°C, pH 1-4.5, relación peso (g)/volumen (mL) 1:10 a 1:50, utilizando ácidos inorgánicos, como el ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, ácido nítrico o ácidos orgánicos suaves, como el ácido acético, y el ácido cítrico (Salazar-Ripoll y Hincapié-Llanos, 2023). En la industria es el método comúnmente utilizado por ser fácil y económico.

### **Extracción de Pectina por Métodos Microbiológicos**

La extracción de pectina de este tipo se realiza principalmente mediante la producción de este heteropolisacárido a través del cultivo de microorganismos en diferentes medios. Se utilizan levaduras como *Trichosporon penicillatum*, *Kluyveromyces marxianus* y *Endomycopsis capsularis*, que son capaces de producir enzimas pectinolíticas. Estas enzimas permiten la liberación de pectina altamente esterificada y de bajo peso molecular a partir de la protopectina. Aunque es un método menos común, ofrece una alternativa más sostenible para la obtención de pectina. (Contreras et al., 2020).

Además, existen diferentes bacterias que producen enzimas pectinolíticas, las cuales son capaces de descomponer la pectina presente en paredes celulares de las plantas entre ellas podemos encontrar; *Erwinia carotovora*, *Erwinia chrysanthemi*, *Pseudomonas fluorescens*, *Clostridium spp.*, *Xanthomonas spp.*, y *Bacillus spp.* Estas bacterias son utilizadas para degradar la pectina en las plantas (Salazar et al., 2020).

## **Extracción de Pectina por Método Enzimático**

Esta técnica de extracción es una herramienta analítica fitoquímica que se utiliza para determinar la estructura química final de las sustancias pépticas, también se aplica principalmente a nivel industrial, depende en gran medida de las interacciones entre las enzimas y el sustrato, que en este caso sería la protopectina presente en la materia prima vegetal. La microestructura de la materia prima juega un papel crucial en estas interacciones, ya que puede influir en la accesibilidad de las enzimas a la protopectina donde esta se caracteriza por tener una baja densidad y una estructura no muy compacta, lo que la hace más penetrable por las enzimas. Esta característica facilita que las enzimas específicas o sistemas enzimáticos puedan tener un fácil acceso al material vegetal y, por lo tanto, realizar la hidrólisis de la pectina de manera eficiente, la extracción de pectina por vía enzimática puede tener limitaciones mínimas, ya que las enzimas pueden actuar de manera efectiva sobre la materia prima vegetal debido a su estructura más permeable. Esto hace que el proceso sea más eficiente y con menos obstáculos para la acción enzimática, lo que puede resultar en un rendimiento de extracción más alto y una calidad de pectina mejorada (Contreras et al., 2020). En la tabla 5, se puede observar algunos microorganismos productores de protopectinasas con sus respectivas actividades enzimáticas.

**Tabla 5.**

*Microorganismos productores de proto pectinasas (ppasas) con sus respectivas actividades enzimática.*

<b>Microorganismo</b>	<b>Nombre de la enzima</b>	<b>Tipo de Ppasa</b>	<b>Tipo de actividad</b>
<b>Bacterias</b>			
<i>Bacillus subtilis</i> [FO 12113]	PPasa-B	A	elido-PAL
<i>Bacillus subtilis</i> IFO 3134	PPasa-N	A	elido-PAL
<i>Bacillus subtilis</i> IFO 3134	PPasa-R	A	endo-PIL
<i>Bacillus subtilis</i> IFO 3134	PPasa-C	B	endo-Arn
<b>Levaduras</b>			
<i>Galactomyces reessii</i> L	PPasa-L	A	Endo-PG
<i>Geotrichwn</i> sp.	PPasa*	A	Endo-PG
<i>Kluyveromyces fragilis</i> IFO 0288	PPasa-F	A	Endo-PG
<i>Kluyveromyces Wickerhamii</i>			
IFO 1675	PPasa-W	A	Endo-PG
<i>Saccharomyces carlsbergensis</i>	PPasa*	A	Endo-PG
<i>Trichosporon penicillatum</i> SN-3	PPasa-SE	A	Endo-PG
<i>Tnametes sangillea</i> IFO 6490	PPasa-T	B	Endo-PG
<b>Hongos filamentosos</b>			
<i>Aspergillus awamori</i> IFO 4033	PPasa-AW	-	-

**Nota.** Muestra los Microorganismos productores de proto pectinasas (ppasas) con sus respectivas actividades enzimática (Contreras et al., 2020).

### **Extracción de Pectina por Ultrasonido**

Es un método que utiliza ondas con frecuencias superiores a 20KHz, para producir burbujas de cavitación cerca del tejido vegetal, que permite romper las paredes celulares y provocar una mayor entrada de disolventes en las células, lo que ayuda a liberar un mayor contenido de pectina. El tiempo de extracción varía entre 8 a 90min, temperatura 25°C -85°C, el pH 1,5-2,5 y la relación peso (g)/volumen (mL) entre 1:10 – 1:30 (Salazar-Ripoll y Hincapié-Llanos, 2023)

### **Extracción de pectina por microondas**

Las ondas electromagnéticas penetran en el material e interactúan con las moléculas, que absorben la energía y la convierten en calor. Su eficiencia depende de las propiedades dieléctricas de la biomasa y del sistema disolvente-biomasa, la forma, tamaño y geometría de la muestra, potencia del microondas, tiempo de irradiación, relación muestra – solvente y pH del medio de extracción (Mao et al, 2023).

### **Usos de la pectina**

La pectina tiene una variedad de aplicaciones en diferentes industrias, principalmente en la alimentaria y en la fabricación de películas a base de este polisacárido.

Las propiedades de la pectina, como su capacidad para formar geles, películas y emulsiones la hacen ideal para la fabricación de envases biodegradables. Su capacidad de gelificación, especialmente en presencia de ciertos cationes como el calcio, facilita la creación de películas con excelentes propiedades mecánicas y de barrera (Younis et al., 2021).

La aplicación principal de la pectina en la industria alimentaria se centra en su contribución a la textura y propiedades mecánicas, lo que la convierte en un componente

invaluable para productos de repostería como mermeladas y jaleas. Otros usos similares incluyen postres, productos de panadería y lácteos. Las características espesantes y gelificantes de la pectina están fuertemente determinadas por el grado de esterificación (DE), el grado de metilación (DM) y el contenido de GalA. El de pectina puede entenderse como el porcentaje de grupos carboxilo total esterificados con metanol. De manera alternativa, se ha definido el DE como el porcentaje de GalA esterificada respecto al total de residuos de GalA, lo que generalmente representa el grado de metilación (DM). Durante el proceso de extracción de la pared celular, las condiciones utilizadas ejercen una gran influencia en la MS (solidez) de la pectina (Butler et al., 2023).

La pectina, reconocida por su versatilidad en la industria alimentaria, desempeña múltiples roles fundamentales. Su capacidad para formar geles la posiciona como un componente esencial en la elaboración de una variedad de productos, desde gelatinas y mermeladas hasta jaleas y productos lácteos con bajo contenido de grasa, donde su capacidad de gelificación garantiza una consistencia adecuada y una textura agradable (Ramírez et al., 2020). Además, su función como estabilizante de emulsiones y suspensiones resulta invaluable en la producción de alimentos como helados, postres fríos, y soluciones para el recubrimiento de salchichas y carnes enlatadas, proporcionando estabilidad y mejorando la calidad del producto final. En el ámbito de las bebidas, la pectina se emplea como agente viscosante, mejorando la consistencia y la sensación en boca, lo que contribuye a una experiencia sensorial más satisfactoria. Como aditivo alimentario, su versatilidad se extiende a funciones antioxidantes, estabilizantes, emulsionantes y colorantes, lo que amplía su aplicación en diversas áreas de la industria alimentaria. Además, su capacidad para formar geles y emulsiones la convierte en una opción valiosa como sustituto de grasas en productos bajos en contenido graso, contribuyendo así a la formulación de productos más saludables. Por último, pero no menos importante, se ha reconocido su potencial prebiótico, ya que actúa

como sustrato para el crecimiento de bacterias beneficiosas en el intestino, promoviendo de esta manera la salud digestiva y el equilibrio microbiano intestinal (Martínez et al., 2020).

Así mismo, La pectina se utiliza en la fabricación de biopelículas comestibles y biodegradables que actúan como recubrimientos para alimentos, mejorando su conservación. Este uso ofrece una alternativa valiosa a los envases sintéticos, ya que permite aprovechar los desechos o subproductos de la producción agrícola, los cuales a menudo constituyen hasta la mitad del peso fresco total del fruto y son especialmente ricos en pectinas. Es relevante señalar que las propiedades fisicoquímicas de la pectina pueden variar según la fuente vegetal de extracción y las condiciones específicas de extracción empleadas. Por lo tanto, es natural que diferentes tipos de pectina exhiban distintas capacidades para formar películas (Butler et al., 2023).

Del mismo modo, Comprender los diversos componentes utilizados en la formación de películas, así como las distintas propiedades que cada uno posee, es fundamental para desarrollar películas homogéneas y estéticamente atractivas que cumplan con todos los requisitos necesarios para el envasado de alimentos. Aunque la pectina ofrece numerosas ventajas para la fabricación de películas, también presenta ciertas limitaciones debido a su alta capacidad de absorción de agua, lo que puede generar problemas como el debilitamiento de la estructura lo que puede generar que la película se rompa o se deforme. Para abordar este inconveniente específico, es común incorporar la pectina en una composición o mezcla que permita obtener las propiedades que le faltan. A pesar de que la pectina proporciona películas resistentes y rígidas, tiende a ser permeable y quebradiza. En este sentido, la inclusión de plastificantes como el glicerol o polímeros alternativos como el pululano contribuye a superar estas limitaciones, mejorando la flexibilidad y la durabilidad de las películas a base de pectina (Butler et al., 2023).

## Almidón

El almidón es un biopolímero de gran importancia y se encuentra de forma abundante en la naturaleza. Se obtiene y purifica a partir de semillas, raíces y tubérculos a través de un proceso que involucra molienda, lavado, tamizado y secado. Tras su extracción de la fuente vegetal, el almidón se presenta como un polvo blanco parecido a la harina, conocido como "almidón nativo". Cuando este almidón nativo se somete a uno o varios tratamientos químicos para alterar sus características, se le denomina "almidón modificado" (Nuñez et al., 2023).

Este biopolímero se destaca por ser la principal reserva de carbohidratos en las plantas. Es insoluble en agua fría y se encuentra en forma de pequeños gránulos, cuyo tamaño varía entre 1 y 100 micrómetros. La fuente vegetal de la que proviene influye significativamente en la morfología y el tamaño de estos gránulos, así como en la calidad y composición del almidón obtenido. Además, es importante considerar que estas características pueden variar incluso dentro de la misma especie vegetal. (Nuñez et al., 2023).

El almidón es el segundo polímero nativo más abundante, solo después de la celulosa. Se encuentra en una diversidad de tejidos botánicos, incluyendo hojas, frutos, semillas y tubérculos, y en cultivos como el trigo, el arroz, la patata y la tapioca. Su amplia distribución y capacidad para almacenar energía lo convierten en un recurso valioso tanto para la alimentación humana y animal como para diversas aplicaciones industriales (Muñoz et al., 2022).

Así mismo, según Figueroa et al., (2022) El almidón es un polisacárido se encuentra en una variedad de fuentes vegetales, como cereales (como el trigo, el maíz y el arroz), legumbres, frutas (como plátanos y manzanas), tubérculos (como las patatas) y leguminosas. Esta amplia disponibilidad hace que el almidón sea una opción versátil para una variedad de

aplicaciones, desde la producción de alimentos hasta la fabricación de materiales biodegradables y envases sostenibles.

Los estudios sobre el almidón han llevado al desarrollo de técnicas para modificar sus propiedades, como la modificación química y la ingeniería genética de las plantas para producir almidón con características específicas, esto ha ampliado aún más las posibles aplicaciones del almidón en diversas industrias y ha contribuido al creciente interés en este polisacárido natural.

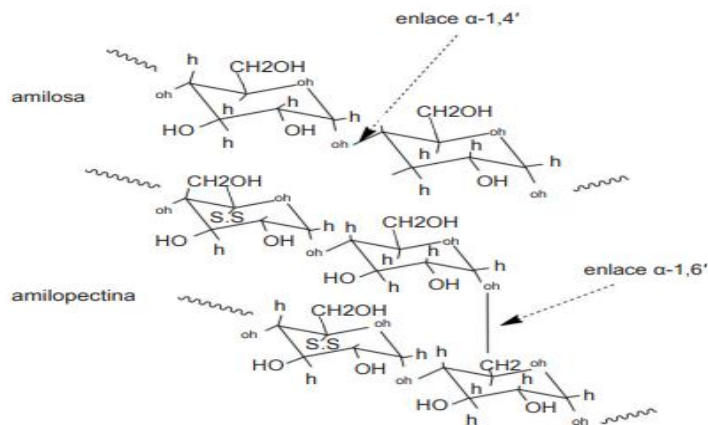
Por su parte, el estudio de García et al., (2022) profundiza en el desarrollo y aplicación de materiales basados en almidón para la creación de empaques biodegradables. Destaca el almidón como uno de los biopolímeros más abundantes y económicos, ofreciendo una alternativa prometedora a los plásticos tradicionales. El almidón, compuesto principalmente por amilosa y amilopectina, puede transformarse en un material termoplástico mediante la adición de plastificantes y condiciones de calor y esfuerzo cortante, lo que lo hace adecuado para la fabricación de películas.

### **Estructura Molecular del Almidón**

El almidón es un polisacárido complejo que se compone principalmente de dos tipos de moléculas: amilosa y amilopectina. La amilosa es un polímero lineal de glucosa, mientras que la amilopectina es un polímero de glucosa con una estructura ramificada.

**Figura 5.**

*Estructura Molecular del almidón (Valdivieso & Mollinedo, 2021).*

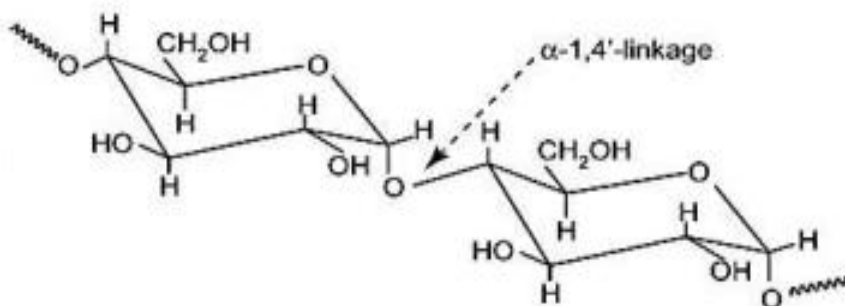


### Amilosa

La amilosa es una molécula de almidón que consiste principalmente en unidades de glucosa unidas por enlaces alfa (1-4), lo que la hace básicamente lineal. Sin embargo, ocasionalmente presenta ramificaciones en forma de enlaces alfa (1-6). En tubérculos como la papa, la amilosa suele representar alrededor del 20-30% del total de almidón.

**Figura 6.**

*Estructura de la amilosa (Valdivieso & Mollinedo, 2021).*

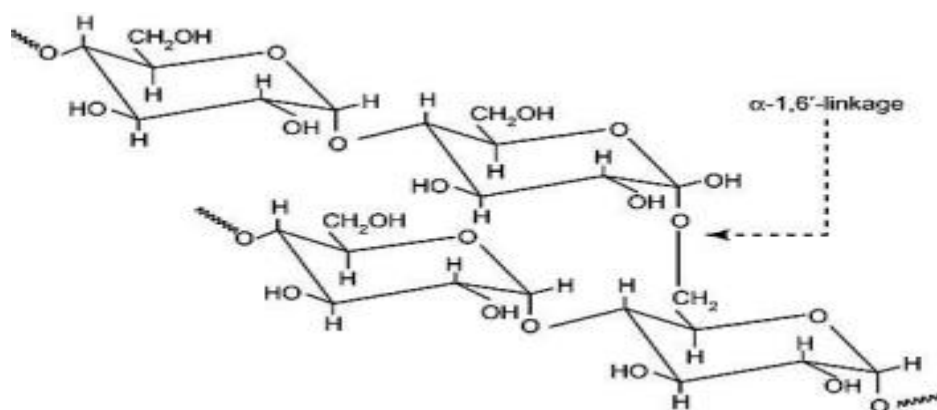


## Amilopectina

La amilopectina es el componente principal del almidón y tiene una estructura altamente ramificada que está formada por cadenas de glucosa unidas por enlaces alfa (1-4), similar a la amilosa, pero también contiene enlaces alfa (1-6) que crean ramificaciones, estas ramificaciones son importantes porque le otorgan al almidón propiedades únicas, como su capacidad para formar geles y espesantes en presencia de agua. La amilopectina suele constituir alrededor del 70-80% del almidón (Aldas, 2021).

### Figura 7.

*Estructura de la amilopectina (Valdivieso & Mollinedo, 2021).*



## Métodos de Extracción del almidón

Las condiciones de extracción de almidón como la temperatura, tiempo y pH influyen significativamente en sus propiedades ya que pueden modificar su estructura, gelatinización y viscosidad que pueden llegar a afectar la resistencia mecánica, elasticidad y capacidad de barrera de las películas, también se debe de tener en cuenta el método de extracción del almidón para que se pueda obtener de una excelente calidad.

Existen varios métodos para extraer almidón de fuentes vegetales como cereales, tubérculos y legumbres donde la elección del método adecuado depende de factores como el

tipo de muestra vegetal, las propiedades específicas del almidón deseado y las condiciones disponibles.

La extracción del almidón se erige como un pilar indispensable dentro de la industria alimentaria, dada la amplia gama de aplicaciones que este polisacárido tiene en productos que van desde alimentos hasta medicamentos y cosméticos. Dentro de este proceso, se destacan dos métodos principales: la extracción por vía húmeda y por vía seca.

El método de extracción por vía húmeda, que emplea el agua como elemento primordial, encuentra su aplicación más común en cultivos como el maíz, la papa y el trigo. Inicia con la trituración de la materia prima, liberando así el almidón. Posteriormente, este se mezcla con agua y se agita vigorosamente para separarlo en suspensión. A través de tamices o pantallas, se eliminan las impurezas más grandes de esta suspensión, la cual luego se decanta para permitir que el almidón se asiente en el fondo. Una vez sedimentado, se procede al drenaje del agua y al secado del almidón para su ulterior procesamiento (Villarroel et al., 2018).

Por otro lado, la extracción por vía seca involucra la separación del almidón de la materia prima sin la intervención de agua. Este método es particularmente común en la extracción de almidón de tubérculos como la yuca y el ñame. El proceso inicia con la trituración de la materia prima para liberar el almidón, seguido por un tamizado que permite separar el almidón de la fibra y otras impurezas. El almidón recolectado en forma de polvo se somete entonces a un proceso de secado para su posterior utilización (Villarroel et al., 2018).

Ambos métodos presentan sus propias ventajas y desventajas. La extracción por vía húmeda destaca por su eficacia en la eliminación de impurezas, generando almidón de mayor pureza; sin embargo, requiere considerables cantidades de agua y puede generar efluentes que necesitan un tratamiento adecuado. Por otro lado, la extracción por vía seca utiliza menos

agua y puede resultar más rentable en determinadas circunstancias, aunque podría producir un almidón de menor calidad, exigiendo procesos adicionales para la eliminación de impurezas (Villarroel et al., 2018).

Los métodos de extracción de almidón revelan que la elección del proceso ya sea por vía húmeda o seca tiene un impacto considerable en la calidad del almidón y su adecuación para diversas aplicaciones industriales. El método por vía húmeda es ampliamente utilizado y eficiente en la producción de almidón de alta pureza, dado que permite una limpieza exhaustiva de impurezas. Sin embargo, este método demanda grandes cantidades de agua y genera efluentes que requieren tratamiento, lo que puede elevar los costos y presentar desafíos en términos de sostenibilidad. En contraste, el método por vía seca es más económico en cuanto al uso de recursos hídricos y puede resultar más rentable en ciertas circunstancias, especialmente para tubérculos como la yuca y el ñame. No obstante, este método puede producir almidón de menor calidad debido a la presencia de impurezas, lo que puede implicar la necesidad de procesos adicionales para asegurar la pureza deseada. Ambos métodos deben ser seleccionados en función del tipo de materia prima, las propiedades específicas del almidón requerido y los requisitos de producción, equilibrando así la eficiencia, costo y sostenibilidad del proceso. En un contexto industrial, optimizar estos métodos es crucial para maximizar la calidad del almidón mientras se minimizan los impactos ambientales y se asegura la viabilidad económica del proceso.

En conclusión, la extracción del almidón se consolida como un proceso esencial en la industria alimentaria, y los métodos de extracción por vía húmeda y por vía seca ofrecen alternativas adaptables a diversas materias primas y necesidades de producción.

**Tabla 6.***Caracterización funcional de almidones Yuca, Maíz, Papa, Camote, Harina.*

<b>Almidón</b>	<b>T<sub>i</sub>(°C)</b>	<b>T<sub>p</sub>(°C)</b>	<b>T<sub>f</sub>(°C)</b>	<b>ΔH(J.g-1)</b>
<b>Yuca</b>	50.68	54-78	60-100	4-22
<b>Maíz</b>	62.3	66.3	72.9	10.3
<b>Papa</b>	60	69	80	4.6
<b>Camote</b>	55.2	61.3	68.2	9.2
<b>Harina</b>	62.2	74.9	89.2	12.5

**Nota.** Muestra la caracterización funcional del almidón en diferentes alimentos, siendo  $T_i$ : Temperatura inicial,  $T_p$ : Temperatura de pico,  $T_f$ : Temperatura final,  $\Delta H$ : Cambio de entalpia Adaptado de (Hernández et al., 2018).

**Tabla 7.***Caracterización química de almidones Yuca, Maíz, Papa, camote, harina.*

<b>Componentes (%)</b>	<b>Yuca</b>	<b>Maíz</b>	<b>Papa</b>	<b>Camote</b>	<b>Harina</b>
<b>Humedad</b>	9.48	9.9	19	9.83	105
<b>Proteína cruda</b>	0.06	0.10	0.06	0.22	0.64
<b>Grasa cruda</b>	0.20	0.35	0.05	0.31	0.36
<b>Fibra cruda</b>	1.01	0.62	NR	0.28	0.06
<b>Cenizas</b>	0.29	0.06	0.40	0.26	0.22
<b>Amilosa</b>	17.0	28.3	21.0	19.6	22.7
<b>Amilopectina</b>	83.0	71.7	79.0	80.4	77.3

**Nota.** Muestra la caracterización química del almidón en diferentes alimentos (Hernández et al., 2018).

### **Fuentes Naturales donde se encuentra el almidón**

El almidón, un componente polisacárido ampliamente presente en la naturaleza, se encuentra distribuido en una diversidad de fuentes vegetales. Las plantas, en su mayoría, actúan como reservorios de este compuesto esencial para su desarrollo y energía. Entre las principales fuentes se encuentran los cereales como el trigo, el arroz y el maíz, donde se almacena en el endospermo de los granos. Asimismo, los tubérculos como la papa y la yuca también son ricos en almidón, contenido en los amiloplastos de sus raíces. De igual forma, las legumbres como los frijoles y algunas frutas en su fase no maduran, como los plátanos, presentan almidón en sus semillas y pulpas. Esta variada gama de recursos naturales de almidón, esencial para la nutrición vegetal y animal, destaca su importancia como elemento fundamental en la dieta y la alimentación (Solarte et al., 2019).

**Tabla 8.***Contenido de almidón en productos Naturales.*

<b>Producto</b>	<b>Contenido de Almidón en %</b>
<b>Harina de plátano verde</b>	16-24%
<b>Plátano verde</b>	8,5%
<b>Poroto blanco</b>	6,6-9,0%
<b>Camote</b>	4.0-4,4%
<b>Poroto negro (procesado)</b>	3,9% (5,5%)
<b>Lenteja (procesada)</b>	3,5% (1,6-9,1%)
<b>Arveja fresca (procesada)</b>	2,2% (6,9%)
<b>Arroz integral (procesado)</b>	1,7% (1,9%)
<b>Papa (procesada)</b>	1,3% (20%)
<b>Arroz blanco (procesado)</b>	1,2% (1,9%) 18, 2
<b>Plátano maduro</b>	1,2%
<b>Avena (procesada)</b>	0,8% (0,5%)
<b>Garbanzo (procesado)</b>	0,6% (2,6%)
<b>Haba fresca (procesada)</b>	0,6% (1,45%)
<b>Yuca cruda (procesada)</b>	0,1% (0,4%)
<b>Harina de trigo</b>	0,2%
<b>Maíz crudo (procesado)</b>	0,1% (0,4%)

**Nota.** Muestra El contenido de almidón en productos Naturales (Villarroel et al., 2018).

## Usos del almidón

Bioplásticos a base de Almidón: El almidón se utiliza en la producción de bioplásticos, que son materiales plásticos biodegradables y/o compostables que se derivan de fuentes renovables en lugar de recursos fósiles, los biopolímeros provienen de fuentes renovables, lo que significa que su producción no depende de recursos fósiles no renovables como el petróleo. Esto ayuda a reducir la dependencia de los combustibles fósiles y a mitigar el impacto ambiental asociado con la extracción y el uso de estos recursos (Ledesma et al., 2021).

Dentro de los plastificantes utilizados en biopelículas biodegradables tenemos:

- Acetato de butilo
- Propilenglicol
- Acetato de trietilo
- Glicerol
- Sorbitol
- Propilenglicol

Estos plastificantes ayudan a mejorar la flexibilidad, la resistencia al impacto y la estabilidad dimensional de las biopelículas, lo que las hace más adecuadas para su uso en una variedad de aplicaciones, entre ellas está en el desarrollo de empaques biodegradables para alimentos, un ejemplo claro es que se ha investigado el uso de almidón en combinación con plastificantes como el glicerol para producir películas comestibles y biodegradables. En un estudio realizado por Cedeño.,et al (2023), se encontró que una biopelícula basada en almidón de maíz, con un 1%, 3% y 5 % p/v de glicerol como plastificante, presentaba una resistencia de tracción de 12 Mpa y una elongación de rompimiento de 20%. Además, estas

biopelículas mostraron una tasa de transmisión de vapor de agua de  $6 \text{ g/m}^2/\text{día}$ , lo que las hace adecuadas para su uso en empaques de alimentos que requieren una barrera moderada contra la humedad.

Este tipo de biopelículas ofrece una alternativa sostenible a los plásticos convencionales, ya que son biodegradables y pueden descomponerse en condiciones naturales sin dejar residuos tóxicos. La implementación de estas biopelículas en envases de alimentos no solo reduce el impacto ambiental, sino que también prolonga la vida útil de los productos al ofrecer propiedades mecánicas y de barrera adecuadas. (Cornejo et al., 2020).

**Películas para alimentos:** El almidón, que se obtiene de fuentes vegetales como maíz, papa o arroz, puede ser procesado mediante técnicas de extrusión o moldeo por fundido para la fabricación de biopelículas. Estas técnicas permiten transformar el almidón en películas delgadas, que se utilizan en el envasado de alimentos. Además, el almidón se emplea en la producción de películas biodegradables y comestibles para envolver alimentos. Estas películas ofrecen una alternativa más sostenible a los materiales plásticos convencionales, ya que son biodegradables y compostables.

Debido a su abundancia en la naturaleza y su capacidad para formar películas biodegradables, el almidón ha sido ampliamente estudiado y utilizado en aplicaciones de embalaje. Las películas plásticas biodegradables de almidón pueden descomponerse en condiciones adecuadas, como en presencia de microorganismos y humedad, lo que las hace menos perjudiciales para el medio ambiente en comparación con los plásticos tradicionales.

**Películas comestibles para alimentos:** El almidón es procesado para formar películas diseñadas no solo para ser consumidas junto con los alimentos, sino también para proporcionar una barrera moderada contra la humedad y otros factores ambientales. Estas

películas ayudan a preservar la calidad y la frescura de los alimentos al reducir la transferencia de humedad, lo que es esencial para ciertos productos alimenticios.

El almidón puede ser modificado mediante diversas técnicas para formar nanoestructuras, lo que mejora significativamente sus propiedades mecánicas y de barrera. Estas modificaciones lo hacen más efectivo como material de envasado y recubrimiento, aumentando su resistencia y capacidad para proteger los productos alimenticios (Robles, 2023).

Las películas comestibles a base de almidón nanoestructurado representan una opción prometedora para el desarrollo de materiales de embalaje y recubrimiento en la industria alimentaria, ya que ofrecen propiedades como la biodegradabilidad, capacidad para ser funcionales y algunos beneficios para empaques en alimentos (Vázquez et al., 2019).

Envases para alimentos: El almidón puede utilizarse para fabricar envases biodegradables para diversos alimentos. Estos recubrimientos están ganando popularidad en la industria alimentaria debido a su capacidad para prolongar la vida útil de los alimentos y mejorar su calidad. Se pueden aplicar a una amplia variedad de productos, incluyendo frutas y hortalizas, carnes, pescados, productos de panadería y repostería, productos lácteos, frutos secos, entre otros (Valencia, 2022).

Embalaje para Alimentos: En el embalaje de productos frágiles o sensibles, el almidón se puede utilizar como material de relleno biodegradable para proteger los productos durante el transporte y el almacenamiento, el almidón es una opción atractiva como material de relleno en el embalaje de alimentos debido a su biodegradabilidad, renovabilidad, propiedades de amortiguación efectivas y compatibilidad con alimentos (Cornejo et al., 2020).

Láminas de plástico biodegradable: Las láminas de plástico biodegradable proporcionan una forma de embalaje que puede ayudar a prolongar la vida útil de los alimentos al protegerlos de la humedad, los gases y otros factores que pueden acelerar su deterioro y son una alternativa más sostenible a las láminas de plástico convencionales que tardan mucho tiempo en descomponerse en el medio ambiente, estas láminas biodegradables están diseñadas para descomponerse más rápidamente bajo ciertas condiciones ambientales, lo que reduce su impacto ambiental y la acumulación de residuos plásticos (Chuiza et al., 2020).

Plastificantes: Un plastificante es una sustancia que se añade a un material para aumentar su flexibilidad, suavidad y maleabilidad, se utiliza comúnmente en plásticos y polímeros para mejorar sus propiedades de procesamiento y rendimiento (López, 2021).

Se usan en la fabricación de las biopelículas, que son películas delgadas y biodegradables utilizadas en aplicaciones de embalaje y recubrimiento, los plastificantes pueden ser agregados para mejorar sus propiedades físicas (López, 2021).

Existen diversas investigaciones en torno al empleo de pectina y almidón en la fabricación de empaques dentro de la industria alimentaria se ha experimentado un notable avance durante el periodo que comprende desde 2016 hasta mayo de 2024.

En cuanto a las aplicaciones en empaques, la pectina ha demostrado ser un componente invaluable en la formulación de películas comestibles y biodegradables, gracias a sus propiedades gelificantes y emulsificantes.

**Tabla 9.***Propiedades gelificantes del almidón.*

<b>Propiedad gelificante</b>	<b>parámetro</b>	<b>Relevancia en empaques</b>
<b>Grado de metoxilación (GM)</b>	5%-90%	Afecta la firmeza del gel
<b>Grado de acetilación</b>	0%-15%	Influye en la capacidad de gelificación.
<b>Contenido de metoxilo</b>	7%-50%	Seguridad en la industria alimentaria
<b>pH</b>	2.5-3.5	Afecta la consistencia y formación del gel

**Nota.** Muestra las propiedades gelificantes del almidón (Noboa, 2024).

**Tabla 10.***Propiedades emulsificantes del almidón.*

<b>Propiedades emulsificantes</b>	<b>Descripción</b>
<b>Estabilización de emulsiones</b>	Forma una capa alrededor de las gotas de aceite en una emulsión, evitando su separación.
<b>Reducción de la Tensión Superficial</b>	Disminuye la tensión entre el agua y el aceite, facilitando la formación y estabilidad de la emulsión.
<b>Formación de Películas</b>	Puede formar películas delgadas alrededor de las gotas de aceite, previniendo la coalescencia.

**Nota.** Muestra las propiedades emulsificantes del almidón (Cayambe, 2022).

Las películas del almidón ofrecen ventajas significativas en la conservación de alimentos al funcionar como barreras eficaces contra la humedad y el oxígeno, prolongando así la vida útil de los productos alimentarios (Fiedot et al., 2024).

Por otro lado, el almidón ha sido ampliamente utilizado en la industria alimentaria para la fabricación de películas biodegradables y comestibles. No obstante, estas películas enfrentan ciertos desafíos, como su alta sensibilidad a la humedad y su menor resistencia mecánica en comparación con otros materiales de empaque. Para abordar estas limitaciones, se están llevando a cabo investigaciones dirigidas a mejorar las propiedades del almidón, ya sea mediante la combinación con otros biopolímeros o a través de modificaciones químicas específicas (Da Roz et al., 2018).

Del mismo modo, estudios recientes han revelado que las películas de almidón pueden ser optimizadas para una amplia gama de aplicaciones alimentarias mediante la incorporación de plastificantes, refuerzos nanoestructurados y aditivos antimicrobianos. Estas mejoras

contribuyen a aumentar la flexibilidad, la resistencia y las propiedades de barrera de dichas películas (Veliz, 2023).

La sinergia entre pectina y almidón ha emergido como un área de interés destacada en la investigación de empaques alimentarios, proporcionando un equilibrio óptimo entre propiedades mecánicas y de barrera. Estos desarrollos combinados están mejorando significativamente la funcionalidad de los empaques biodegradables en la industria alimentaria, contribuyendo así a la reducción del impacto ambiental asociado con los residuos de empaques convencionales (Da Roz et al., 2018).

En base a lo anterior, El uso de pectina y almidón en la elaboración de empaques destinados a la industria alimentaria emerge como una estrategia prometedora, caracterizada por su naturaleza sostenible y su eficacia para mejorar la conservación de alimentos. Con base en los artículos revisados se ha logrado avanzar de forma significativa en la optimización de las propiedades mecánicas y de barrera de estos biopolímeros, aunque persisten desafíos relacionados con su sensibilidad a la humedad y la necesidad de mejorar sus características mecánicas.

La selección de pectina y almidón como componentes clave en la formulación de empaques responde a su origen natural y su capacidad inherente para formar películas biodegradables y comestibles. Estas películas ofrecen una barrera efectiva contra la humedad y el oxígeno, contribuyendo así a prolongar la vida útil de los productos alimentarios y reducir el desperdicio (Menderos et al., 2020).

A pesar de los avances logrados, es importante reconocer que tanto la pectina como el almidón presentan ciertas limitaciones, especialmente en lo que respecta a su sensibilidad a la humedad y sus propiedades mecánicas. La absorción de humedad puede comprometer la integridad de los empaques, afectando su capacidad para proteger adecuadamente los

alimentos. Además, la resistencia mecánica de estas películas puede no ser suficiente para soportar las condiciones de manipulación y transporte a lo largo de la cadena de suministro.

**Tabla 11.**

*Tabla comparativa empaques con empaques sintéticos-Bioempaques.*

<b>Características</b>	<b>Empaque</b>	<b>Bioempaque</b>
<b>Mercado</b>	(+) El mercado global de empaques para alimentos ofrece una amplia variedad de opciones y proveedores, lo que beneficia a las empresas del sector.	Estos envases tienen un mercado limitado, con costos superiores y una menor disponibilidad y diversidad en comparación con los empaques tradicionales. Sin embargo, el mercado está en expansión gracias a las políticas que fomentan la disminución del uso de plásticos.
<b>Crecimiento de mercado</b>	(-) es más lento, lo que plantea desafíos para los fabricantes en términos de competencia y precios competitivos.	(+) El rápido crecimiento del mercado beneficia a las empresas al satisfacer la demanda de soluciones sostenibles y fomentar la inversión en la manufactura de envases.
<b>Demanda actual</b>	(+) Una mayor demanda en el mercado puede facilitar la adquisición y distribución de estos envases.	(-) disponibilidad limitada, lo que puede dificultar su adquisición y distribución en algunos lugares.

---

<b>Costo</b>	<p>(+) son más económicos, lo que beneficia a empresas y consumidores en busca de opciones asequibles.</p>	<p>(-) Suelen ser costosos, lo que puede limitar su adopción en economías más débiles. Sin embargo, algunos materiales, como el PHB y las celulosas, tienen costos similares a los empaques tradicionales.</p>
<b>Resistencia a la tracción</b>	<p>(+) el vidrio y el aluminio presentan alta resistencia a la tracción, siendo adecuados para empaques de productos pesados o sujetos a manipulación adversa</p> <p>(-) materiales como el papel pueden tener menor resistencia al rasgado en comparación con algunos Bioempaques, limitando su uso</p>	<p>(+) Biomateriales como el CPLA, la celulosa y la quitina/quitosano ofrecen una resistencia a la tracción superior, siendo una alternativa adecuada para empaques al vacío.</p> <p>(-) Los biomateriales derivados de polisacáridos, como la celulosa y el almidón, tienden a ser más tendenciosos a la rotura debido a su naturaleza frágil, en comparación con materiales tradicionales como el plástico y el vidrio.</p>

---

<b>Permeabilidad al vapor de agua</b>	<p>(+) Los empaques plásticos y de aluminio ofrecen una alta barrera contra la humedad, lo que los hace ideales para alimentos que requieren protección. Además, son fáciles de sellar y personalizar. En contraste, los empaques de papel tienen una barrera baja contra la humedad, lo que limita su uso en alimentos que necesitan protección adicional contra la humedad.</p>	<p>(+) Los bioempaques, como el almidón, la celulosa, el PLA, el PCL, el PGA, el PBS y el PHB, proporcionan una efectiva barrera contra la humedad y el aire.</p> <p>(-) El colágeno y la gelatina pueden tener una permeabilidad al vapor de agua demasiado alta, lo que restringe su uso en alimentos secos o productos que son sensibles a la humedad.</p>
<b>Permeabilidad al oxígeno OTR</b>	<p>(-) Los empaques elaborados con derivados del petróleo tienen elevados coeficientes de permeabilidad al oxígeno (OTR), lo que favorece la oxidación y descomposición de los alimentos.</p>	<p>(+) Estos materiales poseen bajos coeficientes de permeabilidad al oxígeno, lo que contribuye a salvaguardar la calidad y frescura de los alimentos.</p>
<b>Punto de fusión</b>	<p>(+) Puntos de fusión elevados, lo que les confiere resistencia a altas temperaturas.</p> <p>(-) Esto dificulta su reciclaje y reutilización, además de la posibilidad de liberación de sustancias tóxicas a altas</p>	<p>(+) Los biomateriales como el PGA son adecuados para la fabricación de botellas debido a su capacidad para soportar altas temperaturas.</p> <p>(-) Sin embargo, son más susceptibles a las altas</p>

	temperaturas, lo cual representa un riesgo para la salud.	temperaturas, lo que restringe su uso en aplicaciones con alimentos calientes y en el almacenamiento prolongado en climas cálidos y húmedos.
<b>Durabilidad</b>	(+) empaques de plástico y el metal son resistentes y duraderos, lo que garantiza que los alimentos estén protegidos.	(-) tienen una vida útil más corta y pueden no ser tan resistentes al manipularlo o al transporte
<b>Impacto ambiental</b>	(+) Los empaques de aluminio, papel y cartón tardan aproximadamente 3 meses en degradarse. En contraste, los empaques de polipropileno pueden tardar hasta 10 años en degradarse, mientras que los de tereftalato pueden demorar hasta 300 años.	(+) en su mayoría son biodegradables y compostables. (-) Existen Bioempaques que erróneamente se etiquetan como biodegradables, pero en realidad solo se descomponen en instalaciones de compostaje industrial a altas temperaturas. Este es el caso de los Bioempaques de PLA y otros materiales biobasados.

Principio del formulario

---

<b>Regulaciones</b>	(+). Estos materiales han sido utilizados durante mucho tiempo y están regulados por agencias de seguridad alimentaria en todo el mundo.	(+). Incentivan su uso algunas regulaciones ambientales  (-). La falta de patrones claros para los Bioempaques puede generar confusión y desconfianza tanto entre los consumidores como en la industria.
---------------------	--	--

---

**Nota.** Representa una comparativa de empaques sintéticos-Bioempaques (Lozano et al., 2022).

Para abordar estos desafíos, la investigación se ha encaminado en la optimización de las formulaciones, explorando nuevas técnicas de procesamiento y la incorporación de aditivos específicos (Pacheco et al., 2022).

A medida que se continúa investigando y desarrollando nuevas tecnologías, se espera que los empaques elaborados con pectina y almidón evolucionen hacia soluciones aún más eficientes y sostenibles para la conservación de alimentos. Este enfoque en la innovación y la mejora continua es fundamental para enfrentar los desafíos presentes y futuros en la industria alimentaria, contribuyendo así a la creación de un sistema de empaques más responsable y respetuoso con el medio ambiente.

El estudio de Onyeaka et al., (2022) constituye un valioso aporte al campo de la investigación sobre películas biodegradables elaboradas a partir de almidón y su aplicabilidad en empaques destinados a la industria alimentaria. Al revisar meticulosamente más de cien publicaciones, este estudio consolida y sintetiza el acervo actual de conocimiento sobre este tema, proporcionando una visión integral de sus alcances y desafíos. Sin embargo, se reconoce que el almidón presenta ciertas limitaciones, como su fragilidad inherente y su

notable susceptibilidad a la humedad, lo cual plantea obstáculos significativos que deben ser superados para mejorar su viabilidad y utilidad en la práctica.

Es en este punto donde las investigaciones han concentrado sus esfuerzos, explorando una amplia gama de estrategias para mejorar las propiedades de las películas de almidón, estas innovaciones han permitido avanzar notablemente en la creación de películas con características reformadas, tales como una mayor resistencia mecánica, propiedades de barrera mejoradas y capacidades antimicrobianas añadidas. Estos avances tecnológicos no solo amplían las posibilidades de aplicación de las películas de almidón en empaques alimentarios, sino que también fortalecen su posición como una alternativa sostenible y respetuosa con el medio ambiente. De hecho, las propiedades inherentes de biodegradabilidad de estas películas las convierten en una elección especialmente atractiva para los fabricantes y consumidores preocupados por reducir el impacto ambiental de los residuos plásticos. Finalmente, el estudio de Onyeaka y su equipo ofrece una visión integral y optimista sobre el potencial de las películas biodegradables de almidón en la industria alimentaria, delineando un camino hacia una práctica más sostenible y responsable en el envasado de alimentos (Onyeaka et al., 2022).

Por su parte, El estudio de Younis et al.,(2021), investiga la posibilidad de emplear pectina en la producción de envases biodegradables, centrándose en sus características mecánicas y de barrera como la tracción y la resistencia a la humedad, procesos de extracción y posibles usos.

Para mejorar sus propiedades mecánicas y de barrera, se exploran diversas técnicas de procesamiento, desde la extrusión hasta el electrohilado y la impresión 3D, para hacer uso de estas técnicas se debe tener en cuenta el tamaño de grano, con base a que este influye en la cantidad de almidón obtenido. Además, se discuten métodos de modificación química y la

combinación con otros biopolímeros para superar las limitaciones del almidón, como su sensibilidad a la humedad y fragilidad. Estos avances permiten la creación de envases biodegradables adecuados para la industria alimentaria, gracias a su capacidad para proporcionar barreras efectivas contra el oxígeno y el vapor de agua, y la posibilidad de extender la vida útil de los productos alimenticios mediante la adición de aditivos antimicrobianos. En conclusión, el estudio resalta la viabilidad y la mejora continua de los materiales basados en almidón en la industria de envases biodegradables (García-Guzmán et al., 2022).

Como consecuencia de lo anterior, la viabilidad de la pectina y el almidón en contraste con los plásticos derivados del petróleo es crucial considerar sus propiedades mecánicas, de barrera, biodegradabilidad y costos industriales. El almidón muestra una mayor resistencia a la tracción y un módulo de elasticidad más alto que la pectina; sin embargo, ambos biopolímeros son menos robustos en comparación con los plásticos convencionales, que ofrecen una mayor resistencia y consistencia mecánica. En cuanto a propiedades de barrera, la pectina proporciona una protección más efectiva contra la transferencia de gases que el almidón, aunque ambos biopolímeros presentan una permeabilidad al oxígeno notablemente mayor que la de los plásticos derivados del petróleo, los cuales ofrecen una barrera mucho más eficiente.

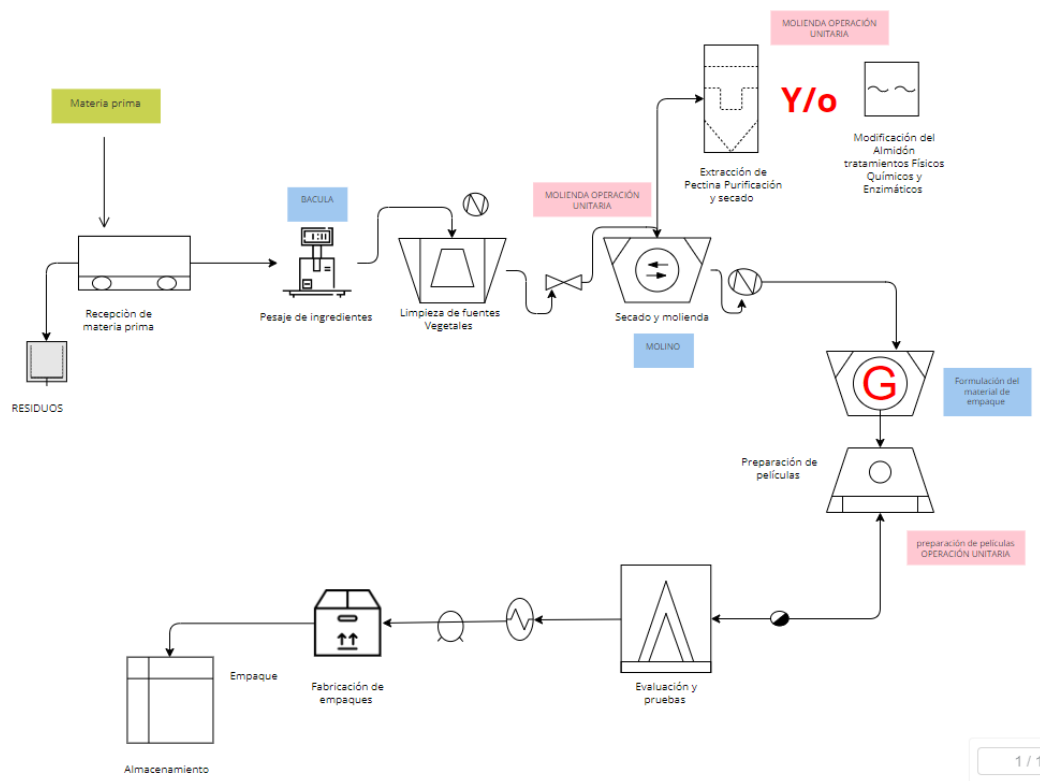
En términos de biodegradabilidad, estos dos polisacáridos se descomponen sin causar un impacto ambiental significativo, a diferencia de los plásticos convencionales que persisten en el medio ambiente y contribuyen a la contaminación. En cuanto a los costos industriales, la producción de empaques biodegradables con estos biopolímeros puede ser más costosa debido a los procesos especializados necesarios, aunque estos costos pueden ser justificados por los beneficios que ofrecen. Por otro lado, los plásticos derivados del petróleo suelen ser más baratos de producir, pero conllevan altos costos asociados con la gestión de residuos y la

contaminación. En esta comparación se evidencia las ventajas de los biopolímeros en términos de sostenibilidad y su potencial para aplicaciones de empaque, a pesar de sus limitaciones en propiedades mecánicas y de barrera.

## Elaboración y Formulación de Empaques Fabricados con Pectina y/o Almidón

**Figura 8.**

*Diagrama de flujo proceso de elaboración de empaques a partir de pectina o almidón.*



**Tabla 12.***Etapas de elaboración de empaques.*

<b>Paso del Proceso</b>	<b>Pectina</b>	<b>Almidón</b>
Preparación de Materias Primas	La extracción de pectina se puede realizar mediante hidrólisis ácida o enzimática de cáscaras de cítricos o residuos de manzana.	Extracción de almidón mediante molienda húmeda de tubérculos o granos (maíz, papa, yuca).
Formulación de la Mezcla	Mezcla de pectina con agua, plastificantes (glicerol, sorbitol) y agentes de entrecruzamiento (iones calcio).	Mezcla de almidón con agua, plastificantes (glicerol, sorbitol) y aditivos opcionales (antioxidantes, antimicrobianos).
Homogeneización	Homogeneización a temperatura controlada para asegurar la disolución completa y uniformidad.	Homogeneización a temperatura controlada para lograr una dispersión uniforme del almidón y los aditivos.
Extrusión	Extrusión de la mezcla a través de una boquilla para formar películas delgadas.	Extrusión de la mezcla mediante un extrusor para formar láminas continuas.
Secado y Curado	Secado de las películas extruidas a temperaturas entre 50°C y 70°C, seguido de un curado térmico adicional.	Secado de las láminas a temperaturas entre 60°C y 80°C para eliminar el exceso de humedad y mejorar las propiedades mecánicas.
Corte y Moldeado	Corte y moldeado de las películas secas en la forma deseada para el empaque final.	Corte y moldeado de las láminas secas para formar los empaques finales según las especificaciones requeridas.
Acabado Final	Aplicación de recubrimientos adicionales (opcional) para	Aplicación de recubrimientos protectores (opcional) para aumentar la resistencia a la

---

mejorar las propiedades de barrera y resistencia al agua.	humedad y mejorar la durabilidad.
---	-----------------------------------

---

**Nota.** Representa las diferentes etapas de elaboración de empaques Adaptado de (Beltrán & Flórez, 2018).

### **preparación de películas**

Descripción: La mezcla formulada se disuelve en agua caliente y se vierte en moldes o placas para formar películas.

#### **Aspectos Técnicos:**

- Disolución: Uso de agitadores y calentadores para obtener una solución homogénea
- Vertido: Control del espesor de la película mediante técnicas de vertido controlado  
Espesor de las películas de 10 a 20 micras.
- Secado: Secado a temperatura controlada para obtener películas uniformes.

### **Composición de la mezcla de pectina y/o almidón**

La fabricación de empaques biodegradables a base de almidón de papa con adición de antioxidantes naturales como el almidón muestran propiedades mecánicas y de barrera adecuadas con una buena barrera contra el vapor de agua, sugiere a estos materiales como una alternativa ecológica y sostenible para sustituir los plásticos convencionales (Bajer, 2024).

### **Parámetros Físicoquímicos**

#### **pH**

- Pectina: El pH de las soluciones de pectina suele ser ácido, generalmente entre 3.0 y 4.0.

- Almidón: El pH de las suspensiones de almidón suele estar en un rango más neutro, entre 6.0 y 7.0.

### **Viscosidad**

Medida en centipoise (cP), la viscosidad de las soluciones de pectina y almidón es crucial para determinar la facilidad de procesamiento y la calidad del film.

- Pectina: Soluciones de pectina pueden tener viscosidades que varían entre 100 y 500 cP, dependiendo de la concentración y tipo de pectina.
- Almidón: Suspensiones de almidón típicamente tienen viscosidades entre 500 y 2000 cP.

Las propiedades reológicas como la viscosidad en la elaboración de películas a base de polisacáridos se deben controlar para garantizar el grosor uniforme del empaque, una adhesión adecuada entre sus capas y las propiedades de barrera óptimas para la correcta funcionalidad del empaque, el control de la viscosidad mejora la eficiencia del proceso en el proceso y asegura la calidad e integridad del empaque (García et al., 2022).

### **Concentración de Sólidos**

Generalmente medida en % w/v (peso/volumen), las concentraciones de pectina y almidón en las formulaciones deben ser optimizadas para lograr propiedades mecánicas y de barrera adecuadas.

- Pectina: Concentraciones típicas varían entre 1% y 5% w/v.
- Almidón: Concentraciones típicas varían entre 5% y 10% w/v.

### **Solubilidad**

La solubilidad de la pectina y almidón en agua es un parámetro importante, especialmente para la pectina que debe ser completamente disuelta para formar geles.

- Pectina: Altamente soluble en agua caliente.
- Almidón: Generalmente insoluble en agua fría, pero soluble en agua caliente.

### **Índice de Absorción de agua:**

El índice de absorción de agua es fundamental para garantizar la funcionalidad de empaques biodegradables porque la integridad del material se puede llegar a afectar en condiciones de alta humedad.

Pectina: Su capacidad de absorción de agua puede variar según el índice de esterificación que puede oscilar entre 3 y 8g de agua por gramo de pectina seca lo que refleja la capacidad para formar geles y retener la humedad.

Almidón: En el almidón el índice de absorción de agua varía dependiendo su fuente de extracción y si recibe algún tipo de modificación, este índice puede oscilar entre 1.5 a 5g de agua por gramo de almidón seco.

### **Temperatura de Gelificación**

La temperatura a la que las soluciones de pectina y almidón forman geles es crítica para el procesamiento y formación de films.

- Pectina: Generalmente forma geles a temperaturas entre 60°C y 80°C.
- Almidón: Gelifica a temperaturas entre 70°C y 90°C.

### **Propiedades Mecánicas**

- Resistencia a la tracción: Medida en megapascales (MPa), es crucial para evaluar la durabilidad del empaque.
- Elongación al quiebre: Expresada en porcentaje (%), indica la flexibilidad del material.

- Módulo de elasticidad: Mide la rigidez del material.

**Tabla 13.**

*Parámetros fisicoquímicos de la pectina y el almidón.*

<b>Parámetro</b>	<b>Pectina</b>	<b>Almidón</b>
<b>pH</b>	3.0 - 4.0	6.0 - 7.0
<b>Viscosidad (cP)</b>	100 - 500	500 - 2000
<b>Concentración de Sólidos</b>	1% - 5% w/v	5% - 10% w/v
<b>Solubilidad</b>	Soluble en agua caliente	Insoluble en agua fría
<b>Temperatura de Gelificación</b>	60°C - 80°C	70°C - 90°C
<b>Resistencia a la tracción</b>	20 - 50 MPa	30 - 70 MPa
<b>Elongación al quiebre (%)</b>	10% - 20%	5% - 15%
<b>Módulo de elasticidad (MPa)</b>	500 - 1000	600 - 1200

**Nota.** Representa los diferentes parámetros fisicoquímicos de la pectina y el almidón adaptado de (Zhai et al., 2021)

**Tabla 14.***Estabilidad de empaques pectina.*

<b>Parámetro de Estabilidad</b>	<b>Método de Evaluación</b>	<b>Resultados Esperados</b>
Resistencia a la Humedad	Exposición a diferentes niveles de humedad relativa	Baja absorción de humedad, mantenimiento de propiedades mecánicas.
Degradación Térmica	Ensayos de calor a diferentes temperaturas (50°C - 100°C)	Estabilidad térmica hasta 100°C, sin pérdida significativa de propiedades.
Estabilidad Mecánica	Pruebas de tracción y elongación a lo largo del tiempo	Conservación de la resistencia a la tracción y elongación al quiebre.
Resistencia a la Luz UV	Exposición a luz UV en cámara de envejecimiento acelerado	Mantenimiento de propiedades mecánicas y color después de 100 horas de exposición.
Propiedades de Barrera	Pruebas de permeabilidad al vapor de agua y gases (O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> )	Baja permeabilidad al vapor de agua y gases.
Estabilidad Microbiana	Ensayos de crecimiento microbiano en condiciones controladas	Ausencia de crecimiento significativo de mohos, levaduras y bacterias.
Durabilidad Física	Pruebas de resistencia al impacto y abrasión	Alta resistencia al impacto y mínima abrasión, manteniendo la integridad del empaque.

Compatibilidad Química	Exposición a diferentes sustancias químicas (ácidos, bases, aceites)	Resistencia a la degradación por sustancias químicas comunes en alimentos.
Degradación Biológica	Pruebas de biodegradabilidad en condiciones controladas	Degradación completa en condiciones de compostaje en 3-6 meses.
Estabilidad de Color	Evaluación del cambio de color bajo diferentes condiciones	Mantenimiento del color original sin decoloración significativa.
Resistencia al Agua	Ensayos de inmersión en agua por períodos prolongados	Baja absorción de agua, sin disolución o pérdida de integridad estructural.

**Nota.** Representa los análisis de estabilidad de la pectina adaptado de (Mellinas et al., 2020).

### **Propiedades Químicas y Físico Mecánicas Evaluadas en los Polímeros**

**Ensayos de tracción:** Es un método utilizado para evaluar las propiedades mecánicas como la resistencia a la tracción, el límite elástico y la ductilidad de los materiales y empaques fabricados a partir de polímeros (Cuaces et al., 2023).

**Coefficientes de fricción:** Este método evalúa la resistencia relativa al deslizamiento entre dos superficies en contacto. El coeficiente de fricción puede variar en función de los materiales que forman las superficies en contacto (López et al., 2019).

**Medición del espesor:** Es un proceso en el cual se determina la distancia entre dos superficies opuestas del material para proporcionar una medida precisa de su grosor, esta medición es esencial para garantizar la uniformidad y consistencia del material del empaque, porque puede llegar a afectar su rendimiento en términos de protección, sellado y manipulación de productos (Díaz et al., 2023).

**Ensayo Elmendorf:** Esta técnica permite medir la resistencia al desgarro de películas plásticas y/o materiales delgados, proporciona información sobre la fuerza requerida para rasgar un material a través de una incisión hecha en él y que pueden ocurrir durante la manipulación, transporte y uso del material (Diaz et al., 2023).

**Ensayo de laminación:** Este ensayo tiene como objetivo determinar la resistencia de la unión entre las capas de un material o película plástica. Se busca verificar si la adhesión es suficientemente fuerte para soportar las fuerzas que el material enfrentara mediante su uso habitual (Bernal et al., 2024)

**Prueba de impacto:** Es un método utilizado para evaluar la capacidad de un material para resistir cargas de alta velocidad y para determinar su tenacidad, fragilidad, sensibilidad a las muescas y resistencia al impacto (Diaz et al., 2023).

**Fuerza de sellado:** Es la resistencia que ofrece el sellado entre dos superficies, como las capas de un empaque o película, cuando se somete a una fuerza que intenta separarlas, una fuerza de sellado adecuada garantiza que el envase permanezca sellado durante todo el ciclo de vida útil del producto (Fritiani et al., 2023).

**Gramaje:** Es una medida importante en los empaques biodegradables, donde se refiere al peso del material la cual es expresada en gramos. Esta propiedad influye en diversas características del empaque, como su resistencia, durabilidad y rendimiento general (Diaz et al., 2023).

**Grosor:** Es una propiedad crítica en los empaques biodegradables, ya que afecta directamente su resistencia, funcionalidad y percepción de calidad, influye en la resistencia mecánica, propiedades de barrera, sensación y manipulación. A mayor espesor mayor durabilidad y robustez, a menor espesor el empaque es más flexible y liviano (castillo et al., 2021).

**Solubilidad al agua:** Esta técnica es de gran importancia en la fabricación de empaques biodegradables porque es la capacidad que el material tiene para disolverse en el agua y en la creación de estas películas se debe aplicar para determinar la resistencia del material (castillo et al., 2021).

$$\text{Formula: \%Solubilidad} = \frac{p_i - p_f}{p_i} * 100$$

Donde:

$$p_i = \text{peso inicial}$$

$$p_f = \text{peso final}$$

### **Pectina y Almidón: Una alternativa sostenible para la industria alimentaria**

La pectina y el almidón, derivados de fuentes naturales como frutas y cereales, se presentan como alternativas biodegradables, biocompatibles y funcionales a los envases plásticos convencionales en la industria alimentaria. Sus características permiten la creación de películas, recubrimientos, bandejas, rellenos, bolsas y envolturas para una variedad de productos, extendiendo la vida útil de los alimentos y disminuyendo el impacto ambiental del sector. La biodegradabilidad ayuda a reducir la contaminación plástica, la biocompatibilidad asegura la seguridad en el contacto con los alimentos y sus propiedades funcionales permiten desarrollar empaques adaptados a las necesidades específicas de cada producto. A pesar de los desafíos como el costo de fabricación y las limitaciones de infraestructura, la pectina y el almidón ofrecen un futuro prometedor para la innovación de envases sostenibles en la industria alimentaria, promoviendo una economía circular y protegiendo el medio ambiente (Marasinghe et al., 2024).

Tanto la pectina como el almidón juegan roles importantes en los empaques alimentarios sostenibles. La pectina se usa en la fabricación de películas comestibles y

recubrimientos para frutas y verduras, ofreciendo una barrera natural contra la humedad y el oxígeno, lo que contribuye a extender la vida útil de los productos frescos (Acuña, 2023). Por otro lado, el almidón se utiliza en la fabricación de bioplásticos y películas biodegradables que pueden utilizarse como envases para alimentos, ofreciendo una alternativa ecológica a los plásticos convencionales y reduciendo así el impacto ambiental negativo de los envases desechables. Estas aplicaciones no solo contribuyen a la conservación de alimentos, sino que también promueven la sostenibilidad al reducir la dependencia de materiales plásticos no renovables (Iza, 2022).

### Propiedades mecánicas y barrera

**Tabla 15.**

*Publicaciones de pico XRD.*

año	Materiales y Procedimiento de Fabricación	Pico	
		XRD	Autor
2024	Fabricación de Bioplástico	29,5	(Moreira et al., 2024)
	1 Materiales:		
	Cáscara de huevo micronizada		
	Almidón de yuca		
	Pectina de bajo metoxilo		
	Glicerol		
	Agua desionizada		
	2. Preparación de partículas de cáscara de huevo:		
	Lavado y ebullición de las cáscaras		
	Trituración en licuadora doméstica		
	Secado en horno de vacío		

---

Reducción de tamaño mediante molienda de bolas y

chorro de aire

3.Preparación de la solución filmógena:

Gelatinización del almidón a 75-80°C

Preparación de la solución de pectina a 25°C

Mezcla de ambas soluciones con glicerol

Adición de partículas de cáscara de huevo y dispersión

por ultrasonido

4.Producción de biocomposites:

Proceso de casting continuo usando un sustrato móvil de

Mylar

Pre-secado con infrarrojos y secado en cámara a 100°C

Recolección del film seco en un carrete.

---

<b>2024</b>	1.Materiales:	29,8	(Xu et al.,
	Pectina (extraída de frutas cítricas)		2024)
	Almidón de carboximetil sodio (CMS)		
	Polvo de cáscara de huevo (ES)		
	Epigallocatechin gallate (EGCG)		
	Glicerol		
	2.Preparación del polvo de cáscara de huevo (ES):		
	Lavar y secar cáscaras de huevo a 80°C por 2 horas		
	Triturar y tamizar a través de 300 mallas		
	Preparación de la solución de recubrimiento:		
	Mezclar pectina, CMS y glicerol en agua y calentar a		
	90°C por 15 minutos		

---

---

Añadir suspensión de ES o ES@EGCG

Enfriar a temperatura ambiente y verter en placas de teflón para secar a 45°C por 24 horas

4. Recubrimiento de fresas:

Sumergir las fresas en la solución de recubrimiento por 10 segundos

Secar al aire por 1 minuto y repetir el procedimiento dos veces

---

<b>2023</b>	<p>1. Materiales:</p> <p>Cáscaras de fruta del dragón (obtenidas en tienda local)</p> <p>Almidón de yuca</p> <p>Cianidina (extraída de arándanos)</p> <p>Alizarina</p> <p>Glicerol</p> <p>2. Preparación de la solución de recubrimiento:</p> <p>Hervir las cáscaras de fruta del dragón durante 5 minutos en agua destilada para desactivar la pectinasa.</p> <p>Secar las cáscaras a 50 °C en un horno de aire caliente.</p> <p>Pulverizar las cáscaras secas a través de un tamiz de malla 50.</p> <p>Extraer pectina de la cáscara de la fruta del dragón mezclando el polvo seco con ácido cítrico al 1%, centrifugando y mezclando con etanol anhidro para obtener pectina cruda.</p>	29,8	(Zhang et al., 2023)
-------------	---	------	----------------------

---

---

<p>Disolver almidón de yuca en agua y gelatinizar a 75 °C durante 30 minutos.</p> <p>Añadir pectina, glicerol y pigmentos naturales (cianidina y alizarina) y mezclar a 45 °C durante 2 horas.</p> <p>Verter la solución de recubrimiento en placas de Petri y secar a 25 °C y 50% HR durante 24 horas.</p>			
<p><b>2020</b></p> <p>El almidón de maíz normal se encapsuló con diferentes concentraciones de pectina de bajo metoxilo (2-7%, p/v) utilizando el método de gelación iónica. Las mezclas se inyectaron en la solución de cloruro de calcio (5%, p/v) mediante un aparato de electrohilado. Las partículas resultantes se agitaron suavemente, se filtraron y se secaron a 40°C durante la noche.</p>	19,6	(Shafie et al.,	2020)
<p><b>2023</b></p> <p>Las películas biodegradables basadas en almidón de maíz (CST) y pectina (PEC) se produjeron mediante el método de fundición. El PVA (0.75 g) y el glicerol (0.75 g) se disolvieron en agua destilada (100 mL) bajo agitación mecánica a 500 rpm. Se introdujo el CST previamente disuelto en la solución de PEC y se agitó durante 20 minutos. La mezcla resultante (100 mL) se calentó en un baño de agua a 80 ± 2 °C hasta su completa solubilización. Luego se añadieron ZnONPs (nanopartículas de óxido de zinc) a la mezcla para</p>	25	(Fiedot et al.,	2024)

---

---

	<p>producir las películas compuestas. Las soluciones se transfirieron a placas de Petri y se secaron en horno a <math>40 \pm 2</math> °C durante 16 horas. Las películas se almacenaron en sobres de papel pergamino y se colocaron en un desecador al vacío para su análisis posterior.</p>		
<b>2023</b>	<p>El almidón de maíz normal se encapsuló con diferentes concentraciones de pectina de bajo metoxilo (2-7%, p/v) utilizando el método de gelación iónica. Las mezclas se inyectaron en la solución de cloruro de calcio (5%, p/v) mediante un aparato de electrohilado. Las partículas resultantes se agitaron suavemente, se filtraron y se secaron a 40°C durante la noche.</p>	18	(Kraithong et al., 2023)
<b>2021</b>	<p>Materiales Utilizados:</p> <p>Almidón (Cassava S/A)</p> <p>Pectina de alta metoxilación (75.7%)</p> <p>Glicerol</p> <p>Ácido esteárico</p> <p>Ácido cítrico</p> <p>Lignina aislada de licor negro kraft</p> <p>2.Producción de Pellets de Almidón Termoplástico (TPS):</p> <p>Mezcla de almidón seco, glicerol, agua destilada, ácido esteárico y ácido cítrico.</p> <p>Extrusión a varias combinaciones de temperatura.</p> <p>Pelletado del material extruido.</p>	17,1	(de Oliveira Begali et al., 2021)

---

---

	3.Producción de Pellets de Pectina Termoplástica (TPP):		
	Mezcla de pectina, glicerol, agua destilada y ácido cítrico.		
	Extrusión a varias combinaciones de temperatura.		
	Pelleteado del material extruido.		
	4.Preparación de las Mezclas:		
	Mezcla de pellets de TPS y TPP con y sin la		
	incorporación de micropartículas de lignina (MPL).		
	Extrusión a varias combinaciones de temperatura.		
	Prensado en caliente de las mezclas extruidas.		
<b>2024</b>	1.Materiales Utilizados:	19	(Santana et
	Pectina cítrica (PEC) con un grado de metil esterificación		al., 2024)
	del 75.7%		
	Glicerol como plastificante (30% p/p de pectina)		
	Limoneno (LIM) y su derivado oligomérico (PLM) en		
	proporciones de 10% y 20% (p/p de pectina)		
	Tween 80 (0.1% p/p) como emulsionante		
	2.Preparación de las Películas:		
	Soluciones formadoras de películas con 4% (p/p) de		
	pectina y las proporciones de LIM y PLM especificadas.		
	Las soluciones se vertieron en placas de Petri de		
	poliestireno de 14 cm de diámetro y se secaron en un		
	horno a 40 °C durante 24 horas.		
<b>2024</b>	Materiales Utilizados:	21	(Qiang et al.,
	Pectina de bajo metoxilo ( $\geq 98\%$ , DM 27%)		2024)
	Vanillina ( $\geq 99\%$ )		

---

---

Ácido para-toluenosulfónico (PTSA,  $\geq 99\%$ )

Glicerol ( $\geq 98\%$ )

FeCl<sub>3</sub> en diferentes concentraciones (0.05 wt%, 0.10 wt%, 0.15 wt%, 0.20 wt%, y 0.25 wt%)

2.Preparación de las Películas:

O Disolver 5 g de pectina y 0.05 g de vanillina en 100 mL de agua desionizada y agitar a 70 °C durante 30 minutos.

Añadir 0.1 g de PTSA y agitar por 4 horas.

Añadir glicerol (40% p/p basado en la masa sólida de pectina) y agitar a alta velocidad por 2 minutos.

Dializar la solución resultante en una bolsa de diálisis con un corte de peso molecular de 2000 a 40 °C durante dos días.

Verter las mezclas resultantes en placas recubiertas de

Teflón y secar a temperatura ambiente ( $\sim 25$  °C,  $\sim 42\%$  de humedad relativa) durante 48 horas.

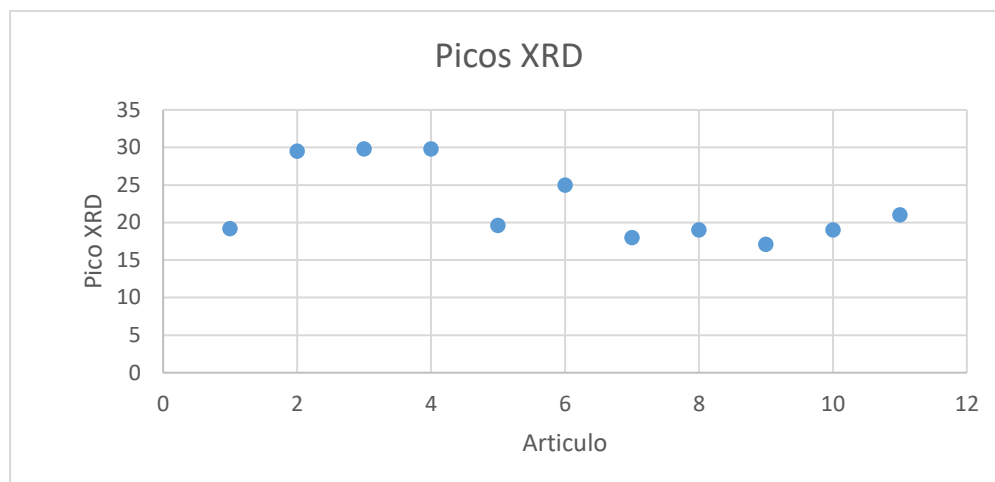
---

**Nota.** Representa los picos XRD expuestos en los diferentes artículos adaptado de (Moreira et al., 2024), (Xu et al., 2024), (Zhang et al., 2023), (Fiedot et al., 2024), (Kraithong et al., 2023), (Vázquez-Luna et al., 2019), (Santana et al., 2024), (Qiang et al., 2024), (Shafie et al., 2020), (de Oliveira Begali et al., 2021).

## Resultados obtenidos en las diferentes publicaciones de pico XRD

**Figura 9.**

*Picos XRD*



El análisis de los datos XRD de las biopelículas de pectina/almidón y otros materiales muestra picos principales en ángulos de  $2\theta$  aproximadamente en  $19.2^\circ$ ,  $29.5^\circ$ ,  $29.8^\circ$ ,  $19.6^\circ$ ,  $25^\circ$ ,  $18^\circ$ ,  $19^\circ$ ,  $17.1^\circ$ , y  $21^\circ$ , con intensidades correspondientes que oscilan entre 17 y 30 unidades. Los picos en  $29.5^\circ$  y  $29.8^\circ$  sugieren planos cristalinos cercanos, posiblemente indicando la misma fase cristalina o fases muy similares, mientras que los demás picos representan diferentes distancias interplanares y, por lo tanto, diferentes fases cristalinas o variaciones en la orientación de los cristales. Este patrón de difracción revela la complejidad estructural y la diversidad de fases presentes en las biopelículas, reflejando la influencia de los distintos componentes y aditivos utilizados en su preparación, las cuales afectan la organización cristalina del material y, por ende, sus propiedades físico-químicas y mecánicas.

El análisis de los resultados logrados en las diferentes publicaciones de pico XRD considera la posición, la intensidad y los factores que afectan las características cristalinas del material como eje fundamental para la elaboración de empaques biodegradables.

En los últimos años, la fabricación de bioplásticos ha venido evolucionando en cuanto a materiales y procedimientos, en 2024 estudios realizados por Xu et al., (2024), utilizaron materiales innovadores como cascara de huevo, pectina de bajo metoxilo y almidón de yuca con aplicación de métodos avanzados como el casting continuo y la preparación y soluciones filmo genas para la fabricación de recubrimientos funcionales. por su parte Zhang et al., (2023) y Fiedot et al., (2024) exploraron en la incorporación de pigmentos naturales y nanopartículas para mejorar las propiedades de las películas biodegradables. Seguidamente, Santana et al., (2024) y Qiang et al., (2024) experimentaron con diferentes aditivos y técnicas de secado para optimizar las características finales de los bioplásticos. Además, trabajos de años anteriores como Shafie et al., (2020) y Oliveira et al., (2021) han establecido fundamentos claves en el uso de pectina y almidón destacando la importancia de la preparación y el control de las condiciones de secado.

Este avance muestra un continuo esfuerzo hacia la sostenibilidad y funcionamiento de los bioplásticos con avances significativos en la personalización de sus propiedades para aplicaciones específicas en diferentes industrias como la alimentaria.

**Tabla 16.***Publicaciones % pérdida de masa.*

<b>año</b>	<b>Materiales y Procedimiento de Fabricación</b>	<b>% pérdida de masa</b>	<b>Autor</b>
<b>2018</b>	Se empleó un diseño de experimentos multifactorial $2^3$ , considerando tres factores: la concentración de pectina (4% y 6% p/v), el aceite mineral (2% y 6% p/v) y el glicerol como plastificante (3% y 6% p/v). Esto dio lugar a un total de 8 tratamientos. Cada tratamiento se replicó 5 veces, resultando en 40 corridas experimentales en total. Las variables de respuesta evaluadas fueron el porcentaje de elongación (%) y la resistencia a la tracción (MPa). El análisis del diseño se realizó mediante un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95%, y se estableció la mejor formulación a través de un análisis de optimización de múltiples respuestas. El software utilizado para el análisis fue Statgraphics Centurión XV.II.	50,69%	(López et al., 2019)
<b>2024</b>	1.Materiales: Cáscara de huevo micronizada,Almidón de yuca, Pectina de bajo	42%.	(Moreira et al., 2024)

---

metoxilo, Glicerol, Agua desionizada

2.Preparación de partículas de cáscara de huevo:

Lavado y ebullición de las cáscaras

Trituración en licuadora doméstica

Secado en horno de vacío

Reducción de tamaño mediante molienda de

bolas y chorro de aire

3.Preparación de la solución filmógena:

Gelatinización del almidón a 75-80°C

Preparación de la solución de pectina a 25°C

Mezcla de ambas soluciones con glicerol

Adición de partículas de cáscara de huevo y

dispersión por ultrasonido

4.Producción de biocomposites:

Proceso de casting continuo usando un sustrato

móvil de Mylar

Pre-secado con infrarrojos y secado en cámara a

100°C

Recolección del film seco en un carrete

---

<b>202</b>	1.Materiales:	70%	(Xu et
<b>4</b>	Pectina (extraída de frutas cítricas)		al.,
	Almidón de carboximetil sodio (CMS)		2024)
	Polvo de cáscara de huevo (ES)		
	Epigallocatechin gallate (EGCG)		
	Glicerol		

---

---

## 2. Preparación del polvo de cáscara de huevo

(ES):

Lavar y secar cáscaras de huevo a 80°C por 2 horas

Triturar y tamizar a través de 300 mallas

Preparación de la solución de recubrimiento:

Mezclar pectina, CMS y glicerol en agua y calentar a 90°C por 15 minutos

Añadir suspensión de ES o ES@EGCG

Enfriar a temperatura ambiente y verter en placas de teflón para secar a 45°C por 24 horas

## 4. Recubrimiento de fresas:

Sumergir las fresas en la solución de recubrimiento por 10 segundos

Secar al aire por 1 minuto y repetir el procedimiento dos veces.

---

<b>202</b>	1. Materiales: Cáscaras de fruta del dragón	50%	(Zhang
<b>3</b>	(obtenidas en tienda local)		et al.,
	Almidón de yuca		2023)
	Cianidina (extraída de arándanos)		
	Alizarina		
	Glicerol		
	2. Preparación de la solución de recubrimiento:		

---

---

Hervir las cáscaras de fruta del dragón durante 5 minutos en agua destilada para desactivar la pectinasa.

Secar las cáscaras a 50 °C en un horno de aire caliente.

Pulverizar las cáscaras secas a través de un tamiz de malla 50.

Extraer pectina de la cáscara de la fruta del dragón mezclando el polvo seco con ácido cítrico al 1%, centrifugando y mezclando con etanol anhidro para obtener pectina cruda. Disolver almidón de yuca en agua y gelatinizar a 75 °C durante 30 minutos.

Añadir pectina, glicerol y pigmentos naturales (cianidina y alizarina) y mezclar a 45 °C durante 2 horas.

Verter la solución de recubrimiento en placas de Petri y secar a 25 °C y 50% HR durante 24 horas.

---

<b>202</b>	Los bioplásticos fueron desarrollados mediante	29%	(Quilez-
<b>3</b>	casting de solventes. Se realizaron experimentos preliminares utilizando tres diferentes proporciones de pectina a almidón de guisante (PS): 1:3, 1:2 y 1:1 (p/p). Se eligió una proporción 1:3 (p/p) de pectina-PS para desarrollar las películas compuestas según las		Molina et al., 2023)

---

	propiedades óptimas mecánicas y de barrera al agua.		
<b>202</b>	<p>Materiales Utilizados: Pectina cítrica (PEC) con un grado de metil esterificación del 75.7%</p> <p>Glicerol como plastificante (30% p/p de pectina)</p> <p>Limoneno (LIM) y su derivado oligomérico (PLM) en proporciones de 10% y 20% (p/p de pectina)</p> <p>Tween 80 (0.1% p/p) como emulsionante</p> <p>2.Preparación de las Películas:</p> <p>Soluciones formadoras de películas con 4% (p/p) de pectina y las proporciones de LIM y PLM especificadas.</p> <p>Las soluciones se vertieron en placas de Petri de poliestireno de 14 cm de diámetro y se secaron en un horno a 40 °C durante 24 horas.</p>	70%	(Santana et al., 2024)
<b>202</b>	<p>1.Materiales Utilizados:</p> <p>Pectina de bajo metoxilo (<math>\geq 98\%</math>, DM 27%)</p> <p>Vanillina (<math>\geq 99\%</math>)</p> <p>Ácido para-toluenosulfónico (PTSA, <math>\geq 99\%</math>)</p> <p>Glicerol (<math>\geq 98\%</math>)</p> <p>FeCl<sub>3</sub> en diferentes concentraciones (0.05 wt%, 0.10 wt%, 0.15 wt%, 0.20 wt%, y 0.25 wt%)</p> <p>2.Preparación de las Películas:</p>	27%	(Qiang et al., 2024)

---

oDisolver 5 g de pectina y 0.05 g de vanillina en

100 mL de agua desionizada y agitar a 70 °C

durante 30 minutos.

Añadir 0.1 g de PTSA y agitar por 4 horas.

Añadir glicerol (40% p/p basado en la masa sólida de pectina) y agitar a alta velocidad por 2 minutos.

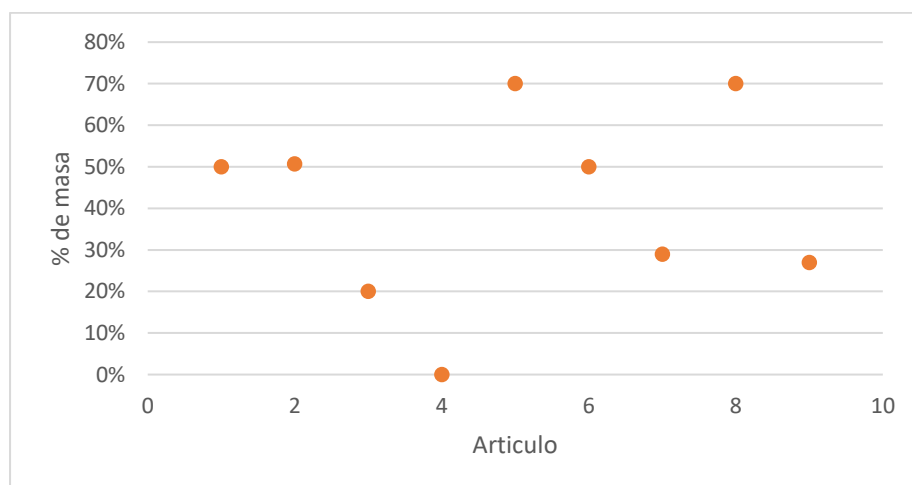
Dializar la solución resultante en una bolsa de diálisis con un corte de peso molecular de 2000 a 40 °C durante dos días. Verter las mezclas resultantes en placas recubiertas de Teflón y secar a temperatura ambiente (~25 °C, ~42% de humedad relativa) durante 48 horas.

---

**Nota.** Representa la publicaciones de perdida de masa Adaptado de (López et al., 2019), (Moreira et al., 2024) , (Xu et al., 2024), (Zhang et al., 2023), (Zhang et al., 2023), (Quilez-Molina et al., 2023), (Santana et al., 2024), (Qiang et al., 2024).

### Figura 10.

*Porcentaje pérdida de masa*



En este ítem, se evaluó El porcentaje de pérdida de masa este un indicador clave de la biodegradabilidad y estabilidad de los empaques elaborados a partir de almidón y pectina en comparación con los empaques tradicionales. Verificando los datos expuestos en la gráfica, los empaques de almidón y pectina muestran una variabilidad significativa en el porcentaje de pérdida de masa, que va desde 20% hasta 70%. Esto nos muestra que la biodegradabilidad puede variar dependiendo de la formulación y los aditivos utilizados en los empaques de almidón y pectina.

Dicho lo anterior, los empaques tradicionales suelen tener una menor biodegradabilidad en comparación con los empaques de almidón y pectina. Los plásticos convencionales pueden tardar cientos de años en degradarse completamente en el medio ambiente, lo que contribuye significativamente a la acumulación de residuos. Es por eso que los empaques de almidón y pectina ofrecen una mayor biodegradabilidad y, por lo tanto, tienen un menor impacto ambiental a lo largo de su ciclo de vida (Alvarez et al., 2024).

Además, La tabla nos muestra diferentes enfoques en la fabricación de bioplásticos y sus respectivas pérdidas de masa. Los estudios más recientes (2024) muestran una amplia gama en el porcentaje de pérdida de masa, que varía desde un mínimo de 27% Qiang et al., (2024) hasta un máximo de 70% Xu et al., (2024) y Santana et al., (2024). La pérdida de masa está dada por factores como el tipo y concentración de materiales utilizados, así como los métodos de secado. Por ejemplo, el uso de cáscaras de huevo micronizadas y almidón de yuca Moreira et al., (2024) resulta en una pérdida de masa del 42%, mientras que la incorporación de pectina cítrica y limoneno Santana et al., (2024) da lugar a una pérdida del 70%. Los métodos de preparación, como el secado a temperaturas específicas y el uso de diversos aditivos, juegan un papel crucial en estas variaciones. A diferencia de los estudios realizados en años anteriores (2018 y 2023) que muestran pérdidas de masa de 50% y 29%, respectivamente, reflejando menos variabilidad en los procedimientos y materiales

empleados. Lo que nos muestra que la formulación y el proceso de secado son determinantes clave en la estabilidad y eficiencia de los bioplásticos.

**Tabla 17.**

*Elongación de rotura (%).*

<b>año</b>	<b>Materiales y Procedimiento de Fabricación</b>	<b>Elongación de rotura (%)</b>	<b>Autor</b>
<b>2018</b>	Se utilizó un diseño de experimentos multifactorial 23, se utilizaron como factores de estudio la concentración de pectina (4% y 6% p/v) aceite mineral (2% y 6% p/v) y glicerol como plastificante (3% y 6% p/v) para un total de 8 tratamientos (Tabla 1), se realizaron 5 réplicas para cada tratamiento para un total de 40 corridas experimentales, como variables de respuesta se evaluaron el porcentaje de elongación (%) y resistencia a la tracción (MPa). El diseño se analizó mediante un análisis de varianza ANOVA al 95% de confiabilidad y se determinó la mejor formulación con un análisis de optimización de múltiples respuestas. Se utilizó el software Statgraphics Centurión XV.II.	4,39%	(López et al., 2019)
<b>2024</b>	Los KGM, XG y GA se disolvieron en agua desionizada (200 ml) y se agitaron a 90 °C durante 3 h. Luego se vertieron los soles (80 g) en el molde circular con un diámetro de 15 cm y se dejaron durante la noche para obtener las películas de hidrogel a 25 °C.	1%	(Fiedot et al., 2024)

---

Finalmente, las películas de hidrogel se secaron en una estufa a 60 °C durante 12 h para obtener las películas compuestas. Las películas con contenidos variados de KGM, XG y GA se prepararon y codificaron como KGM, KX-4, KX-8, KX-12, KX-16, KX-20, KGM-G, KXG. -4, KXG-8, KXG-12, KXG-16 y KXG-20, respectivamente.

---

<b>2024</b>	El procedimiento de fabricación del bioplástico generalmente implica la fermentación de carbohidratos en fuentes como maíz, caña de azúcar o yuca para producir ácido láctico, que luego se polimeriza para formar poliácido láctico (PLA)	2,40%	(Yao et al., 2024)
<b>2024</b>	<p>1.Materiales:</p> <p>Cáscara de huevo micronizada,Almidón de yuca, Pectina de bajo metoxilo, Glicerol, Agua desionizada</p> <p>2.Preparación de partículas de cáscara de huevo:</p> <p>Lavado y ebullición de las cáscaras</p> <p>Trituración en licuadora doméstica</p> <p>Secado en horno de vacío</p> <p>Reducción de tamaño mediante molienda de bolas y chorro de aire</p> <p>3.Preparación de la solución filmógena:</p> <p>Gelatinización del almidón a 75-80°C</p> <p>Preparación de la solución de pectina a 25°C</p> <p>Mezcla de ambas soluciones con glicerol</p>	0,39%	(Moreira et al., 2024)

---

---

Adición de partículas de cáscara de huevo y dispersión por ultrasonido

4.Producción de biocomposites:

Proceso de casting continuo usando un sustrato móvil de Mylar

Pre-secado con infrarrojos y secado en cámara a 100°C

Recolección del film seco en un carrete

---

<b>2024</b>	1.Materiales:	0,39%	(Xu et
	Pectina (extraída de frutas cítricas)		al.,
	Almidón de carboximetil sodio (CMS)		2024)
	Polvo de cáscara de huevo (ES)		
	Epigallocatechin gallate (EGCG)		
	Glicerol		
	2.Preparación del polvo de cáscara de huevo (ES):		
	Lavar y secar cáscaras de huevo a 80°C por 2 horas		
	Triturar y tamizar a través de 300 mallas		
	Preparación de la solución de recubrimiento:		
	Mezclar pectina, CMS y glicerol en agua y calentar a 90°C por 15 minutos		
	Añadir suspensión de ES o ES@EGCG		
	Enfriar a temperatura ambiente y verter en placas de teflón para secar a 45°C por 24 horas		
	4.Recubrimiento de fresas:		
	Sumergir las fresas en la solución de recubrimiento por 10 segundos		

---

---

Secar al aire por 1 minuto y repetir el procedimiento  
dos veces

---

<b>2023</b>	1.Materiales:	20%	(Zhang et al., 2023)
	Cáscaras de fruta del dragón (obtenidas en tienda local)		
	Almidón de yuca		
	Cianidina (extraída de arándanos)		
	Alizarina		
	Glicerol		
	2.Preparación de la solución de recubrimiento:		
	Hervir las cáscaras de fruta del dragón durante 5 minutos en agua destilada para desactivar la pectinasa.		
	Secar las cáscaras a 50 °C en un horno de aire caliente.		
	Pulverizar las cáscaras secas a través de un tamiz de malla 50.		
	Extraer pectina de la cáscara de la fruta del dragón mezclando el polvo seco con ácido cítrico al 1%, centrifugando y mezclando con etanol anhidro para obtener pectina cruda.		
	Disolver almidón de yuca en agua y gelatinizar a 75 °C durante 30 minutos.		
	Añadir pectina, glicerol y pigmentos naturales (cianidina y alizarina) y mezclar a 45 °C durante 2 horas.		

---

---

Verter la solución de recubrimiento en placas de Petri  
y secar a 25 °C y 50% HR durante 24 horas.

---

<b>2023</b>	Dev1. Materiales:	3%	(Song
	Hojas de brócoli		et al.,
	Almidón de tapioca (grado alimenticio)Pectina (grado		2023)
	de metoxilación $\geq 70\%$ , ácido galacturónico $\geq 65\%$ )		
	Glicerol		
	2.Extracción y purificación de los polifenoles de hojas		
	de brócoli (BLP):		
	Lavar las hojas de brócoli y secar a 50°C.		
	Pulverizar las hojas secas en polvo fino.		
	Extraer los polifenoles con etanol al 85% mediante		
	ultrasonidos a 40°C durante 41 minutos.		
	Centrifugar, secar el sobrenadante y purificar los		
	polifenoles mediante precipitación con iones		
	metálicos.		
	3.Preparación de las películas compuestas TSP+BLP:		
	Disolver 5 gramos de almidón de tapioca en 200 ml de		
	agua destilada, agitar a 71°C durante 41 minutos.		
	Añadir 25% de glicerol (base seca) y agitar durante 30		
	minutos a 71°C.		
	Añadir los BLP a concentraciones de 0%, 1%, 3% y		
	5% y sonicar durante 1 hora.		
	Verter 30 ml de la solución filmógena en placas de		
	vidrio y secar a 45°C durante 10 horas.		

---

<b>2023</b>	Los bioplásticos fueron desarrollados mediante casting de solventes. Se realizaron experimentos preliminares utilizando tres diferentes proporciones de pectina a almidón de guisante (PS): 1:3, 1:2 y 1:1 (p/p). Se eligió una proporción 1:3 (p/p) de pectina-PS para desarrollar las películas compuestas según las propiedades óptimas mecánicas y de barrera al agua.	63%	(Quilez -Molina et al., 2023)
<b>2024</b>	Se formuló una suspensión de pectina (4%) en agua y se incubó en un baño de agua a 30°C durante 30 minutos. Luego se calentó a 60°C. Cada tipo de almidón de papa se mezcló con agua para obtener una solución al 4%, se gelatinizó a 90°C durante 30 minutos y se enfrió a temperatura ambiente. Las soluciones de pectina y almidón se mezclaron bien, se añadió glicerol al 20% del volumen total de la mezcla, y se agitó a 100 rpm y 60°C durante 30 minutos. La mezcla se filtró, centrifugó y vertió en platos de Petri, donde se secó a 60°C durante 24 horas. Luego, las películas se sumergieron en una solución de glutaraldehído al 20% en etanol durante 30 minutos, se secaron a 60°C durante 24 horas y se almacenaron en desecadores a 25°C para análisis posteriores.	46,00%	(Qiang et al., 2024)
<b>2021</b>	El almidón de maíz nativo se gelatinizó en presencia de glicerol y diferentes concentraciones de cáscara de naranja (0, 10, 20 y 40% en peso, respecto al almidón)	8,50%	(Santos et al., 2021)

---

en medios de reacción de agua o ácido (HCl o ácido acético en concentraciones de 0.1 M y 1 M). Después de la mezcla y gelatinización, la solución se vertió en placas de Petri y se dejó secar. La prehidrolisis de la cáscara de naranja se realizó agitando la concentración deseada con ácido durante 24 horas a temperatura ambiente, seguido por la adición a la solución de almidón.

---

<b>2024</b>	<p>1.Materiales Utilizados: Pectina cítrica (PEC) con un grado de metil esterificación del 75.7%</p> <p>Glicerol como plastificante (30% p/p de pectina)</p> <p>Limoneno (LIM) y su derivado oligomérico (PLM) en proporciones de 10% y 20% (p/p de pectina)</p> <p>Tween 80 (0.1% p/p) como emulsionante</p> <p>2.Preparación de las Películas:</p> <p>Soluciones formadoras de películas con 4% (p/p) de pectina y las proporciones de LIM y PLM especificadas.</p> <p>Las soluciones se vertieron en placas de Petri de poliestireno de 14 cm de diámetro y se secaron en un horno a 40 °C durante 24 horas.</p>	0,95%	(Santa na et al., 2024)
<b>2024</b>	<p>1.Materiales Utilizados:</p> <p>Pectina de bajo metoxilo (<math>\geq 98\%</math>, DM 27%)</p> <p>Vanillina (<math>\geq 99\%</math>)</p> <p>Ácido para-toluenosulfónico (PTSA, <math>\geq 99\%</math>)</p>	6,1%	(Qiang et al., 2024)

---

---

Glicerol ( $\geq 98\%$ )

FeCl<sub>3</sub> en diferentes concentraciones (0.05 wt%, 0.10 wt%, 0.15 wt%, 0.20 wt%, y 0.25 wt%)

## 2.Preparación de las Películas:

oDisolver 5 g de pectina y 0.05 g de vanillina en 100 mL de agua desionizada y agitar a 70 °C durante 30 minutos.

Añadir 0.1 g de PTSA y agitar por 4 horas.

Añadir glicerol (40% p/p basado en la masa sólida de pectina) y agitar a alta velocidad por 2 minutos.

Dializar la solución resultante en una bolsa de diálisis con un corte de peso molecular de 2000 a 40 °C durante dos días.

Verter las mezclas resultantes en placas recubiertas de Teflón y secar a temperatura ambiente (~25 °C, ~42% de humedad relativa) durante 48 horas

---

<b>2020</b>	1.Materiales Utilizados:	2,76%	(Shafie
	Pectina de Averrhoa bilimbi (ABP) extraída utilizando un solvente eutéctico profundo (DES) a razones molares de 3:1, 1:1 y 1:3 (ABP3:1, ABP1:1 y ABP1:3).		et al.,
	DES conteniendo cloruro de colina y ácido cítrico monohidratado en una proporción molar de 1:1 usado como plastificante.		2020)

---

---

Cloruro de magnesio ( $MgCl_2$ ), nitrato de magnesio ( $Mg(NO_3)_2$ ), cloruro de sodio ( $NaCl$ ) y nitrato de potasio ( $KNO_3$ ) para crear diferentes humedades relativas.

## 2.Preparación de las Películas:

Disolver ABP en agua desionizada a una concentración de 2% (p/v) con agitación rápida a 250 rpm durante 5 horas.

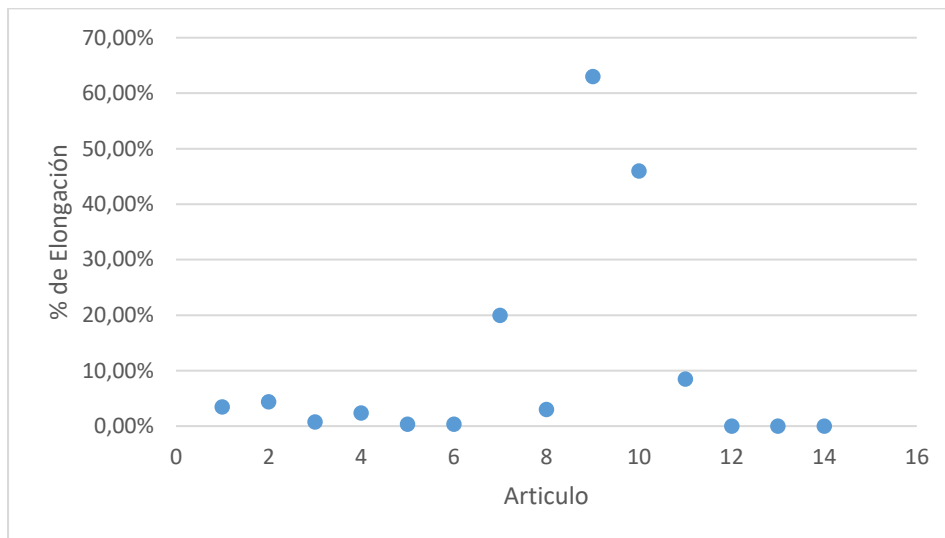
Añadir el plastificante (DES) a la solución viscosa de ABP para una concentración final de 1% (p/p) y agitar durante 15 minutos.

Centrifugar la mezcla durante 5 minutos a 1000 rpm para eliminar burbujas de aire.

Verter 50 g de la mezcla en placas de polipropileno y secar a temperatura ambiente para obtener las películas autoportantes.

---

**Nota:** Representa la publicaciones de elongación de rotura Adaptado de (López et al., 2019), (Moreira et al., 2024) , (Xu et al., 2024), (Zhang et al., 2023), (Zhang et al., 2023), (Quilez et al., 2023), (Santana et al., 2024), (Qiang et al., 2024).

**Figura 11.***Porcentaje de elongación de rotura*

En los diferentes datos encontrados y analizados, se observa gran variedad en los valores de elongación de rotura, estos valores nos indican la capacidad de estiramiento y deformación antes de la rotura de los empaques elaborados con pectina, almidón y otros polisacáridos. Se observa una variación significativa en estos valores, desde niveles bajos de elongación (1% a 4.39%) hasta niveles muy altos (63% a 46%). Estas diferencias pueden reflejar distintas formulaciones, métodos de preparación, aditivos utilizados en los materiales estudiados.

En la tabla observamos que en cuanto a elongación de rotura de los diferentes bioplásticos se evidencia variabilidad en las propiedades mecánicas obtenidas a partir de distintas combinaciones de materiales y métodos de preparación. López et al., (2019), reporta una elongación de rotura de 4.39% para bioplásticos elaborados con pectina, aceite mineral y glicerol. Por otra parte, estudios realizados en 2024 muestran una amplia gama desde 0,39% seguido por Moreira et al., (2024) hasta un máximo de 63% obtenido por Quilez et al., (2023), utilizando pectina y almidón de guisante. Este rango tan amplio de sugiere que la

selección de materiales y métodos de procesamiento, como temperatura y tiempos de secado tienen un impacto significativo en las propiedades mecánicas de bioplásticos.

**Tabla 18.**

*Módulo de tracción (Mpa).*

<b>Año</b>	<b>Materiales y Procedimiento de Fabricación</b>	<b>Módulo de tracción (Mpa)</b>	<b>Autor</b>
<b>2018</b>	Se empleó un diseño de experimentos multifactorial $2^3$ , considerando tres factores: la concentración de pectina (4% y 6% p/v), el aceite mineral (2% y 6% p/v) y el glicerol como plastificante (3% y 6% p/v). Esto dio lugar a un total de 8 tratamientos (ver Tabla 1). Cada tratamiento se replicó 5 veces, resultando en 40 corridas experimentales en total. Las variables de respuesta evaluadas fueron el porcentaje de elongación (%) y la resistencia a la tracción (MPa). El análisis del diseño se realizó mediante un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95%, y se determinó la mejor formulación a través de un análisis de optimización de múltiples respuestas. El software utilizado para el análisis fue Statgraphics Centurión XV.II.	18,9	(López et al., 2019)
<b>2024</b>	El procedimiento de fabricación del bioplástico generalmente implica la fermentación de carbohidratos en fuentes como maíz, caña de azúcar	89	(Yao et al., 2024)

---

	o yuca para producir ácido láctico, que luego se polimeriza para formar poliácido láctico (PLA)		
<b>2024</b>	<p>1.Materiales: Cáscara de huevo micronizada, Almidón de yuca, Pectina de bajo metoxilo, Glicerol, Agua desionizada</p> <p>2.Preparación de partículas de cáscara de huevo: Lavado y ebullición de las cáscaras Trituración en licuadora doméstica Secado en horno de vacío Reducción de tamaño mediante molienda de bolas y chorro de aire</p> <p>3.Preparación de la solución filmógena: Gelatinización del almidón a 75-80°C Preparación de la solución de pectina a 25°C Mezcla de ambas soluciones con glicerol Adición de partículas de cáscara de huevo y dispersión por ultrasonido</p> <p>4.Producción de biocomposites: Proceso de casting continuo usando un sustrato móvil de Mylar Pre-secado con infrarrojos y secado en cámara a 100°C Recolección del film seco en un carrete</p>	1,38	(Moreira et al., 2024)
<b>2024</b>	<p>1.Materiales:Pectina (extraída de frutas cítricas),Almidón de carboximetil sodio (CMS),</p>	12,6 8	(Xu et al., 2024)

---

---

Polvo de cáscara de huevo (ES), Epigallocatechin gallate (EGCG), Glicerol

2.Preparación del polvo de cáscara de huevo (ES):

Lavar y secar cáscaras de huevo a 80°C por 2 horas

Triturar y tamizar a través de 300 mallas

Preparación de la solución de recubrimiento:

Mezclar pectina, CMS y glicerol en agua y calentar a 90°C por 15 minutos

Añadir suspensión de ES o ES@EGCG

Enfriar a temperatura ambiente y verter en placas de teflón para secar a 45°C por 24 horas

4.Recubrimiento de fresas:

Sumergir las fresas en la solución de recubrimiento por 10 segundos

Secar al aire por 1 minuto y repetir el procedimiento dos veces.

---

<b>2024</b>	Se formuló una suspensión de pectina (4%) en agua y se incubó en un baño de agua a 30°C durante 30 minutos. Luego se calentó a 60°C. Cada tipo de almidón de papa se mezcló con agua para obtener una solución al 4%, se gelatinizó a 90°C durante 30 minutos y se enfrió a temperatura ambiente. Las soluciones de pectina y almidón se mezclaron bien, se añadió glicerol al 20% del volumen total de la mezcla, y se agitó a 100 rpm y 60°C durante 30	1,81	(Qiang et al., 2024)
-------------	---	------	----------------------

---

---

minutos. La mezcla se filtró, centrifugó y vertió en platos de Petri, donde se secó a 60°C durante 24 horas. Luego, las películas se sumergieron en una solución de glutaraldehído al 20% en etanol durante 30 minutos, se secaron a 60°C durante 24 horas y se almacenaron en desecadores a 25°C para análisis posteriores.

---

<b>2023</b>	El almidón de maíz nativo se gelatinizó en presencia de glicerol y diferentes concentraciones de cáscara de naranja (0, 10, 20 y 40% en peso, respecto al almidón) en medios de reacción de agua o ácido (HCl o ácido acético en concentraciones de 0.1 M y 1 M). Después de la mezcla y gelatinización, la solución se vertió en placas de Petri y se dejó secar. La prehidrolisis de la cáscara de naranja se realizó agitando la concentración deseada con ácido durante 24 horas a temperatura ambiente, seguido por la adición a la solución de almidón.	37,6	(Santos et al., 2021)
<b>2024</b>	Las películas biodegradables basadas en almidón de maíz (CST) y pectina (PEC) se produjeron mediante el método de fundición. El PVA (0.75 g) y el glicerol (0.75 g) se disolvieron en agua destilada (100 mL) bajo agitación mecánica a 500 rpm. Se introdujo el CST previamente disuelto en la solución de PEC y se agitó durante 20 minutos. La mezcla	1,39	(do Nascimento et al., 2024)

---

---

resultante (100 mL) se calentó en un baño de agua a  $80 \pm 2$  °C hasta su completa solubilización. Luego se añadieron ZnONPs (nanopartículas de óxido de zinc) a la mezcla para producir las películas compuestas. Las soluciones se transfirieron a placas de Petri y se secaron en horno a  $40 \pm 2$  °C durante 16 horas. Las películas se almacenaron en sobres de papel pergamino y se colocaron en un desecador al vacío para su análisis posterior.

---

<b>2019</b>	<p>Para fabricar las bandejas biodegradables, se combinó almidón con fibras vegetales. La mezcla se moldeó en forma rectangular utilizando una Moldeadora Semi Neumática y una bandeja de acero inoxidable con las siguientes dimensiones: 3 cm de alto, 21,5 cm de largo en la boca, 17,5 cm de largo en el fondo, 14,5 cm de ancho y una separación de 2 cm entre la longitud de la boca y la del fondo. El proceso de conformado se llevó a cabo a una presión de 24 bar y a una temperatura de 150 °C durante 20 minutos. Posteriormente, las bandejas se dejaron acondicionar a temperatura ambiente con una humedad relativa del 85% durante 5 días. En cada prueba, se añadieron 5 ml de suero de leche y 2,5 g de estearato de magnesio.</p>	0,133	(Solarte-Montúfar et al., 2019)
-------------	--	-------	---------------------------------

---

---

Se utilizó un diseño de mezclas Simplex Centroide para evaluar las propiedades mecánicas de las distintas combinaciones de almidón, fibra y glicerina. Con base en el tratamiento óptimo identificado, se desarrolló la formulación final de las bandejas biodegradables, teniendo en cuenta la proporción entre almidón y fibra.

---

<b>2021</b>	Se realizaron cuatro películas con diferentes soluciones filmógenas mediante la técnica del "casting", variando la composición de cada formulación. Estas incluyeron una solución acuosa de carboximetilcelulosa al 2% (Solución 1), la misma solución de CMC con adición de solución etanólica al 0,1% de Cúrcuma longa (Solución 2), la solución de CMC con nanopartículas de quitosano (Solución 3), y una combinación de CMC, nanopartículas de quitosano, y solución etanólica de Cúrcuma longa (Solución 4). Las soluciones formadoras de película se prepararon agregando gradualmente 80 mL de nanopartículas de quitosano a una solución de CMC al 2%, seguido de agitación constante y adición de la solución etanólica de Cúrcuma longa. Tras dejar reposar para eliminar burbujas, se permitió el secado durante 24 horas.	29,6	(Santos et al., 2021)
-------------	--	------	-----------------------

---

<b>2021</b>	<p>Se fabricaron películas de almidón biodegradables en tres concentraciones diferentes (2%, 3% y 3,5% en peso/volumen), utilizando diferentes temperaturas de calentamiento para los distintos tipos de almidón: 70 °C para el almidón de yuca, 85°C para los almidones de semilla de yaca y semilla de mango, y 90 °C para el almidón de ñame. Tras el calentamiento, se añadió glicerol al 1% como se sugiere en la literatura, y la mezcla resultante se homogeneizó antes de verterla sobre placas de teflón para su secado durante 48 horas a 24 °C y 50% de humedad relativa.</p>	36,63	(Marasingh e et al., 2024)
<b>2024</b>	<p>1.Materiales Utilizados:Pectina cítrica (PEC) con un grado de metil esterificación del 75.7% Glicerol como plastificante (30% p/p de pectina) Limoneno (LIM) y su derivado oligomérico (PLM) en proporciones de 10% y 20% (p/p de pectina) Tween 80 (0.1% p/p) como emulsionante</p> <p>2.Preparación de las Películas:</p> <p>Soluciones formadoras de películas con 4% (p/p) de pectina y las proporciones de LIM y PLM especificadas.</p> <p>Las soluciones se vertieron en placas de Petri de poliestireno de 14 cm de diámetro y se secaron en un horno a 40 °C durante 24 horas.</p>	14,27	(Santana et al., 2024)

<b>2024</b>	<p>1.Materiales Utilizados:</p> <p>Pectina de bajo metoxilo (<math>\geq 98\%</math>, DM 27%)</p> <p>Vanillina (<math>\geq 99\%</math>)</p> <p>Ácido para-toluenosulfónico (PTSA, <math>\geq 99\%</math>)</p> <p>Glicerol (<math>\geq 98\%</math>)</p> <p>FeCl<sub>3</sub> en diferentes concentraciones (0.05 wt%, 0.10 wt%, 0.15 wt%, 0.20 wt%, y 0.25 wt%)</p> <p>2.Preparación de las Películas:</p> <p>oDisolver 5 g de pectina y 0.05 g de vanillina en 100 mL de agua desionizada y agitar a 70 °C durante 30 minutos.</p> <p>Añadir 0.1 g de PTSA y agitar por 4 horas.</p> <p>Añadir glicerol (40% p/p basado en la masa sólida de pectina) y agitar a alta velocidad por 2 minutos.</p> <p>Dializar la solución resultante en una bolsa de diálisis con un corte de peso molecular de 2000 a 40 °C durante dos días.</p> <p>Verter las mezclas resultantes en placas recubiertas de Teflón y secar a temperatura ambiente (~25 °C, ~42% de humedad relativa) durante 48 horas.</p> <p>Film plástico biodegradable, de alta resistencia mecánica y ecológico a base de pectina</p>	8,07	(Qiang et al., 2024)
<b>2020</b>	<p>1.Materiales Utilizados:</p> <p>Pectina de Averrhoa bilimbi (ABP) extraída utilizando un solvente eutéctico profundo (DES) a</p>	2,49	(Shafie et al., 2020)

---

razones molares de 3:1, 1:1 y 1:3 (ABP3:1, ABP1:1 y ABP1:3).

DES conteniendo cloruro de colina y ácido cítrico monohidratado en una proporción molar de 1:1 usado como plastificante.

Cloruro de magnesio ( $MgCl_2$ ), nitrato de magnesio ( $Mg(NO_3)_2$ ), cloruro de sodio (NaCl) y nitrato de potasio ( $KNO_3$ ) para crear diferentes humedades relativas.

## 2.Preparación de las Películas:

Disolver ABP en agua desionizada a una concentración de 2% (p/v) con agitación rápida a 250 rpm durante 5 horas.

Añadir el plastificante (DES) a la solución viscosa de ABP para una concentración final de 1% (p/p) y agitar durante 15 minutos.

Centrifugar la mezcla durante 5 minutos a 1000 rpm para eliminar burbujas de aire.

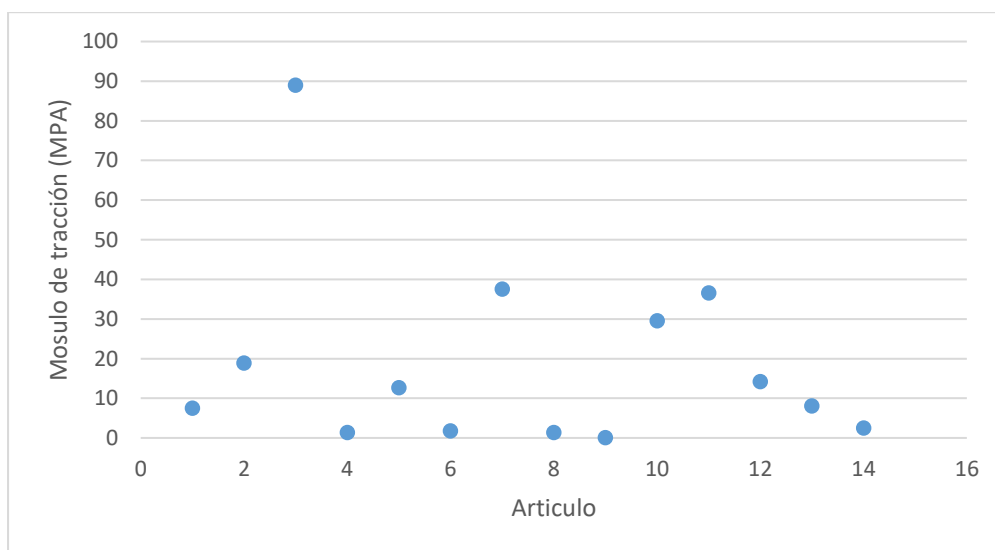
Verter 50 g de la mezcla en placas de polipropileno y secar a temperatura ambiente para obtener las películas autoportantes.

---

**Nota.** Representa el modulo de tracción encontrado en los diferentes artículos, adaptado de (López et al., 2019),(Yao et al., 2024),(Moreira et al., 2024),(Xu et al., 2024),(Qiang et al., 2024),(Santos et al., 2021), (do Nascimento et al., 2024),(Solarte-Montúfar et al., 2019), (Santos et al., 2021), (Marasinghe et al., 2024), (Santana et al., 2024),(Qiang et al., 2024),(Shafie et al., 2020).

**Figura 12.**

*Módulo de tracción (Mpa).*



Módulo de tracción (MPa) de los artículos analizados de propiedades mecánicas y de barrera de los empaques elaborados a partir de almidón y pectina teniendo en cuenta publicaciones desde 2018-2024.

Los estudios recientes muestran unos valores comprendidos entre 1.38 Mpa hasta 89 Mpa lo que quiere decir que en las últimas investigaciones se ha logrado avanzar en la formulación de empaques biodegradables donde se evidencia un impacto positivo gracias a los aditivos que refuerzan las propiedades mecánicas que refleja una mejora en materiales biodegradables para aplicaciones específicas.

Los datos Analizados en la gráfica muestran una amplia variabilidad en los valores del módulo de tracción (Mpa) de los diferentes artículos. Se observa que estos valores varían desde niveles muy bajos como 0.133Mpa, hasta niveles mucho más altos como 89Mpa. Esto indica que los materiales estudiados presentan un alto nivel de rigidez, lo que puede deberse a los diferentes cambios de formulación y composición.

La tabla muestra un análisis de tracción de bioplásticos elaborados a partir de diversos materiales y métodos de fabricación. Los valores del módulo de tracción varían considerablemente, desde 0,133 MPa en bandejas biodegradables combinadas con almidón y fibras vegetales hasta 89 MPa en películas basadas en poliácido láctico (PLA). Los bioplásticos que utilizan pectina y almidón, como los reportados por López et al., (2019) y Qiang et al., (2024), muestran una gama intermedia de resistencia, entre 1,38 y 18,9 MPa. Las formulaciones más avanzadas y técnicas complejas, como las que incorporan nanopartículas o mezclas de diversos componentes, tienden a ofrecer mayores módulos de tracción, como las películas con nanopartículas de quitosano (29,6 MPa) o el PLA (89 MPa). Esto sugiere que la selección de materiales y la sofisticación del proceso de fabricación tienen un impacto significativo en las propiedades mecánicas de los bioplásticos, con diferencias notables en sus rendimientos según la metodología empleada y los aditivos utilizados.

## Conclusiones

La monografía concluye que tanto la pectina como el almidón son materiales altamente prometedores para la fabricación de empaques biodegradables, se destacan por sus propiedades fisicoquímicas, mecánicas y de barrera que se ajustan a las necesidades de la industria alimentaria. En base a la exploración bibliográfica realizada se logró analizar a profundidad la viabilidad de estos polisacáridos para la fabricación de empaques biodegradables; durante este análisis se identificaron las fuentes de extracción de cada material, sus estructuras químicas y sus propiedades específicas, como la resistencia mecánica, la capacidad de barrera contra la humedad y gases, así como su comportamiento en condiciones ambientales.

La pectina extraída principalmente de frutas y almidón derivado de tubérculos y granos tienen características que permiten su uso efectivo en la elaboración de empaques que no solamente protegen los alimentos, sino que también ofrecen una opción sostenible en comparación con los plásticos convencionales. La capacidad de estos dos polisacáridos para formar biopelículas con propiedades adecuadas para la conservación de alimentos junto con su capacidad para biodegradarse sin causar impacto ambiental significativo refuerza su potencial en el desarrollo de empaques innovadores en la industria alimentaria.

Además, se logró dar cumplimiento al primer objetivo analizando las diferentes variables expuestas en los datos científicos comprendiendo la idoneidad de este tipo de empaques para la industria alimentaria siendo aptos para la conservación de alimentos teniendo mejoras significativas en su producción.

En la fabricación de películas biodegradables, el almidón y la pectina son dos polisacáridos con propiedades fisicoquímicas y de barrera distintas. El almidón se caracteriza por su capacidad de formación de geles a través de la gelatinización, con un índice de

viscosidad de aproximadamente 1.500 cps a 1% en solución acuosa. Su permeabilidad al oxígeno es de alrededor de 4.0 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día, lo que lo hace adecuado para empaques que requieren una barrera moderada contra la transferencia de gases. Por otra parte, la pectina presenta una viscosidad de 600 cps a 1% en solución, con una permeabilidad al oxígeno de 2.0 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día, ofreciendo una barrera más eficiente que el almidón, especialmente en aplicaciones donde la preservación de productos sensibles a la oxidación. La eficiencia de estos dos polisacáridos depende de las necesidades específicas del empaque en términos de resistencia a gases y propiedades de gelificación.

Por otra parte, la pectina, con un pH ácido de 3.0 a 4.0 y viscosidades que varían entre 100 y 500 cP, forma geles a temperaturas de 60°C a 80°C, mientras que el almidón, con un pH neutro de 6.0 a 7.0 y viscosidades entre 500 y 2000 cP, gelifica a temperaturas de 70°C a 90°C. En términos de propiedades mecánicas, el almidón muestra una mayor resistencia a la tracción (30-70 MPa) y módulo de elasticidad (600-1200 MPa) en comparación con la pectina (20-50 MPa y 500-1000 MPa, respectivamente), lo que indica una mayor robustez. Además, el almidón tiene un índice de absorción de agua de 1.5 a 5 g por gramo, mientras que la pectina absorbe entre 3 y 8 g, lo que puede afectar su funcionalidad en ambientes húmedos. La solubilidad en agua caliente de la pectina y la capacidad del almidón para formar una película resistente son factores clave que refuerzan la viabilidad de estos materiales como alternativas ecológicas a los plásticos convencionales. Estos valores y características muestran, aunque ambos materiales ofrecen excelentes propiedades, el almidón puede proporcionar una mayor durabilidad y resistencia, mientras que la pectina puede ser preferida por su capacidad de formar geles y propiedades de barrera adecuadas.

En cuanto al segundo objetivo, luego de realizar una revisión detallada de estudios que analizan las condiciones de elaboración y formulación de empaques a partir de pectina y almidón donde se estudiaron las condiciones de temperatura, humedad y tiempos de secado

en el que se incluyeron aditivos y plastificantes para el mejoramiento de sus propiedades mecánicas y de barrera. Lo anterior indica que si se realizan los ajustes adecuados y el uso de aditivos en la producción de películas pueden cumplir con los requisitos de conservación alimentaria y sostenibilidad ofreciendo alternativas viables a los plásticos convencionales.

Para dar cumplimiento al tercer objetivo, se realizó una comparativa de los empaques biodegradables y plásticos de origen fósil, donde se evidencio que, aunque los empaques biodegradables han mostrado mejoras significativas en los últimos años aun es necesario continuar avanzando para igualar el rendimiento que ofrecen los plásticos convencionales.

La viabilidad de utilizar pectina y almidón en la manufactura de empaques biodegradables destinados a la preservación de alimentos es alta, como lo evidencia esta investigación que ha demostrado que ambos polisacáridos, con base en su estructura y propiedades técnicas, presentan características favorables para esta aplicación. la revisión de la literatura científica muestra que, Estos empaques no solo proporcionan una protección efectiva de los alimentos, sino que también ofrecen una opción sostenible frente a los plásticos convencionales, alineándose con las demandas actuales de sostenibilidad en la industria alimentaria.

Para futuras investigaciones se recomienda explorar la combinación de almidón y pectina con otros biopolímeros o aditivos naturales ya que la combinación de estos componentes podría mejorar las propiedades mecánicas y de barrera de los empaques biodegradables, optimizando el rendimiento en la conservación de alimentos y su resistencia en diferentes condiciones. También es importante investigar sobre el uso de aditivos naturales como antioxidantes o antimicrobianos que podrían ayudar a extender la vida útil de los alimentos y proporcionar beneficios adicionales en cuanto a sostenibilidad.

Para finalizar, es crucial examinar escenarios industriales concretos en los que la implementación de estos materiales sea más viable, teniendo en cuenta factores económicos y regulatorios. También es necesario evaluar el costo de producción y otras implicaciones para determinar las condiciones más propicias para la adopción de estos empaques.

## Referencias Bibliográficas

- Acosta Medina, J. K., Contreras Pacheco, O. E., & Pedraza Avella, A. C. (2023). Empaques vs Bioempaques para alimentos: Una comparación a nivel técnica, comercial y normativa. *Ingeniería y Competitividad*, 25(3).  
<https://doi.org/10.25100/iyc.v25i3.13066>
- Alexandra Ledesma, Linda Flores, Violeta Dalgo, & Gabriela Chango. (2021). *Bioplásticos de almidón de maíz y quinua para uso como envolturas alimentarias biodegradables*. 7, 39–56. <https://doi.org/10.23857/dc.v7i4.2080>
- Álvarez, M., Lilian, I., Miguel, C. G., Gómez, L., Josué, O., & Gonzalo, S. L. (2023). *Formacion de películas de quitosano y su viabilidad economica como empaques para alimentos*. <https://revistas.milpaalta.tecnm.mx/index.php/IPSUMTEC/article/view/47>
- Andres Cuaces, Wendy Chavez, & Bladimir Carrillo. (2023). Vista de Obtención de polímeros biodegradables a partir del almidón de yuca\_. *MQRInvestigar* , 7(1).  
<https://doi.org/10.56048/MQR20225.7.1.2023.2680-2700>
- Aperador, W., Bautista, J., & Delgado, A. E. (2016). *Evaluación de las propiedades mecánicas de materiales compuestos elaborados a partir de cenizas volantes y polímeros reciclados*.  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S169233242015000200006&script=sci\\_abstract&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S169233242015000200006&script=sci_abstract&tlng=es)
- Arlet, S., & Mora, B. (2022). *Desarrollo de un plástico biodegradable a base de harina de cáscara de toronja amarilla (Citrus x paradisi Macfad) y almidón de maíz (Zea mays L.)*. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/18569/1/T-UCSG-PRE-TEC-CIA-97.pdf>

- Athanasopoulou, E., Bigi, F., Maurizzi, E., Karellou, E. I. E., Pappas, C. S., Quartieri, A., & Tsironi, T. (2024). Synthesis and characterization of polysaccharide- and protein-based edible films and application as packaging materials for fresh fish fillets. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-51163-y>
- Bach Cajusol, Siadén Ingrid, Bach Villanueva Elizabeht, López Sheyla Sabina, & García Espinoza, A. C. (2022). *Extracción ácida de pectinas asistida con microondas empleando diferentes tiempos a partir del procesamiento de manzanas*. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/10432>
- Bajer, D. (2024). Eco-Friendly, Biodegradable Starch-Based Packaging Materials with Antioxidant Features. *Polymers*, 16(7). <https://doi.org/10.3390/polym16070958>
- Bello-Lara, J. E., Balois-Morales, R., Juárez-López, P., Alia-Tejacal, I., Peña-Valdivia, C. B., Jiménez-Zurita, J. O., Sumaya-Martínez, M. T., & Jiménez-Ruíz, E. I. (2016). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60947915005>
- Recubrimientos a base de almidón y pectina de plátano “Pera” (Musa ABB), y quitosano aplicados a frutos de mango “Ataulfo” en postcosecha. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, 22(3), 95–104. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2015.09.037>
- Bernal-Carrillo, J. G., Chiwo-González, F. S., Susunaga-Notario, A. del C., del Ángel-Monroy, M., Arcos-Gutiérrez, H., & Garduño-Olvera, I. E. (2024). Development and redesign of flexible packaging under sustainability criteria. *REVISTA DE CIENCIAS TECNOLÓGICAS*, 7(1), e253. <https://doi.org/10.37636/recit.v7n1e253>
- Bertolt, N., & Unsplash, J. /. (2021). *Are you sure you want to print? Save the planet. Opt not to print. Informe de la ONU sobre contaminación por plásticos advierte sobre falsas soluciones y conrma la necesidad de una acción mundial urgente*. <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/informe-de-la-onu-sobre-contaminacion-por-plasticos>

- Bogdanoff, N. M., Orrabalis, C. J., Chacon, W. D. C., & Valencia, G. A. (2023). *Study of the Mechanical Properties of Gels Formulated with Pectin from Orange Peel*. 3. <https://doi.org/10.3390/blsf2023028003>
- Butler, I. P., Banta, R. A., Tyuftin, A. A., Holmes, J., Pathania, S., & Kerry, J. (2023). Pectin as a biopolymer source for packaging films using a circular economy approach: Origins, extraction, structure and films properties. In *Food Packaging and Shelf Life* (Vol. 40). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101224>
- Caicedo, J. F. B., Legarda, A. P. B., López Enriquez, D. F., & Mora, O. O. (2022). Effect of different coating formulations with polysaccharide/protein mixture ratio for the preservation of lulo (*Solanum quitoense* L). *Ciencia Tecnologia Agropecuaria*, 24(1). [https://doi.org/10.21930/rcta.vol24\\_num1\\_art:2857](https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num1_art:2857)
- Camilo, J., Lucia, M., Paula, M., Manuel, J., & María Helena, R. (2017). *Elaboración de una película plástica biodegradable a partir de almidón de yuca*. <https://www.fitecvirtual.org/ojs-3.0.1/index.php/clic/article/view/252>
- Cayambe. (2022). *Obtención de pectina a partir de residuos de naranja (citrus sinensis) por el método de hidrólisis ácida y su aplicación en la industria alimenticia*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/79/browse?type=subject&order=DESC&rpp=30&value=HIDR%C3%93LISIS+%C3%81CIDA>
- Concepción Núñez-Bretón, L., Medina-Torres, L., Marina Núñez-Ramírez, D., Cooper-Bribiesca, B., Reyes-Reyes, M., López-Aguilar, E., Erik González-Jiménez, F., & Manero, O. (2023). *Novedosas alternativas para el diseño de biomateriales a partir de almidones modificados dualmente*. [https://revista.iim.unam.mx/index.php/materialesa\\_avanzados/article/view/16](https://revista.iim.unam.mx/index.php/materialesa_avanzados/article/view/16)
- Contreras-Esquivel, J. C., Hours, R. A., Aguilar, C. N., Contreras-Esquivel, J. C., Hours, R. A., Aguilar, C. N., Reyes-Vega, ! L., & Romero, J. (2020). *Microbial and enzymatic*

*extraction of pectin: A review Article in Archivos Latinoamericanos de Nutrición ·*

(Vol. 47). <https://www.researchgate.net/publication/13610719>

Cornejo Reyes, G. V., Marinero-Orantes, E. A., Funes-Guadrón, C. R., & Toruño, P. J.

(2020). Biopolímeros para uso agro industrial: Alternativa sostenible para la elaboración de una película de almidón termo plástico biodegradable. *Rev. Iberoam. Bioecon. Cambio Clim.*, 6(11), 1359–1382. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v6i11.9824>

Cortes Daza, K. (2022). *Importancia de las alternativas para reducir o eliminar el plástico de un solo uso en colombia Importance of alternatives to reduce or remove single-use plastic in colombia.*

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/43612/CortesDazaKatherine2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

da Roz, A. L., Veiga-Santos, P., Ferreira, A. M., Antunes, T. C. R., de Lima Leite, F.,

Yamaji, F. M., & de Carvalho, A. J. F. (2018). Water susceptibility and mechanical properties of thermoplastic starch-pectin blends reactively extruded with edible citric acid. *Materials Research*, 19(1), 138–142. <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2015-0215>

Daiuto, É., Cereda, M., Sarmiento, S., & Vilpoux, O. (2018). Effects of extraction methods on Yam (*Dioscorea alata*) starch characteristics. *Starch/Staerke*, 57(3–4), 153–160.

<https://doi.org/10.1002/star.200400324>

Daniela Estefania Camarillo. (2023). *Diseño de un empaque funcional a partir de bagazo de uva.* <https://ri-ng.uaq.mx/xmlui/handle/123456789/7836>

de Oliveira Begali, D., Ferreira, L. F., de Oliveira, A. C. S., Borges, S. V., de Sena Neto, A. R., de Oliveira, C. R., Yoshida, M. I., & Sarantopoulos, C. I. G. L. (2021). Effect of the incorporation of lignin microparticles on the properties of the thermoplastic

- starch/pectin blend obtained by extrusion. *International Journal of Biological Macromolecules*, 180, 262–271. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.03.076>
- Diaz-Diaz, E., Cabrera-Guevara, C., Diaz-Idrogo, Y., Chumacero-Acosta, J. S., & Gamboa-Alarcon, P. W. (2023). Bandejas biodegradables de almidón de papa con fibra de tocón de espárrago (*Asparagus officinalis* L.). *Revista Agrotecnológica Amazónica*, 3(1), e429. <https://doi.org/10.51252/raa.v3i1.429>
- Diez. (2021). *Obtención de pectina mediante extracción asistida por microondas*. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/47728>
- Nascimento, W. J., da Costa, J. C. M., Alves, E. S., de Oliveira, M. C., Monteiro, J. P., Souza, P. R., Martins, A. F., & Bonafe, E. G. (2024). Zinc oxide nanoparticle-reinforced pectin/starch functionalized films: A sustainable solution for biodegradable packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, 257. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128461>
- Esquivel, J. S., Robles, Y., Valero, F., Martínez-Ávila, G. C. G., & Rojas, R. (2022). *Aplicación de película comestible a base de proteína-pectina para prolongar vida útil en arándanos* (Vol. 1). <https://smbb.mx/congresos%20smbb/guadalajara15/PDF/XVI/trabajos/III/IIC-68.pdf>
- FAO. (2021). Assessment of agricultural plastics and their sustainability: A call for action. In *Assessment of agricultural plastics and their sustainability: A call for action*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb7856en>
- Fiedot, M., Rac-Rumijowska, O., Suchorska-Woźniak, P., Czajkowski, M., Szustakiewicz, K., Safandowska, M., Różański, A., Zdunek, A., Stawiński, W., Cybińska, J., Teterycz, H., & Kennedy, J. F. (2024). The smart apple-based foil: The role of pectin-glycerol-lipid interactions on thermoresponsive mechanism. *Food Hydrocolloids*, 154. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110067>

Fitriani, F., Bilad, M. R., Aprilia, S., & Arahman, N. (2023). Biodegradable Hybrid Polymer Film for Packaging: A Review. In *Journal of Natural Fibers* (Vol. 20, Issue 1). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/15440478.2022.2159606>

Francisned Guaña-Escobar, María Vaca-Tenorio, & Javier Aguilar-Morales. (2022). Biopelículas y envases activos, nuevas tecnologías en la industria alimentaria. *Facs Salud*, 6(10). <https://ojs.unemi.edu.ec/index.php/facsalud-unemi/article/view/1575/1424>

Freitas, C. M. P., Coimbra, J. S. R., Souza, V. G. L., & Sousa, R. C. S. (2021). Structure and applications of pectin in food, biomedical, and pharmaceutical industry: A review. In *Coatings* (Vol. 11, Issue 8). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/coatings11080922>

Fustamante Núñez, B., Jander, Y., Santamaria, B. V., Rasure, W., Esquivel Paredes, M., & Jossefyne, L. (2019). *Extracción enzimática y caracterización de la pectina a partir de los residuos del mango*. <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/6209/Fustamante%20Nunez%20&%20Valdera%20Santamaria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Génesis Ortiz Duarte, Rafael Casillas Peñuelas, Eugenia Pérez Cabrera, & Rafael Casillas Peñuelas. (2018). *Inclusión de nanocompositos en recubrimientos comestibles y su capacidad antifúngica a hongos fitopatogenos en poscosecha*. <http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/handle/11317/1540>

Goycoolea, F. M., Remuñán-López, C., & Alonso, M. J. (2018). *Nanopartículas a base de polisacáridos: quitosano*. <https://core.ac.uk/reader/230316129>

Hernández-medina, M., Gabril, J., Chel-guerrero, L., & Betancur-ancona, D. (2018). quem a correspondência deve ser enviada Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en. *Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas*, 28(3), 718. <https://www.scielo.br/j/cta/a/BFmq3pZQMP33pwHsyNjk9Yf/>

- Hugo Leonel Benitez Cary. (2022). *Extracción experimental de pectina de cascara de limón (Citrus limon Burmann) cultivado en la provincia gran Chaco, Tarija*.  
<https://dicyt.uajms.edu.bo/investigacion/index.php/quimica/article/view/125/106>
- Isaac Iza Lopez. (2022). *Obtención de plasticos biodegradables a partir del Almidon*.  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/17403>
- Juan David Casas, & Leidy lorena Guerrero. (2021). *Estudio de la viabilidad de los biplasticos a base de almidon en colombia por medio del analisis comparativo entre dos materias prias; papa y el maiz*. 1(1), 1–55.  
<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8761/1/52214-2021-2-GP.pdf>
- Julieth Acosta, Orlando Contreras, & Aura pedraza. (2023). Vista de Empaques vs Bioempaques para alimentos Una comparación a nivel técnica, comercial y normativa. *Ingenieria y Competeividad* , 25(3), 1–19. <https://doi.org/10.25100/iyc.v25i3.13066>
- Kraithong, S., Junejo, S. A., Jiang, Y., Zhang, B., & Huang, Q. (2023). Effects of pectin-calcium matrices on controlling in vitro digestion of normal maize starch. *Food Hydrocolloids*, 140. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108575>
- Krisbianto, O., & Minantyo, H. (2024). Physicochemical characteristics of tannia cocoyam (Xanthosoma sagittifolium) corm flour compared to flours and starches of other grains and tubers. *Food Research*, 8(3), 54–61. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.8\(3\).226](https://doi.org/10.26656/fr.2017.8(3).226)
- Kute, A. B., Mohapatra, D., Kotwaliwale, N., Giri, S. K., & Sawant, B. P. (2020). Characterization of Pectin Extracted from Orange Peel Powder using Microwave-Assisted and Acid Extraction Methods. *Agricultural Research*, 9(2), 241–248.  
<https://doi.org/10.1007/s40003-019-00419-5>
- Lara-Gómez, A. B., Aguirre-Loredo, R. Y., Castro-Rosas, J., Rangel-Vargas, E., Hernández-Juárez, M., & Gómez-Aldapa, C. A. (2022). Películas de almidón de papa (Solanum

- tuberosum L.), empaques innovadores para alimentos: una revisión. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías Del ICBI*, 10(19), 11–22.  
<https://doi.org/10.29057/icbi.v10i19.8965>
- Laura Valencia. (2022). *Estudio de factibilidad para la conformación de una empresa en la ciudad de bogotá, dedicada a la producción de bioplásticos a base de almidón de maíz, frutas y vegetales, como insumo para la elaboración de empaques biodegradable*. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/47131>
- Loan, L. T. K., Thuy, N. M., & van Tai, N. (2023). Ultrasound-Assisted Extraction of Antioxidant Compounds from “cm” Purple Rice Bran for Modulation of Starch Digestion. *International Journal of Food Science*, 2023.  
<https://doi.org/10.1155/2023/1086185>
- Lopes, M. M., Oliveira-Paiva, C. A. de, & Farinas, C. S. (2023). Modification of pectin/starch-based beads with additives to improve *Bacillus subtilis* encapsulation for agricultural applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 246.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.125646>
- López, D. F., Osorio, O., & Checa, O. E. (2019a). Mechanical Properties of a Pectin Material for Coating Natural Fibers used in Agricultural Applications. *Informacion Tecnologica*, 30(3), 189–198. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000300189>
- López, D. F., Osorio, O., & Checa, O. E. (2019b). Mechanical Properties of a Pectin Material for Coating Natural Fibers used in Agricultural Applications. *Informacion Tecnologica*, 30(3), 189–198. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000300189>
- López; Martinez. (2018). *C A P Í T U L O I Películas Biopoliméricas: Aplicaciones para Envases y otros Productos*. <https://doi.org/10.3926/oms>
- López, O. V., Castillo, L. A., Farenzena, S., Pintos, E., Rodríguez, M. S., García, M. A., & Villar, M. A. (2018). Biodegradable films based on thermoplastic starch and chitosan

- with antimicrobial activity employed as active packaging. *Revista Materia*, 23(2).  
<https://doi.org/10.1590/s1517-707620180002.0423>
- Lozano, E., Padilla, K., Salcedo, J., Arrieta, A., & Andrade-Pizarro, R. (2022). Effects of Yam (*Dioscorea rotundata*) Mucilage on the Physical, Rheological and Stability Characteristics of Ice Cream. *Polymers*, 14(15).  
<https://doi.org/10.3390/polym14153142>
- Lucia Garcia, Gustavo cabreras, Cyntia Soria, Johana Castaño, Andrea Guadarrama, & Rodriguez Sandy. (2022). Progress in Starch-Based Materials for Food Packaging Applications. In *Polysaccharides* (Vol. 3, Issue 1, pp. 136–177). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/polysaccharides3010007>
- Luis M. Anaya-Esparza, , Alejandro Pérez-Larios, José M. Ruvalcaba-Gómez, Jorge A. Sánchez-Burgos, R. R.-T., & Efigenia Montalvo-González. (2020). *Funcionalización de los recubrimientos a base de quitosano para la conservación postcosecha de frutas y hortalizas*. <http://tip.zaragoza.unam.mx/index.php/tip/article/view/241>
- Marasinghe, W. N., Jayathunge, K. G. L. R., Dassanayake, R. S., Liyanage, R., Bandara, P. C., Rajapaksha, S. M., & Gunathilake, C. (2024). Structure, Properties, and Recent Developments in Polysaccharide- and Aliphatic Polyester-Based Packaging—A Review. In *Journal of Composites Science* (Vol. 8, Issue 3). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/jcs8030114>
- Marcela Jarpa. (2023). Vista de Geles de proteínas vegetales y polisacáridos como sistema de transporte en alimentos\_ una revisión narrativa breve. *Cuadernos de Investigación* , 1(20), 1–16. <https://orcid.org/0000-0003-2104-7628>
- Marco Chuiza, Adriana Rodriguez, & Hannibal Brito. (2020). Produccion De Laminas De Plastico Biodegradables. *Ciencias Técnicas Aplicadas* , 6(2), 1–14.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7504271>

Maricela Dalgo-Flores, V. I., Daniel Cayambe-Criollo, J. I., Isabel Rodríguez-Vinueza III, V., Gissel Tixi-Gallegos, K. I., & Marcos Quispillo-Moyota, J. v. (2024).

*Caracterización físico-química en la optimización de la producción de pectina a partir de residuos de naranja (CITRUS SINENSIS) mediante hidrólisis ácida: un enfoque eficiente para su potencial aplicación como agente estabilizante, emulsificante y gelificante en la industria alimentaria.* 85, 2041–2064.

<https://doi.org/10.23857/pc.v9i1>

Martínez-Mendoza, A. A., Franco Mora, O., Sánchez-Pale, J. R., Rodríguez-Núñez, J. R., & Castañeda-Vildózola, A. (2020). Evaluación de recubrimientos comestibles a base de pectina de tejocote ( *Crataegus mexicana* Moñ. & Sess, ex DC., Rosaceae) en la poscosecha de tihuixocote ( *Ximenia americana* L., Olacaceae). *Acta Agrícola y Pecuaria*, 6(1). <https://doi.org/10.30973/aap/2020.6.0061004>

Masera, C., Gabriel Gutierrez, L., Alejandro Ferretti, C., & Alejandra Guntero, V. (2021).

*Producción de una película biodegradable basada en pectina cítrica Production of a biodegradable film based on citrus pectin.*

<https://ria.utn.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12272/9297/Guntero%20V%20-%20Producci%C3%B3n%20de%20una%20pel%C3%ADcula%20biodegradable....pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Mayerly Walteros. (2021). Criterios de Implementación ISO 14000:2015 Caso Estudio Sector Industrial - Transformación de Plástico Reciclado. *Padlet*, 1, 1–6.

<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/40775>

Maytee Noboa. (2024). *Residuos vegetales para obtención de pectina y su utilización en la Industria Alimentaria.* <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/16289>

- Mellinas, C., Ramos, M., Jiménez, A., & Garrigós, M. C. (2020). *Recent trends in the use of pectin from agro-waste residues as a natural-based biopolymer for food packaging applications* (Vol. 13, Issue 3). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ma13030673>
- Menderos, Bernabè, & Ramirez. (2020). *Películas basadas en polisacáridos como recubrimientos biodegradables y su empleo en la postcosecha de los frutos*. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362020000300009](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362020000300009)
- Molina Soler, D. E. (2016). *Extracción de pectina de frutos amazónicos mediante un proceso asistido por microondas*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/58261>
- Molnar, M., Brahmhatt, H., Rastija, V., Pavić, V., Komar, M., Karnaš, M., & Babić, J. (2018). Environmentally friendly approach to Knoevenagel condensation of rhodanine in choline chloride: Urea deep eutectic solvent and QSAR studies on their antioxidant activity. *Molecules*, 23(8), 1DUMMY. <https://doi.org/10.3390/molecules23081897>
- Moreira, M. N. de L., Moreira, F. K. V., & Prata, A. S. (2024). Effect of adding micronized eggshell waste particles on the properties of biodegradable pectin/starch films. *Journal of Cleaner Production*, 434. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140229>
- Muñoz-Gimena, P. F., Salaris, V. L., García, D., & Peponi, L. (2022). *Título El almidón: un polímero hacia la economía sostenible*. <http://hdl.handle.net/10261/307507>
- Onyeaka, H., Oibileke, K., Makaka, G., & Nwokolo, N. (2022). *Current Research and Applications of Starch-Based Biodegradable Films for Food Packaging* (Vol. 14, Issue 6). MDPI. <https://doi.org/10.3390/polym14061126>
- Pacheco-Jiménez, A. A., Basilio Heredia, J., Gutiérrez-Grijalva, E. P., Quintana-Obregón, E. A., & Muy-Rangel, M. D. (2022). Potencial industrial de la cáscara de mango (*Mangifera indica* L.) para la obtención de pectina en México. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 25. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.419>

- Palma-Rodríguez, H., Salgado-Delgado, R., Páramo-Calderón, D., Vargas-Torres, A., & Meza-Nieto, M. (2017). *Caracterización parcial de películas biodegradables elaboradas con almidón de plátano y proteínas séricas de la leche*. 27(1), 26–33. <https://doi.org/10.15174/au.2017.1215>
- Pérez, A. B. (2019). la regulación de los nuevos alimentos y nanomateriales desde la perspectiva de la protección de la salud the regulation of novel food and nanomaterials from the point of view of the protection of health. In *Revista de deRecho UNed* (Vol. 24). <https://cordis.europa.eu/news/rcn/30485>
- Pérez-Jiménez, J. (2024). Dietary fiber: Still alive. In *Food Chemistry* (Vol. 439). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.138076>
- Peters, M. D. J., Marnie, C., Tricco, A. C., Pollock, D., Munn, Z., Alexander, L., McInerney, P., Godfrey, C. M., & Khalil, H. (2020). Updated methodological guidance for the conduct of scoping reviews. *JBI Evidence Synthesis*, 18(10), 2119–2126. <https://doi.org/10.11124/JBIES-20-00167>
- Posada, J. C., & Montes-Florez, E. (2021). Revisión: materiales poliméricos biodegradables y su aplicación en diferentes sectores industriales. *Informador Técnico*, 86(1). <https://doi.org/10.23850/22565035.3417>
- Puca Pacheco, M., Aguilar Vega, M., Canché Escamilla, G., & Neira Velázquez, M. G. (2022). Evaluation of thermal properties and permeability of bioplastic films based on starch, aloe vera and graphene. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 88(1), 63–77. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v88i1.376>
- Qiang, T., Ren, W., & Chen, L. (2024). Biodegradable, high mechanical strength, and eco-friendly pectin-based plastic film. *Food Hydrocolloids*, 149. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109539>

- Quilez-Molina, A. I., Oliveira-Salmazo, L., Amezúa-Arranz, C., López-Gil, A., & Rodríguez-Pérez, M. Á. (2023). Evaluation of the acid hydrolysis as pre-treatment to enhance the integration and functionality of starch composites filled with rich-in-pectin agri-food waste orange peel. *Industrial Crops and Products*, 205. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117407>
- Ramírez-Gavidia, T. C., González-Colmenares, N. M., & Guerrero-Pernía, E. K. (2020). Orange residue pectin applying the 3R principle. *Aibi, Revista de Investigacion Administracion e Ingenierias*, 8(2), 84–91. <https://doi.org/10.15649/2346030X.819>
- 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>
- Robles Daniela. (2023). *evaluación de la funcionalidad de películas biodegradables adicionadas con extracto de col morada (brassica oleracea var. capitata) como indicadores de pH*. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/138420>
- Rodrigues, A. A. M., da COSTA, R. R., dos Santos, L. F., Silva, S. de M., de BRITTO, D., & de LIMA, M. A. C. (2021). Properties and characterization of biodegradable films obtained from different starch sources. *Food Science and Technology (Brazil)*, 41, 476–482. <https://doi.org/10.1590/fst.28520>
- Rubiano Gonzalez, V., Montaña Numpaque, M., & da Silva Dias, N. (2022). Pectinas: extracción, usos e importancia en la agroindustria. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(5), 5294–5309. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v6i5.3498](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i5.3498)

- Rudy Gomez Lopez. (2021). *Efecto de la isosorbida sobre los cambios estructurales de películas de almidón termoplástico de yuca y ácido poliláctico*.  
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/80090>
- Said, N. S., Howell, N. K., & Sarbon, N. M. (2023). A Review on Potential Use of Gelatin-based Film as Active and Smart Biodegradable Films for Food Packaging Application. In *Food Reviews International* (Vol. 39, Issue 2, pp. 1063–1085). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1929298>
- Salazar, I., Ramírez, H., Zúñiga, A., Yllanes, M., Naquiche, A., Castillo, D., & Castellanos, R. (2020). Selección e identificación de una nueva bacteria productora de pectinasa a partir de fuentes geotermales. *Ciencia & Desarrollo*, 27, 143–149.  
<https://doi.org/10.33326/26176033.2020.27.1004>
- Sandra Polanco. (2021). *Criterios de Implementación ISO 14000:2015 Caso Estudio Sector Industrial - Transformación de Plástico Reciclado. 1*, 1–6.  
<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/40775/slpolancoo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Santana, J. V., Marangoni Júnior, L., Cassol, G. Z., Sato, H. H., & Vieira, R. P. (2024). Advanced pectin-based films: Enhancing antioxidant, antibacterial, UV barrier, and physicochemical properties upon oligomeric limonene derivative incorporation. *Food Hydrocolloids*, 149. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109558>
- Santiago Perez Arias. (2020). Validacion de los empaques biodegradables elaborados con hoja de platano. *Universidad Católica de Pereira*, 1, 19–28.  
<https://repositorio.ucp.edu.co/bitstream/10785/8836/7/DDMAE151.pdf>
- Santos, V. S., dos Santos, V. S., Fernandes, R. da S., Júnior, C. R. F., Aouada, F. A., Américo-Pinheiro, J. H. P., & de Moura, M. R. (2021). Evaluation and characterization of edible carboxymethylcellulose biofilm containing chitosan

- nanoparticles and turmeric. *Revista Materia*, 26(1), 1. <https://doi.org/10.1590/s1517-707620210001.1226>
- Serrano, C. L., Cruz, R. I., Salcedo, J., & Malagón, A. C. (2022). La gestión del conocimiento en la auditoría interna: un modelo teórico-relacional para el crecimiento empresarial. *Información Tecnológica*, 33(1), 3–10. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642022000100003>
- Setyaningsih, W., Karmila, Fathimah, R. N., & Cahyanto, M. N. (2021). Process optimization for ultrasound-assisted starch production from cassava (*manihot esculenta crantz*) using response surface methodology. *Agronomy*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/agronomy11010117>
- Shafie, M. H., Yusof, R., Samsudin, D., & Gan, C. Y. (2020). Averrhoa bilimbi pectin-based edible films: Effects of the linearity and branching of the pectin on the physicochemical, mechanical, and barrier properties of the films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 163, 1276–1282. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.109>
- Siregar, N. S., Julianti, E., Silalahi, J., & Sinaga, H. (2024). Chemical and sensory evaluations of energy bar made from purple sweet potatoes and tapioca flour with the addition of Sidempuan salak (*Salacca sumatrana* (Becc.)) fruit. *Food Research*, 8(3), 1–6. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.8\(3\).109](https://doi.org/10.26656/fr.2017.8(3).109)
- Solano-Doblado, L. G., Alamilla-Beltrán, L., & Jiménez-Martínez, C. (2018). Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 21, 30. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153>
- Solarte-Montúfar, J. G., Díaz-Murangal, A. E., Osorio-Mora, O., & Mejía-España, D. F. (2019). Rheological and functional properties of the starch from three varieties of

- Creole potato. *Informacion Tecnologica*, 30(6), 35–44. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000600035>
- Song, Z., Wei, J., Cao, Y., Yu, Q., & Han, L. (2023). Development and characterization of tapioca starch/pectin composite films incorporated with broccoli leaf polyphenols and the improvement of quality during the chilled mutton storage. *Food Chemistry*, 418. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135958>
- Susmara A., Colivet j., & Cañizares j. (2018). Efecto del recubrimiento comestible a base de almidón de yuca sobre los parámetros químicos y sensoriales de cascos de guayaba. *Revista Cumbres*, 5(1), 1–18. <http://investigacion.utmachala.edu.ec/revistas/index.php/Cumbres>
- Tien, N. N. T., Nguyen, H. T., Le, N. L., Khoi, T. T., & Richel, A. (2023). Biodegradable films from dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peel pectin and potato starches crosslinked with glutaraldehyde. *Food Packaging and Shelf Life*, 37. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101084>
- Ubaque Bernal, C. A., & Florez, I. F. (2018). Elaboración de bioempaques a partir de almidones nativos y aceites esenciales prolongando vida útil en fresas. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 5(1), 71–86. <https://doi.org/10.23850/24220582.1354>
- Udomrati, S., Tungtrakul, P., Lowithun, N., & Thirathumthavorn, D. (2024). The effect of concentration on rheological properties of sago (*Metroxylon sagu*) starch. *Food Research*, 8(3), 97–105. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.8\(3\).215](https://doi.org/10.26656/fr.2017.8(3).215)
- Valdivieso Molina, F., & Mollinedo, P. (2021). *Formación de almidón retrogradado relacionado a niveles de amilosa en el almidón de papa (Solanum tuberosum) y chuño* Retrograded starch formation dependent on amylose level of potato starch (*Solanum tuberosum*) and chuño. 1, 1–18. <https://doi.org/10.53287/mjns8913yn27w>

- Valentina Gonzalez, Miguel Niño, & Miguel Jaimes. (2023). *Comparativa metodos de extracciòn de la pectina*.  
<https://repository.universidadean.edu.co/bitstream/handle/10882/13498/JaimesJhony2024.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Valeria F., Vega M., & Quevedo M. (2022). Almidón obtenido a partir de la cascara de plátano de adquisición comercial como materia prima para la obtención de bioplástico. *Revista Tecnociefica URU*, 22, 1–15.  
<https://ojs2.uru.edu/index.php/tecnocientificauru/article/view/128/pdfgueroavegaquevedon22a22>
- Vázquez, A., Santiago, M., Rivadeneyra, E., & Díaz-Sobac, R. (2019). Películas comestibles a base de almidón nanoestructurado como material de barrera a la humedad. *CienciaUAT*, 13(2), 152. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v13i2.1105>
- Veliz. (2023). *Predicción de materiales bioplásticos por medio de aprendizaje no supervisado*. <https://fherrerallab.com/assets/resources/thesis-fveliz.pdf>
- Vera, C., Ubilla, C., Guerrero, C., López, J., Flórez-Méndez, J., & Bustos, R. (2020). Non-digestible oligosaccharides and polysaccharides: A source of health for older people. *Revista Chilena de Nutricion*, 47(5), 848–864. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182020000500848>
- Villarroel Heise, P., Gómez, C., Vera, C., & Torres, J. (2018). Resistant starch: Technological characteristics and physiological interests. In *Revista Chilena de Nutricion* (Vol. 45, Issue 3, pp. 271–278). Sociedad Chilena de Nutricion Bromatologia y Toxilogica. <https://doi.org/10.4067/s0717-75182018000400271>
- Viteri Proaño, G. del C., & Bonisoli, L. (2024). Análisis del valor de marca en empaques de productos ecológicos. *REVISTA ERUDITUS*, 5(2), 39–56.  
<https://doi.org/10.35290/re.v5n2.2024.1084>

- Wedamulla, N. E., Fan, M., Choi, Y. J., & Kim, E. K. (2023). Effect of pectin on printability and textural properties of potato starch 3D food printing gel during cold storage. *Food Hydrocolloids*, 137. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108362>
- Xu, H., Huang, Y., He, K., Lin, Z., McClements, D. J., Hu, Y., Cheng, H., Peng, X., Jin, Z., & Chen, L. (2024). An effective preserving strategy for strawberries by constructing pectin/starch coatings reinforced with functionalized eggshell fillers. *Food Chemistry*, 450. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139314>
- Yao, Q., Huang, F., Lu, Y., Huang, J., Ali, M., Jia, X.-Z., Zeng, X.-A., & Huang, Y. (2024). Polysaccharide-based food packaging and intelligent packaging applications: A comprehensive review. *Trends in Food Science & Technology*, 104390. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104390>
- Younis, H., Zhao, G., & Abdellatif, H. (2021). *Pectin and Its Applicability in Food Packaging*. [www.intechopen.com](http://www.intechopen.com)
- Yousuf, O., Singh, A., & Chandra Shahi B, N. G. (2018). *Ultrasound Assisted Extraction of Pectin from Orange Peel*. <https://www.researchgate.net/publication/329399066>
- Zhai, Y., Xing, J., Luo, X., Zhang, H., Yang, K., Shao, X., Chen, K., & Li, Y. (2021). Effects of pectin on the physicochemical properties and freeze-thaw stability of waxy rice starch. *Foods*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/foods10102419>
- Zhang, X., Chen, X., Dai, J., Cui, H., & Lin, L. (2023). A pH indicator film based on dragon fruit peel pectin/cassava starch and cyanidin/alizarin for monitoring the freshness of pork. *Food Packaging and Shelf Life*, 40. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101215>
- Zioga, M., Chroni, A., & Evageliou, V. (2022). Utilisation of Pectins Extracted from Orange Peels by Non Conventional Methods in the Formation of Edible Films in the Presence of Herbal Infusions. *Polysaccharides*, 3(3), 574–588. <https://doi.org/10.3390/polysaccharides3030034>