

**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO CAMPUS INSTITUTO
TECNOLÓGICO SUPERIOR DE CALKINÍ**

**“EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ALMIDÓN DE
SEMILLAS DE CALABAZA”**

TESIS PARA TITULACIÓN INTEGRAL

INGENIERÍA EN MATERIALES

**EGRESADO:
Yael Moises Herrera Aguirre**

**DIRECTOR Y CO-DIRECTOR:
DR. MARIO ADRIAN DE ATOCHA DZUL CERVANTES
DR. YASSER ALEJANDRO CHIM CHI**

Calkiní, Campeche, México 2025



Educación
Secretaría de Educación Pública



Instituto Tecnológico Superior de Calkiní
Subdirección de Planeación y Desarrollo

Instituto Tecnológico Superior de Calkiní
Departamento de Administración y
Apoyo al Estudiante

Calkiní, Campeche **06/03/2025**
P/03/25/595
INGENIERÍA EN MATERIALES

CONSTANCIA DE NO INCONVENIENCIA

MODALIDAD: TESIS

C. Yael Moises Herrera Aguirre 7359
PASANTE DE LA CARRERA DE
INGENIERÍA EN MATERIALES.
PRESENTE

Con relación a lo establecido en el Reglamento de Estudios de Licenciatura, capítulo VII, fracción I, vigente en este Instituto, y una vez emitido el fallo favorable por el director DR. MARIO ADRIÁN DE ATOCHA DZUL CERVANTES, y el co-director DR. YASSER ALEJANDRO CHIM CHI, respectivamente, este Instituto consta de no tener inconveniencia para la realización del acto protocolario de titulación integral de su trabajo profesional titulado: **"EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ALMIDÓN DE SEMILLA DE CALABAZA"**.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Sabiduría, Fortaleza de Nuestra Cultura®



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR
DE CALKINÍ
"DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACIÓN
ESCOLAR Y APOYO A
ESTUDIANTES"
CLAVE: 04MSU0013P
CALKINÍ, CAMPECHE, MÉXICO

Dr. Jorge Alfonso Hau Puc.
Departamento de Administración y
Apoyo al Estudiante.

C.c.p. Archivo



2025
Año de
La Mujer
Indígena

Av. Ah Canul S/N por Carretera Federal, Calkiní, Campeche,
C.P. 24900 Tel. 996-8134870,
e-mail: se_dcalkini@tecnm.mx | itescam.edu.mx



Dedicatoria

Considero que las personas somos más que la suma de nuestras partes, somos una recopilación de las experiencias y enseñanzas que hemos obtenido en base las personas con las que nos relacionamos, adoptando gustos y costumbres como nuestros, por ello me atrevo a decir que si no hubiera conocido a las personas con las que me relacione, no sería quien soy hoy en día, por ello las personas a las que le dedico este logro:

A mi madre, la cual se encargó de proporcionarme gran parte de los valores que sigo hoy en día, con los que me he abierto paso hasta ahora, además de encargarse de mi cuidado desde pequeño, hasta el momento, aunque este lejos siempre estando pendiente de mi bienestar procurando que no me falte nada, además de apoyarme en cada etapa de mi vida, siendo la mayor testigo de mis logros y caídas.

A mi hermana la cual aunque sea un dolor de cabeza, me proporciona una alegría que no cambiaría ni por todo el dinero del mundo, con ella he aprendido muchas cosas que me han hecho mejor persona

A mi amiga felina que sin decirme una sola palabra es una gran apoyo para subirme el ánimo cuando más lo necesito acompañándome en mis viajes semanales, y dándome su cálida compañía en las noches desvelos, ella es una de las razones por las que me propongo día con día mejorar

A mi familia que me proporcionaron el significado de lo que es un hogar a donde regresar, aquellos con los que sabemos que podemos contar en los momento difíciles y con los que siempre es un gusto compartir un rato para ponernos al día.

A mis amigos con los cuales he compartido sin fin de experiencia, que me enseñaron lo que es tener una familia sin tener un lazo sanguíneo, que me dieron el placer tenerlos en mi vida, integrando parte de ellos con cada experiencia compartida, para poder llevarlos a donde sea que la vida me lleve.

Muchas veces me tope con momentos donde sentía que no podría salir, que hasta ahí había llegado pero con el apoyo de mis seres querido pude salir adelante, pues al fin y al cabo el ser humano desde tiempo inmemoriales ha sobrevivido por su capacidad de cooperar entre nosotros, por ello es por lo que me siento afortunado de haber encontrado mi “manada” con la que puedo contar y que ellos pueden contar conmigo.

Agradecimientos

Agradezco en primer momento a dios por darme las aptitudes para llegar a donde estoy ahora, además de guiar mi camino en cada paso que doy.

Doy gracias a mi asesor de tesis Dr. Mario Adrián de Atocha Dzul Cervantes el cual me brindo el apoyo y los medios necesarios para completar la investigación y también formarme con los conocimiento necesarios para su realización y su defensa ante el jurado.

De la misma forma tiene mis gracias el Dr. Yasser Alejandro Chim Chi, le cual fungió como co-asesor del proyecto, apoyándome en el uso de equipos, la realización del proceso de aislamiento, además de responder dudas que fueran surgiendo sobre la marcha al momento de trabajar las muestras

Agradezco a los docentes que me impartieron las materias a lo largo de mi carrera, entre los que destaco a el Dr. Luis Humberto May Hernández, el Dr. Oscar Fernando Pacheco Salazar, Dr. Alejandro Ortiz Fernández por su destacado labor en la enseñanza respondiendo cualquier duda que tuviera durante sus clases.

Agradezco a los profesionales del Centro de investigación científica de Yucatán por su ayuda en la elaboración de las técnicas de caracterización de FT IR, TGA y SEM, sin ellos no hubiera sido posible este proyecto.

Agradezco de igual forma a el instituto tecnológico superior de Calkiní, gracias al cual pude obtener los conocimientos necesarios para completar mis formación profesional hasta el momento, y que me permitió el uso de sus instalaciones para la parte experimental del proyecto.

Índice

Índice de Tablas	3
Índice de figuras	3
Introducción	5
1. Marco teórico	1
1. Introducción al almidón	1
1.1. Polisacáridos	1
1.2. Definición y estructura química del almidón.	14
1.3. Importancia del almidón en la industria y sus aplicaciones.....	17
1.4. Diferencias entre fuentes convencionales y no convencionales de almidón.	18
2. Composición y propiedades del almidón	19
2.1. Estructura molecular de la amilosa y amilopectina.	19
2.2. Propiedades fisicoquímicas: solubilidad, gelatinización, retrogradación.....	20
2.3. Características reológicas y térmicas.	20
3. Fuentes no convencionales de almidón.....	21
3.1. Importancia del aprovechamiento de subproductos agroindustriales.	21
3.2. Importancia del almidón extraído de semillas de diferentes frutos.	22
4. Semillas de calabaza como fuente de almidón.....	23
4.1. Cucurbitáceas.....	24
4.2. Cucúrbita <i>Argyrosperma</i>	25
5. Métodos de extracción del almidón	27
5.1. Métodos físicos: molienda, tamizado, lavado con agua.	27
5.2. Métodos químicos: extracción con soluciones alcalinas o ácidas.	28
5.3. Comparación de metodologías y su impacto en la calidad del almidón obtenido.	32
6. Caracterización del almidón extraído	34
6.1. Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR)	35
6.2. Análisis Termogravimétrico (TGA).....	37
6.3. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM).	38

7. Aplicaciones potenciales del almidón de semillas de calabaza	40
7.1. Uso en la industria alimentaria, farmacéutica y de bioplásticos...	40
7.2. Comparación con almidones comerciales y su posible mejora mediante modificaciones químicas o físicas.....	42
Antecedentes	1
Justificación.....	1
Objetivo general	1
Objetivos específicos.....	1
2. Metodología	2
3.1. EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN	2
3.2. CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN.....	9
3.2.1. Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) ..	9
3.2.2. Análisis Termogravimétrico (TGA)	10
3.2.3. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM).....	10
3. Resultados y discusión.....	11
Rendimiento del almidón nativo.....	11
FT IR.....	11
TGA	13
SEM.....	15
Bibliografía	18

Índice de Tablas

Tabla 1.1. Características generales de las biomacromoléculas más usadas.....	5
Tabla 1.2. Estructura química a) Quitina y b) Quitosano	8
Tabla 1.3. Dextranos aislados de bacterias ácido-lácticas de diferentes alimentos.	12
Tabla 1.4. Características de diferentes tipos de almidón	17
Tabla 2.1. Semillas peladas previo al proceso de aislamiento a) calabaza pipián b) calabaza castilla	2
Tabla 2.2. muestra sometidas a inmersión en hexano a) calabaza pipián b) calabaza castilla	4
Tabla 2.3. Almidones obtenidos a) almidón tras el secado b) almidón molido.....	9

Índice de figuras

Figura 1.1. molécula de alginato	6
Figura 1.2. Estructura química de la celulosa.....	6
Figura 1.3. molécula de celulosa bacteriana	7
Figura 1.4. estructura de la goma gellan	9
Figura 1.5. Estructura del ácido Hialurónico.....	10
Figura 1.6. tipos de moléculas de carragenina	11
Figura 1.7. estructura de la agarosa.....	13
Figura 1.8. estructura de pectina.....	14
Figura 1.9. Almidón y sus distintas fuentes	15
Figura 1.10. Estructura del almidón.....	16
Figura 1.11. Calabaza pipián y sus semillas.....	24
Figura 1.12. calabazas cucúrbita <i>Argyrosperma</i> y cucúrbita pepo	26
Figura 1.13. cucúrbita <i>Argyrosperma</i>	27
Figura 1.14. sistema Soxhlet.....	30
Figura 1.15. proceso tradicional de extracción de almidón	32
Figura 1.16. Método químico de extracción de almidones	33
Figura 1.17. método combinado de extracción.....	34
Figura 1.18. Equipo de FTIR	36
Figura 1.19. Equipo TGA.....	37
Figura 1.20. Equipo de SEM	39
Figura 2.1. solvente seleccionado para el proceso	3
Figura 2.2. referencia del modelo de la licuadora usada	4
Figura 2.3. solución de NaOH 1N preparada para la titulación	5
Figura 2.4. solución harina/agua destilada previa al proceso.....	6
Figura 2.5. proceso de titulación de la solución con NaOH.....	6
Figura 2.6. tamiz tras la filtración de las fibras y el concentrado proteico	7
Figura 2.7. Concentrado resultante de la filtración	7
Figura 2.8. tubos Corning con la solución obtenida.....	8

Figura 2.9. realizando la medición de la masa de cada tubo para mantener balanceado el rotor de la maquina	8
Figura 2.10. Tubos introducidos en la centrifugadora.....	8
Figura 3.1. FTIR del Almidón extraído de Cucurbita Argyrosperma	12
Figura 3.2. TGA del Almidón extraído de Cucurbita Argyrosperma	14
Figura 3.3. Micrografías SEM del Almidón extraído de Cucurbita Argyrosperma ..	16

Introducción

En la actualidad, el impacto ambiental generado por los plásticos convencionales de un solo uso es una preocupación creciente, impulsando la búsqueda de alternativas sostenibles y ecológicamente responsables. En este contexto, la presente investigación se orienta a contribuir a la mitigación de esta problemática mediante la exploración de un biopolímero innovador derivado de un recurso endémico de la región. Se ha seleccionado la calabaza pipián (*Cucúrbita Argyrosperma*) como materia prima, específicamente sus semillas, las cuales, a pesar de su alto valor nutricional, suelen considerarse un subproducto o residuo del consumo del fruto. A través del aprovechamiento de estos insumos, se busca desarrollar un material biodegradable con propiedades funcionales adecuadas para reemplazar plásticos convencionales, promoviendo así un enfoque de economía circular y valorización de residuos agroindustriales.

A partir de las semillas de calabaza pipián, es posible extraer un biopolímero de gran importancia: el almidón. Este polisacárido es ampliamente reconocido por sus propiedades fisicoquímicas y su biodegradabilidad, lo que lo convierte en un candidato prometedor en el desarrollo de materiales sustentables. Tradicionalmente, el almidón se obtiene de fuentes convencionales como la papa, la yuca y el maíz; sin embargo, en los últimos años ha aumentado el interés en explorar fuentes no convencionales. Ejemplos de ello incluyen semillas de huaya (*Melicoccus bijugatus*) y el árbol de Ramón (*Brosimum alicastrum*), materias primas con las que actualmente se trabaja en la región. A partir de esta premisa, surge la idea de investigar una fuente propia y regionalmente accesible para la obtención de almidón, eligiendo como objeto de estudio a la calabaza pipián.

Bajo esta premisa, se identificó la semilla de calabaza pipián como una fuente de almidón poco explorada, lo que representa una oportunidad para ampliar el conocimiento en esta área. El objetivo principal de este trabajo es la extracción del almidón y su caracterización mediante técnicas fisicoquímicas como Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR), Análisis

Termogravimétrico (TGA), y Microscopía Electrónica de Barrido (SEM). Estas técnicas permitirán evaluar sus propiedades térmicas, estructurales y morfológicas, con el fin de determinar su viabilidad en aplicaciones de interés. En particular, esta investigación se orienta hacia el desarrollo de películas biodegradables, tal como se ha logrado previamente con almidones extraídos de fuentes convencionales, como el maíz. Con ello, se busca generar una alternativa sostenible que contribuya a la reducción del impacto ambiental causado por plásticos sintéticos.

Este trabajo no solo se enfoca en la extracción de almidón a partir de fuentes no convencionales, sino que también busca evaluar su rendimiento y caracterización para determinar su viabilidad como una opción sustentable. En la actualidad, la implementación de prácticas responsables en la producción de materiales es crucial para enfrentar los desafíos ambientales derivados del uso excesivo de plásticos sintéticos. A través de esta investigación, no solo se pretende contribuir al conocimiento científico en el campo de los biopolímeros, sino también fomentar el desarrollo de materiales alineados con los principios de la sostenibilidad. Se espera que este estudio motive tanto a futuros investigadores como a la industria a adoptar enfoques más ecológicos en el diseño y fabricación de nuevos productos. Al generar una alternativa biodegradable viable, se busca incentivar la intersección entre la conciencia ambiental y el progreso industrial, promoviendo un equilibrio entre ambas áreas.

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo es la extracción del almidón a partir de la calabaza pipián (*Cucúrbita Argyrosperma*) y su caracterización fisicoquímica.

1. Marco teórico

1. *Introducción al almidón*

1.1. Polisacáridos

Los enlaces glicosídicos que unen largas cadenas de monosacáridos dan lugar a la formación de carbohidratos poliméricos, conocidos como polisacáridos. Estos compuestos pueden presentar estructuras tanto lineales como altamente ramificadas, dependiendo de la disposición de sus unidades monoméricas y del tipo de enlace que las une. La organización estructural de los polisacáridos puede diferir significativamente de la de sus monosacáridos constituyentes, lo que influye en sus propiedades fisicoquímicas y en su funcionalidad. Los carbohidratos formados por una sola unidad de monosacárido son considerados polímeros naturales y pueden obtenerse a partir de fuentes renovables, lo que los convierte en una alternativa sostenible a los polímeros sintéticos. Los polisacáridos naturales destacan por ser biodegradables, biocompatibles y no tóxicos, características que amplían su versatilidad en diversas aplicaciones industriales y biomédicas. Entre los biopolímeros más utilizados se encuentran aquellos derivados de algas (como el alginato y el Carragenano), plantas (como la celulosa y el almidón), microorganismos (como el ácido hialurónico y la dextrana) y fuentes animales (como la quitina y el colágeno) [1].

Además, estos polisacáridos naturales contienen una cantidad significativa de grupos funcionales reactivos, como hidroxilo, carboxilo y amino, que les confieren una gran versatilidad para diversas aplicaciones. La presencia de estos grupos funcionales permite que los biopolímeros puedan ser modificados químicamente o combinados físicamente con otros materiales para mejorar sus propiedades mecánicas, térmicas y de biodegradabilidad. Estas modificaciones pueden incluir procesos como la reticulación, la esterificación o la injertación con otros compuestos poliméricos, lo que amplía su rango de aplicaciones en sectores como el embalaje biodegradable, la biomedicina y la industria alimentaria. Gracias a estas características, los polisacáridos naturales representan una alternativa viable a los polímeros sintéticos, ya que su estructura puede adaptarse a necesidades

específicas sin comprometer su carácter biodegradable y sostenible. En la Tabla 1, se describen algunas características de las biomacromoléculas más utilizadas.

Polímero	Fuente	Característica distintiva
<i>Agarosa</i>	Derivado del agar y encontrado en rojo. algas	Compuesto por unidades repetidas de (1→3)-β-D-galactopiranos-(1→4)-3,6-anhidro-β-L-galactopiranos Hidrosoluble y neutro polisacárido Baja temperatura de gelificación (32°C)
<i>Alginato</i>	Algas pardas (Phaeophyceae)	• Formación de gel en presencia de cationes divalentes (por ejemplo, Ca²⁺, Mg²⁺) • Compuesto por enlaces β (1→4) Ácido D-manurónico y α (1→4)-ácido L-gulurónico enlazado • Procesados como hidrogeles, membranas, cápsulas, fibras o andamios
<i>Celulosa bacteriana</i>	Gluconacetobacter xylinus o Acetobacter xylinum	• Cadenas de glucano unidas por enlaces de hidrógeno • Estructura nano fibrilar cristalina • Conjugado con quitosano, alginato, gelatina, ácido hialurónico y xiloglucano para mejorar el rendimiento
<i>Carragenano</i>	Algas rojas	• Constituidas por unidades repetidas de galactosa. y 3,6-anhidrogallactosa, ambos sulfatados y no sulfatados

		• Tres tipos principales de Carragenina pueden obtenerse: kappa (κ), iota (ι), y lambda (λ)
<i>Celulosa</i>	Maderas	• Alto grado de cristalinidad y enlaces de hidrógeno intra/intermoleculares rígidos • Constituida por unidades de D-glucosa unidas a β-1,4-glucosídicos • Insoluble en agua y la mayoría de los disolventes orgánicos. • Solubilidad y procesabilidad logradas mediante el uso de líquidos iónicos. • Sufre modificación química mediante esterificación, injerto. copolimerización u oxidación selectiva
<i>Colágeno</i>	Córnea, vasos sanguíneos, piel, cartílago, hueso, tendón, ligamento, esponjas marinas y piel de pescado.	• Principal componente de la matriz extracelular y la proteína más abundante presente en los tejidos de los mamíferos. • Proporciona resistencia mecánica a los tejidos y estimula la adhesión y proliferación celular. • Puede modificarse químicamente o combinarse con polisacáridos y/o moléculas bioactivas para mejorar sus propiedades fisicoquímicas y rendimiento biológico.
<i>Quitina</i>	Paredes celulares de hongos, exoesqueletos de artrópodos como crustáceos e	• Fuerte enlace intermolecular • Insoluble en solventes comunes • Solubilización mediante líquidos iónicos

	insectos, rádulas de moluscos y picos de cefalópodos.	• Moldeados en diferentes formas (por ejemplo, geles, perlas, membranas, esponjas, tubos y fibras).
<i>Quitosano</i>	Derivado N-desacetilado de quitina	• Solubilización en soluciones acuosas ácidas. • Diseñado como basado en 2D y 3D arquitecturas como fibras, partículas, membranas y compuestos en nivel micro/nano.
<i>dextrano</i>	Producido por varios microorganismos.	• Compuesto por unidades de α-Dglucopiranosilo unidas (1$\rightarrow$6) • Soluble en agua y solventes orgánicos • Biocompatible y biodegradable.
<i>Goma gellan</i>	Bacteria Sphingomonas elodea	• Exopolisacárido aniónico • Consta de una unidad repetitiva de un tetrasacárido: glucosa D unida 1,3, ácido D-glucurónico unida 1,4, D-glucosa unida 1,4 y Lramnosa unida 1,4. • Gel térmicamente reversible con excelente estabilidad y alta resistencia del gel • Forma geles en presencia de cationes metálicos.
<i>Ácido hialurónico</i>	Crestas de gallo o humores acuosos de ojos de vaca	• Compuesto de ácido D-glucurónico y N-acetil-D-glucosamina • Polisacárido soluble en agua • Baja estabilidad de forma y malas propiedades mecánicas.
<i>Pectina</i>	Material estructural de todas las plantas terrestres.	• Compuesto por moléculas de ácido poli-D-galacturónico • Biopolímero soluble en agua

		• Capacidad de formar geles
<i>Sericina</i>	Residuos durante el procesamiento de la seda.	• Proteína soluble • Antioxidante, capacidad humectante, capacidad de respuesta al pH y efecto mitogénico en células de mamíferos.
<i>Fibroína de seda</i>	Gusano de seda de morera y no morera <i>Bombyx mori</i> , insectos y arañas	• Formación de lámina beta después del tratamiento con solución de metanol/agua
<i>Proteína de soja</i>	granos de soja	• Precio bajo, origen no animal, tiempo de almacenamiento relativamente largo y estabilidad.
<i>Almidón</i>	Almidón de maíz, trigo, patata y arroz.	• Compuesto de amilosa y amilopectina • El almidón se puede transformar en materiales termoplásticos o mezclar con polímeros sintéticos.

Tabla 1.1. Características generales de las biomacromoléculas más usadas

Fuente:[2]

1.1.1. Alginato

El ácido algínico, también llamado alginato, es un polisacárido aniónico que está presente en la naturaleza, principalmente como uno de los componentes de las algas pardas (Phaeophyceae). Es un polisacárido lineal no ramificado compuesto por diferentes cantidades de ácido D-manurónico con enlaces $\beta(1\rightarrow4)$ y ácido L-gulurónico con enlaces $\alpha(1\rightarrow4)$ [1]. Una de las características más relevantes del alginato es su capacidad para formar geles en presencia de varios cationes divalentes, por ejemplo, Ca^{2+} , Mg^{2+} , debido a los grupos carboxilato del guluronato que se entrecruzan en la cadena principal del polímero. El alginato es un polímero biocompatible y antimicrobiano con inmunogenicidad, baja toxicidad y estabilidad en condiciones fisiológicas. Este polisacárido puede procesarse en diferentes formas como hidrogeles, membranas, cápsulas, fibras o andamiajes, lo que amplía significativamente el ámbito de aplicación.

Además, para optimizar las propiedades físicas de los hidrogeles, el alginato se ha reticulado y oxidado de forma covalente; sin embargo, un inconveniente asociado es la degradación limitada de los geles de alginato reticulados de forma covalente, ya que las células no secretan las enzimas necesarias para la escisión del polímero.

No obstante, las propiedades del alginato se pueden adaptar o mejorar utilizando otras estrategias basadas en la modificación química convencional, como la polimerización por injerto, la sulfatación o la esterificación[1].

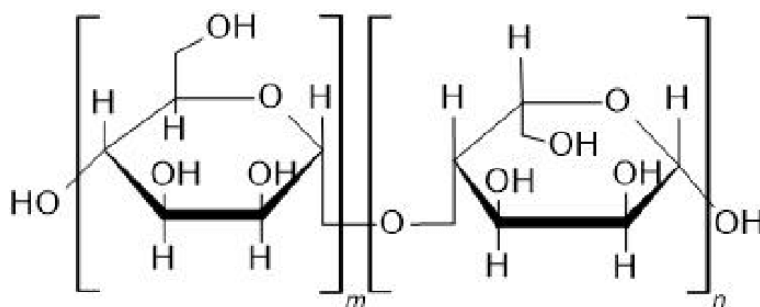


Figura 1.1. molécula de alginato

Fuente: [3]

1.1.2. Celulosa

Esta es otro polisacárido, el cual está formado por millones de unidades de D-Glucosa unidas por medio de enlaces β - (1-4) glicosídicos con la formula $(C_6H_{10}O_5)_n$ [4]. Es uno de los polímeros orgánicos más abundantes, con mayor disponibilidad en tierra y tiene un papel fundamental en la estructura de las plantas verdes, de gran variedad de algas y oomicetos [5].

Las fuentes más significativas durante años ha sido el algodón y la madera, de los que su utilización ha incurrido principalmente en aplicaciones de la industria textil, papelera y farmacéutica [6]. Sin embargo, el uso desmedido de dichas fuentes por otros sectores industriales como la energía, construcción y/o actividades como la deforestación a nivel mundial, ha generado la necesidad de encontrar fuentes alternativas de celulosa como de plantas herbáceas, cultivos agrícolas y plantas no leñosas [7].

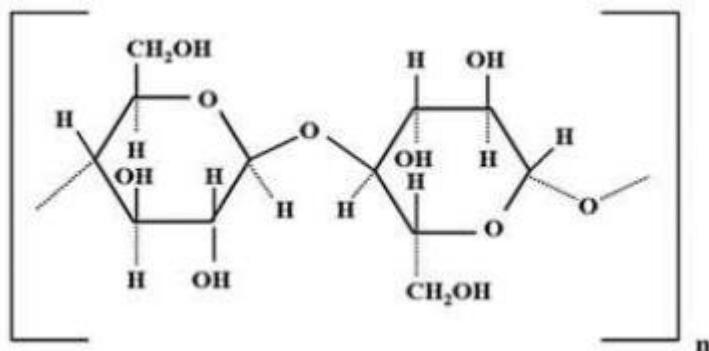


Figura 1.2. Estructura química de la celulosa

Fuente: [4]

1.1.3. Celulosa bacteriana

Se trata de un biopolímero con gran importancia en el sector de la investigación y la industria. Se produce por medio de bacterias como las del género *Acetobacter* y *Komagataeibacter*, a través de un proceso de biosíntesis. A diferencia de la celulosa de origen vegetal, la CB se distingue por su estructura altamente pura y homogénea. Destacando debido a su biocompatibilidad, lo que la hace especialmente atractiva para diversas aplicaciones biotecnológicas y biomédicas [8].

La síntesis de celulosa ocurre en el interior de las células bacterianas, donde las enzimas responsables de su producción ensamblan las cadenas de glucosa. Posteriormente, este biopolímero se extruye y forma una matriz tridimensional. La capacidad única de formar esta durante su extrusión confiere a la CB una versatilidad excepcional, lo que la convierte en un recurso de gran valor en la fabricación de materiales avanzados y productos biocompatibles. Su estructura y propiedades físicas pueden ser adaptadas de manera precisa para satisfacer las demandas de aplicaciones específicas [9].

La producción de CB se posiciona como un campo de estudio de creciente relevancia. Comprender en profundidad este proceso implica una exploración minuciosa de sus elementos esenciales, desde los microorganismos involucrados hasta los factores ambientales que modelan su producción, junto con las técnicas de cultivo que rigen su obtención[10].

La temperatura de cultivo, generalmente mantenida en un rango termodinámico de 25-30°C, es importante en el desarrollo de la producción celulósica. Sin embargo, esta cifra puede ser objeto de ajustes específicos en función de la cepa bacteriana empleada y las variables de producción. De manera análoga, el pH del medio de cultivo desempeña un papel de relevancia, con un rango óptimo de actividad enzimática que oscila entre 5.5 y 7.0, aunque nuevamente, este parámetro puede ser sometido a ajustes particulares según la especie bacteriana y el sustrato utilizado. La disponibilidad de nutrientes, comprendiendo fuentes de carbono, nitrógeno y oligoelementos, influencia en el crecimiento bacteriano y, por consiguiente, en la producción de celulosa. La gestión de estos componentes es indispensable para sustentar un crecimiento bacteriano saludable y el desarrollo de una celulosa de elevada calidad [11].

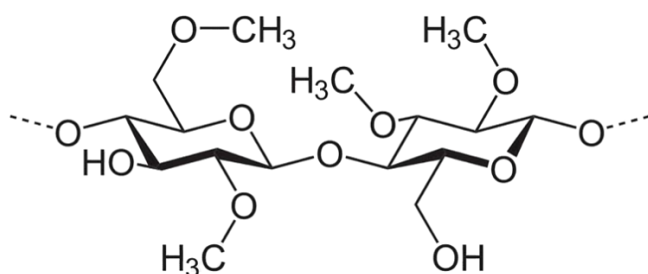


Figura 1.3. molécula de celulosa bacteriana

Fuente: [12]

1.1.4. Quitina y quitosano

La quitina es un polisacárido natural el cual se deriva de organismos vivos (se encuentra principalmente en exoesqueletos de artrópodos, en las paredes celulares de hongos o cascaras de huevos de nematodos), es el segundo polímero más abundante solo seguido por la celulosa, debido a su origen es biodegradable y no toxico, su estructura hace que sea insoluble en presencia de diferentes sustancias químicas, por lo que generalmente se le aplican diferentes tratamientos químicos (desacetilación) con el objetivos de mejorar esta propiedad de afinidad a las sustancias (de este proceso se obtiene el quitosano) [13].

A su vez el quitosano obtenido en base a la quitina es un polisacárido lineal, soluble en agua (en pH ligeramente acido), es un polímero no toxico, biocompatible, biodegradable, que cuenta con buena estabilidad. El quitosano debido a la desacetilación es una estructura de carácter hidrófilo que permite usarse en la industria para diversas modificaciones químicas, lo cual representa una ventaja en términos de sus propiedades y aplicaciones (biotecnología, medicina, membranas, cosméticos, industria alimentaria, etc.). Dentro de las fuentes de obtención de quitina se encuentra marina, terrestre y microbiana. La fuente marina está conformada por crustáceos como camarones, cangrejos, percebes, etc., los desechos de estos animales específicamente los caparazones contienen alrededor de un 10 a 25% de quitosano y del 30 al 50% de quitina [14].

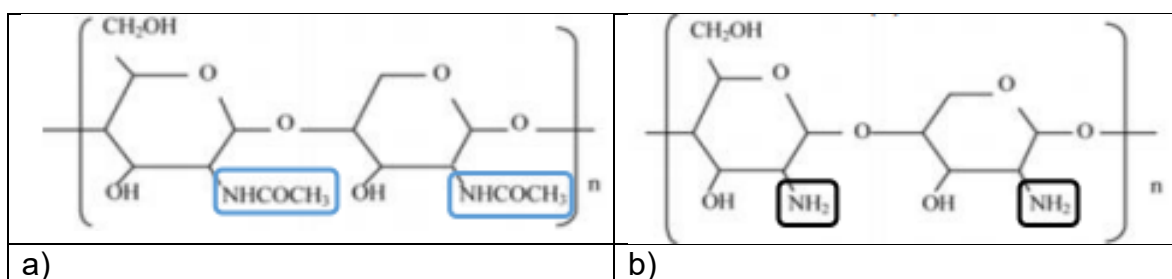


Tabla 1.2. Estructura química a) Quitina y b) Quitosano

Fuente:[15]

Para la fuente terrestre se ubican los insectos, una opción sostenible, ecológica y económica, y frente a los crustáceos presentan una gran ventaja y es que su producción no es estacionaria y además tienen altos índices de fertilidad, se han establecido estudios relacionados con mosquitos, gusanos de seda, cucarachas y abejas, en donde las alas y la cutícula se utilizan para la extracción de quitina [14].

Por último, está la fuente microbiana, de la cual se extraen polímeros quitinosos a partir de bacterias, algas y hongos. Los micelios fúngicos contienen alto contenido de quitina y quitosano, los cuales se producen a través de procesos fermentativos fúngicos, o también el quitosano puede aislarse de la pared celular sin el paso de

la desacetilación, donde se pueden llegar a obtener entre 13.3 a 43% de quitina. Se consideran una buena alternativa por cuestiones ambientales y económicas, debido a que el quitosano microbiano que se obtiene es más puro y posee características más consistentes, además requiere de menor cantidad de sustancias químicas para la purificación de la quitina en comparación con los crustáceos, debido al contenido que estas especies marinas presentan en cuanto a lípidos, minerales, proteínas y pigmentos [14].

1.1.5. Goma gellan

La goma Gellan se trata de un compuesto químico el cual es un polisacárido de alto peso molecular y que se compone de D-glucosa, D-manosa y ácido D-glucurónico, con base en el instituto europeo de Dermocosmética en 2020. Este compuesto es producido industrialmente por medio de fermentación de cultivos puros del microorganismo *Xantomonas campestris* y es posible encontrarlo en forma sódica, cálcica o potásica [16].

Este biopolímero se caracteriza por ser un polvo blanco de color blanco crema, que se disuelve con facilidad en agua caliente o fría. Su solución tiende a tener un pH neutro y, por lo general, no se disuelve en solventes orgánicos. A una temperatura superior a 65°C, la goma Gellan puede disolverse en glicerina. A su vez, las soluciones acuosas de la goma Gellan pueden contener solventes miscibles con agua o etanol hasta en un 50% a 60%. No obstante, si se agregan cantidades mayores de alcohol, la goma puede precipitarse o gelificarse [17].

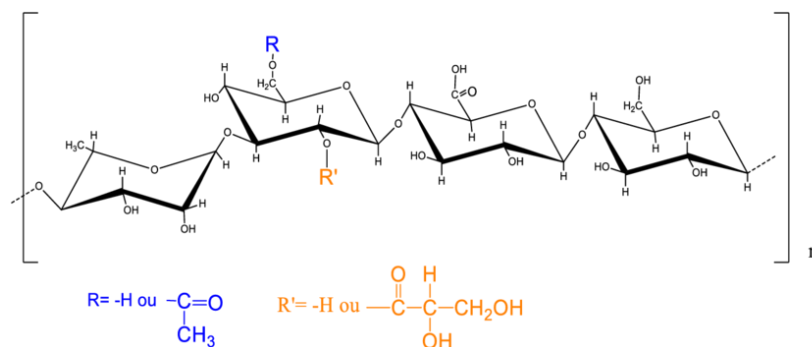


Figura 1.4. estructura de la goma gellan

Fuente: [18]

1.1.6. Ácido hialurónico

Este es uno de los componentes principales del cartílago y también pertenece a la familia de los glucosaminoglicanos, su estructura contiene N-acetilglucosamina. Aun con su aparente simplicidad, el ácido hialurónico se trata de un componente esencial de las matrices extracelular y pericelular, donde regula procesos esenciales tales como adhesión, movilidad, proliferación y diferenciación celular [19].

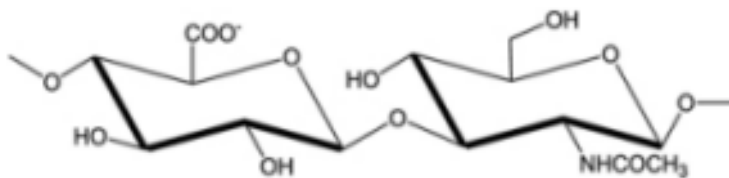


Figura 1.5. Estructura del ácido Hialurónico

Fuente:[20]

Su descubrimiento se remonta en el año de 1934, donde John Palmer y Karl Meyer detallaron la presencia de una sustancia mucoide, la cual fue aislada del humor vítreo bovino en condiciones ácidas [21]; pero su estructura fue descrita hasta 20 años después.

El ácido hialurónico se le puede encontrar en los tejidos conectivos blandos de todos los seres vivos, en líquido sinovial y su mayor proporción, en base a concentración, se encuentra en el cuerpo vítreo del ojo y en el cordón umbilical. Además, se ha encontrado ácido hialurónico en el interior de las células, concretamente en el área perinuclear de las células del músculo liso aórtico y en las estructuras del citoplasma [19].

Tal como pasa con otros glucosaminoglicanos, actualmente no es posible la síntesis química del ácido hialurónico, por lo que tradicionalmente se suele obtener a base de tejidos ricos en ácido hialurónico, tales como crestas de gallo o el humor vítreo de los ojos, pudiendo también extraerse a través de procesos de valorización de ojos de peces. Sin embargo, el desarrollo de procesos biotecnológicos para su producción ha desplazado completamente a los productos naturales, ya que es posible conseguir mayores rendimientos por fermentación con algunas especies de estreptococos. En estos procesos, se han usado fuentes proteicas procedentes de la valorización de vísceras y músculos de peces como sustrato para el crecimiento microbiano, siendo posible también agregar efluentes producidos en pasos de desproteíñización en otros procesos de valorización como el del quitosano [22].

Considerado como biopolímero natural, que se comprende de entre 100 a 20 000 unidades repetidas de su monómero detallado en la Figura 1. Presenta una fórmula molecular $(C_{14}H_{21}NO_{11})_n$. Su peso molecular puede variar dependiendo de su fuente de extracción, lo cual tiende a presentarse desde un orden de magnitud de 10^4 hasta un valor de 10^7 Da aproximadamente [20].

Su estructura tiene la característica notable sobre la retención de agua, la cual puede atrapar 1000 veces su peso en agua aproximadamente. Además, es descrita como una molécula muy hidrofílica, siendo considerado un humectante natural, debido a la presencia de grupos carboxilo dando la formación de una red

viscosa [19]. Por lo que su viscosidad es alta, la cual también varía según el peso molecular.

1.1.7. Carragenina

La “Carragenina” o “Carragenano”, es un polisacárido natural, que se suele extraer de algas rojas comestibles. Los más comerciales se clasifican de la siguiente manera: (a) Kappa (κ)-carrageenan, (b) Iota (ι)-carrageenan y (c) Lambda (λ)-carrageenan [23].

Estos polímeros cuentan con un carácter aniónico por los grupos éster-sulfato. Debido a la presencia de estos iones se pueden modificar las características de las cadenas poliméricas. Un caso que suele pasar con las Carragenina Kappa y Iota es que a temperaturas menores a 10°C pueden formar geles, mientras que a temperaturas mayores a 40°C forman suspensiones espesas. Para el caso de la Carragenina Lambda, no forma geles, pero tiene un comportamiento de agente espesante. En los tres casos, cada comportamiento tiene una explicación debido a que las cadenas de Carragenina se conforman por unidades de glucosas con sustituciones y sus moléculas son lineales e hidrofóbicas. Por tanto, cuentan con propiedades como la biodegradabilidad, comestibilidad y biocompatibilidad [23].

Con respecto a sus aplicaciones, la industria alimentaria es la principal consumidora de carragenina por su característica de agente gelificante y espesante, pues permite controlar texturas en alimentos como embutidos, quesos, pastas y hamburguesas. Las industrias farmacéuticas y de los cosméticos emplean las variantes (κ)-carrageenan y (ι)-carrageenan como preservantes en cremas, champús, pasta dental, etc. Con respecto a lo mencionado, se demuestra la amplia aplicación de la carragenina y el provecho que se podría obtener con un recurso tan accesible como las algas marinas [23].

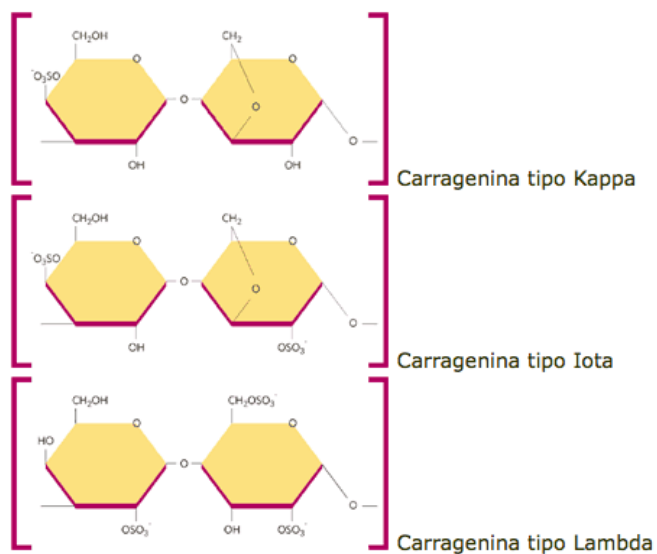


Figura 1.6. tipos de moléculas de carragenina

Fuente: [24]

1.1.8. Dextrano

El dextrano se halla en pequeñas cantidades de forma natural en los alimentales, como pueden ser la azúcar refinada, jarabe de arce y miel.

Normalmente los dextranos son solubles en agua, dimetilsulfóxido, formamida, etilenglicol y glicerol, pero insoluble en alcoholes monohídricos, por ejemplo, metanol, etanol e isopronol, y también en la mayoría de las cetonas. Los dextranos lineales tienen alta solubilidad en agua, y en soluciones acuosas se comportan como fluidos newtonianos.

La solubilidad el dextrano en agua depende del patrón de enlaces ramificados. Generalmente los dextranos que están constituidos por más del 43% de enlaces ramificados α -(1-3) son insolubles en agua. La viscosidad de la solución de dextrano depende de su concentración, temperatura, y del peso molecular. El dextrano por ser un polisacárido neutro, la viscosidad no es influenciado significativamente por los cambios en el pH o en la concentración de sal [25]. Algunos ejemplos de dextranos con sus enlaces aislados de bacterias se describen en la siguiente tabla:

Microorganismo	Alimento	Enlace
Leuconostoc mesenteroides CMG713	Uva	α -(1→6)
Leuconostoc mesenteroides AA1	Repollo fermentado	α -(1→6)
Lactobacillus satsumensis NRRL B-59839	Agua de granos de kéfir	44% α -(1→3) y 37% α -(1→6)
Pediococcus pentosaceus CRAG3	Pepinos fermentados	75% α -(1→6) y 25% α -(1→3)
Weissella cibaria CMGDEX3	Repollo	96,6% α -(1→6) y 3,4% α -(1→3)
Weissella confusa Cab3	Repollo fermentado	97% α -(1→6) y 3% α -(1→3)
Weissella cibaria JAG8	Cáscara de manzana	93% α -(1→6) y 7% α -(1→3)

Tabla 1.3. Dextranos aislados de bacterias ácido-lácticas de diferentes alimentos.

Fuente:[25]

1.1.9. Agarosa

La agarosa se trata de uno de los polisacáridos más empleados debido a la alta biocompatibilidad que tiene, esto junto a la capacidad de formar geles térmicamente reversibles [26], sin embargo, carece de adhesión celular, por lo que forzosamente debe ser combinado con otro polímero. La agarosa junto con el quitosano muestra gran similitud en cuanto a la estructura química, por lo que su combinación es ampliamente utilizada en el campo biomédico, ya que ralentiza el

proceso de degradación y descomposición que presenta el quitosano por separado [27]. Con respecto al colágeno, no hay suficiente evidencia científica, sin embargo, presenta compatibilidad eliminando la carencia de rigidez de este polímero [28].

Este biopolímero es usado ampliamente en experimentos biológicos como es el caso de la electroforesis y cultivo celular; esto se debe particularmente a su estructura de polisacáridos lineales como D-galactosa y 3-6-anhidrido-L-galactopiranosas que le confiere estabilidad física y química, baja interacción con biomoléculas y comportamiento termorreversible [29]. Por lo que, debido a su biocompatibilidad y biodegradabilidad se lo cataloga como un biomaterial óptimo para el suministro de medicamentos e ingeniería de tejidos. La agarosa tiene la capacidad de generar una red al ser disuelta, permitiendo que la difusión de nutrientes vitales oxígeno sea la adecuada en la generación de tejido, simulando las condiciones de la matriz extracelular [30].

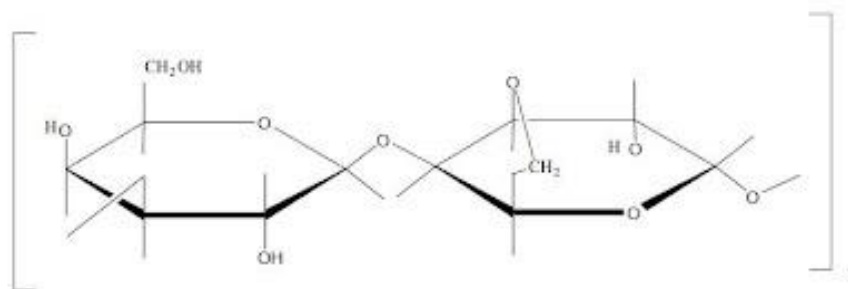


Figura 1.7. estructura de la agarosa

Fuente: [31]

1.1.10. Pectina

Esta pertenece a una familia de polisacáridos complejos presentes en todas las paredes celulares primarias de las plantas [32]. La complicada estructura de los polisacáridos pécticos, y la retención por parte de las plantas del gran número de genes necesarios para sintetizar pectina, sugiere que las pectinas tienen múltiples funciones en el crecimiento y desarrollo de las plantas [33].

Por otra parte, los polisacáridos son las entidades estructurales clave en los materiales alimentarios. Por lo general, las interacciones entre las proteínas y los polisacáridos en medios acuosos pueden dar lugar a sistemas monofásicos o bifásicos, observándose generalmente estos últimos. En algunos casos de atracción neta entre proteínas y polisacáridos, mediada principalmente por interacciones electrostáticas, se produce una coacervación compleja o una separación de fases asociativa, dando lugar a la formación de complejos proteína-polisacárido. Factores fisicoquímicos como el pH, la fuerza iónica, la proporción entre proteína y polisacárido, la carga del polisacárido y de la proteína, y el peso molecular afectan a la formación y estabilidad de dichos complejos.

Además, la temperatura y los factores mecánicos (presión, velocidad de cizallamiento y tiempo) influyen en la separación de fases y en la estabilidad temporal del sistema. Los complejos proteína-polisacárido presentan mejores propiedades funcionales que las de las proteínas y los polisacáridos por separado. Esta mejora podría atribuirse a la presencia simultánea de los dos biopolímeros, así como a la estructura de los complejos. En consecuencia, las interesantes propiedades de hidratación (solubilidad, viscosidad), estructuración (agregación, gelificación) y superficie (espumación, emulsión) de estos complejos pueden utilizarse en varios ámbitos. Entre otros, podrían ser la purificación macromolecular, la microencapsulación, la formulación de alimentos (sustitutos de la grasa, agentes texturizantes) y la síntesis de biomateriales (películas comestibles, injertos artificiales) [33].

La pectina gracias a su mecanismos de gelificación simple y citocompatible, se ha explotado recientemente para diferentes aplicaciones biomédicas, como la administración de fármacos, la administración de genes, la curación de heridas y la ingeniería de tejidos.

La necesidad de estudiar a profundidad el impacto de los biopolímeros y las pectinas como fuente de bioprospección y aprovechamiento en medicamentos y alimentos ha generado desde varias décadas un interés que ha ido en aumento [33]. se puede obtener de la cáscara de frutos cítricos y de algunos vegetales. Una de sus principales características es su capacidad adsorbente, la cual depende mucho de la cantidad de carboxilos en forma aniónica que contenga la pectina, este componente genera una interacción con especies de carga positiva como los metales. Según un estudio realizado en el 2018, se comprobó que la pectina obtenida de la cáscara de naranja absorbió un 94 % de iones de cromo en aguas residuales de curtiembre [34].

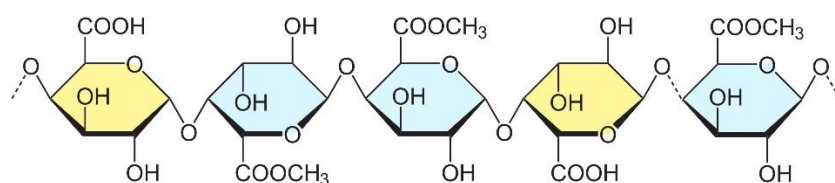


Figura 1.8. estructura de pectina

Fuente: [35]

1.2. Definición y estructura química del almidón.

El almidón es un biopolímero de origen natural ampliamente estudiado debido a su alta disponibilidad, bajo costo y facilidad de extracción a partir de diversas fuentes vegetales. Se obtiene de la biomasa, especialmente de cultivos con alta producción como el maíz, la papa, la yuca y el trigo, lo que lo convierte en una alternativa

sostenible frente a polímeros sintéticos derivados del petróleo. Su estructura está compuesta por dos polisacáridos principales: la amilosa, una cadena lineal de unidades de glucosa, y la amilopectina, una estructura altamente ramificada, cuya proporción influye en sus propiedades fisicoquímicas. Entre sus ventajas destaca su biodegradabilidad, biocompatibilidad y la capacidad de formar películas delgadas, lo que lo hace apto para aplicaciones en la industria alimentaria, particularmente en empaques y recubrimientos en contacto directo con los alimentos. Estas características, junto con su facilidad de modificación química y física, han impulsado su uso en la fabricación de bioplásticos y materiales biodegradables, consolidándolo como una opción prometedora dentro del desarrollo de polímeros sustentables [36].



Figura 1.9. Almidón y sus distintas fuentes

Fuente: [37]

El almidón es un biopolímero ampliamente distribuido en la naturaleza y representa una fuente renovable con aplicaciones en diversas industrias. Su extracción a partir de residuos agroindustriales, como cáscaras de plátano, yuca, maíz y papa, ha cobrado relevancia debido a su potencial para reducir el desperdicio y valorizar subproductos agrícolas. El proceso de extracción implica técnicas mecánicas y químicas, como la molienda, suspensión en agua y separación por centrifugación, seguidas de secado para obtener un polvo fino. Las propiedades fisicoquímicas del almidón extraído dependen de la fuente vegetal y las condiciones de procesamiento,

influyendo en su cristalinidad, contenido de amilosa y amilopectina, así como en su capacidad de hinchamiento y solubilidad.

El almidón es un polisacárido compuesto principalmente por dos estructuras macromoleculares: la amilosa y la amilopectina. La amilosa es una cadena lineal de unidades de glucosa unidas por enlaces α -(1 $\rightarrow$ 4), lo que le confiere una estructura helicoidal y una menor solubilidad en agua. Su proporción en el almidón varía según la fuente vegetal, pudiendo oscilar entre un 15 % y 30 %. Por otro lado, la amilopectina es una estructura altamente ramificada con enlaces α -(1 $\rightarrow$ 4) en las cadenas lineales y enlaces α -(1 $\rightarrow$ 6) en los puntos de ramificación, representando entre el 70 % y 85 % del almidón. Esta estructura ramificada le otorga mayor solubilidad y capacidad de gelificación, lo que influye en las propiedades funcionales del almidón en diversas aplicaciones industriales [38].

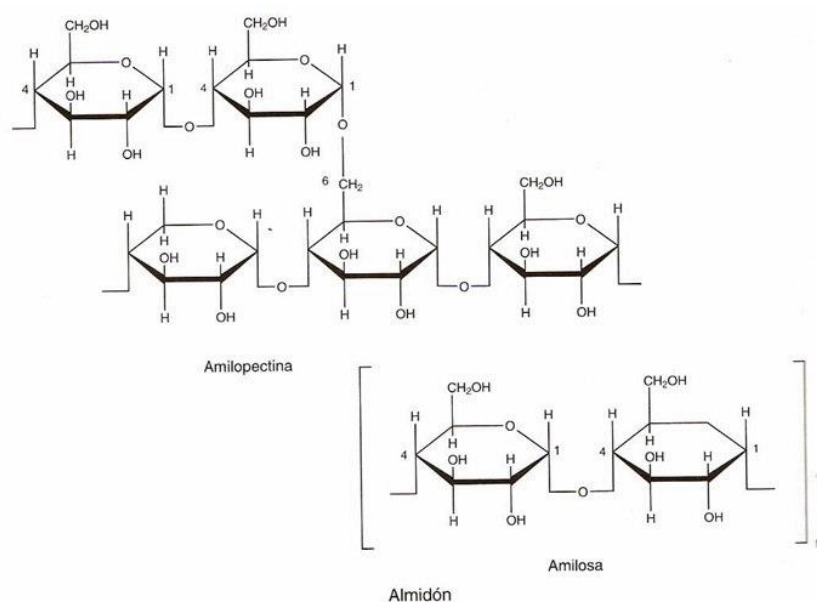


Figura 1.10. Estructura del almidón

Fuente: [39]

El método de aislamiento del almidón tiene un impacto significativo en la proporción y estructura de la amilosa y amilopectina. Procesos de extracción con agua a diferentes temperaturas pueden alterar la cristalinidad del almidón y modificar la

relación amilosa/amilopectina, afectando su capacidad de gelatinización y retrogradación. Métodos alcalinos o enzimáticos pueden inducir la hidrólisis parcial de la amilopectina, favoreciendo un aumento relativo del contenido de amilosa. Asimismo, tratamientos físicos como la ultrasonificación o la alta presión pueden alterar la organización supramolecular del almidón, modificando su estructura granular y sus propiedades funcionales. Por ello, la selección del método de extracción es clave para obtener almidones con características específicas para aplicaciones industriales y tecnológicas [40].

Fuente	Contenido de amilosa	Poder de hinchamiento (g/g) (°C)	Solubilidad (%) (°C)	Transmitancia de luz (% a 650nm)
Trigo normal	18-30	18.3-26.6(100)	1.55	28
Papa normal	20.1-31	1159 (95)	82 (95)	96
Arroz normal	5-28.4	23-30	11-18(95)	24
Maíz normal	22.4-32.5	22 (95)	22 (95)	31
Arroz ceroso	0-2	45-50	2.3-3.2 (95)	-
Maíz ceroso	1.4-2.7	-	-	46
Maíz alto en amilosa	42.6-67.8	6.3 (95)	12.4 (95)	-

Tabla 1.4. Características de diferentes tipos de almidón

Fuente: [41]

1.3. Importancia del almidón en la industria y sus aplicaciones.

El almidón es un biopolímero ampliamente utilizado en diversas industrias debido a su disponibilidad, biodegradabilidad y propiedades funcionales. En la industria alimentaria, es un ingrediente esencial en la formulación de productos como

espesantes, estabilizantes y agentes gelificantes en salsas, sopas y productos de panadería. Además, su capacidad para modificar la textura y mejorar la estabilidad de los alimentos lo hace indispensable en la producción de alimentos procesados y congelados. En el sector farmacéutico, el almidón se emplea como excipiente en la fabricación de tabletas, cápsulas y recubrimientos, debido a su capacidad para mejorar la disolución y biodisponibilidad de los principios activos [42].

En la industria de biomateriales, el almidón ha cobrado gran relevancia como base para la producción de bioplásticos biodegradables, utilizados en envases, películas y utensilios desechables. Su capacidad para formar películas y estructuras resistentes permite su aplicación en la fabricación de empaques sostenibles, reduciendo el impacto ambiental de los plásticos convencionales. Asimismo, en la industria textil y del papel, el almidón se emplea como agente de apresto y adhesivo, mejorando la resistencia y calidad de los productos. Investigaciones recientes han demostrado que la modificación química o enzimática del almidón puede potenciar sus propiedades, ampliando su aplicabilidad en sectores como la bioingeniería, la nanotecnología y la producción de energía sostenible [43].

1.4. Diferencias entre fuentes convencionales y no convencionales de almidón.

Las fuentes convencionales de almidón provienen principalmente de cultivos de alto rendimiento como el maíz, la papa, el trigo y la yuca, los cuales han sido ampliamente utilizados debido a su alto contenido de almidón y su disponibilidad a gran escala. Estos almidones poseen características bien estudiadas y estandarizadas, lo que facilita su aplicación en la industria alimentaria, farmacéutica y de biomateriales. Además, su procesamiento ha sido optimizado para garantizar altos rendimientos y propiedades específicas, como la gelatinización controlada, la estabilidad térmica y la resistencia a la retrogradación. Sin embargo, el cultivo intensivo de estas fuentes puede generar problemas ambientales como la degradación del suelo y el uso excesivo de recursos hídricos, lo que ha incentivado la búsqueda de alternativas más sostenibles [38].

Por otro lado, las fuentes no convencionales de almidón incluyen residuos agroindustriales y cultivos subutilizados, como semillas de calabaza, cáscaras de

plátano, tubérculos silvestres y leguminosas. Estos almidones presentan variaciones en su contenido de amilosa y amilopectina, lo que influye en sus propiedades funcionales y su potencial aplicación en diferentes sectores industriales. Aunque su extracción y caracterización requieren estudios más detallados para optimizar sus propiedades, representan una alternativa prometedora para reducir el desperdicio agroindustrial y fomentar la bioeconomía circular. Además, el uso de fuentes no convencionales contribuye a la diversificación de materias primas y al desarrollo de productos con características innovadoras, como mayor resistencia mecánica o mejor biodegradabilidad en aplicaciones de bioplásticos y empaques ecológicos [44].

2. Composición y propiedades del almidón

2.1. Estructura molecular de la amilosa y amilopectina.

La amilosa y la amilopectina son los dos principales polisacáridos que conforman la estructura molecular del almidón, diferenciándose en su organización y propiedades fisicoquímicas. La **amilosa** es una molécula lineal compuesta por unidades de **α -D-glucosa** unidas por enlaces **α -(1→4)**, lo que le confiere una estructura helicoidal en solución acuosa. Debido a su baja solubilidad en agua y su tendencia a formar geles rígidos, la amilosa es clave en la retrogradación del almidón y en la formación de estructuras resistentes al calor y al envejecimiento. Su proporción varía entre un **15 % y 30 %** dependiendo de la fuente del almidón, influyendo en propiedades como la viscosidad, la digestibilidad y la resistencia al ataque enzimático [38].

Por otro lado, la **amilopectina** es una molécula altamente ramificada, formada por cadenas de **α -D-glucosa** con enlaces **α -(1→4)** en la estructura lineal y **α -(1→6)** en los puntos de ramificación, generando una red tridimensional compacta. Esta organización le otorga una mayor solubilidad en agua y una gelatinización más rápida en comparación con la amilosa. La amilopectina representa entre el **70 % y 85 %** del almidón total y es responsable de la textura pegajosa y la estabilidad térmica de los productos elaborados con almidón. La proporción y distribución de amilosa y amilopectina varían según la fuente del

almidón y determinan sus propiedades funcionales, siendo factores clave en aplicaciones industriales como alimentos, adhesivos, bioplásticos y materiales biomédicos [44].

2.2. Propiedades fisicoquímicas: solubilidad, gelatinización, retrogradación.

El almidón presenta diversas propiedades fisicoquímicas que determinan su comportamiento en aplicaciones industriales, siendo la solubilidad, gelatinización y retrogradación aspectos fundamentales en su funcionalidad. La solubilidad del almidón depende de la proporción de amilosa y amilopectina, así como de la temperatura y el medio en el que se disperse. A temperatura ambiente, el almidón es insoluble en agua debido a la organización cristalina de sus gránulos, pero al calentarse en presencia de agua, las cadenas de amilosa y amilopectina comienzan a hidratarse, facilitando la absorción de agua y aumentando su solubilidad. Los almidones con mayor contenido de amilosa tienden a ser menos solubles y forman geles más rígidos, mientras que aquellos con mayor cantidad de amilopectina tienen mayor solubilidad y generan soluciones más viscosas [45].

La gelatinización es el proceso mediante el cual los gránulos de almidón se hinchan, absorben agua y pierden su estructura cristalina al ser calentados en un medio acuoso. Este fenómeno ocurre en un rango de temperatura específico, que varía según la fuente del almidón, y está influenciado por factores como la concentración de almidón y la presencia de otros compuestos. Durante la gelatinización, se libera amilosa en la solución, lo que provoca un aumento en la viscosidad. Posteriormente, al enfriarse, el almidón puede experimentar retrogradación, un proceso en el cual las cadenas de amilosa y amilopectina se reorganizan y forman estructuras más ordenadas, generando una textura más firme o incluso indeseables recristalizaciones en productos alimenticios. Este fenómeno es clave en la estabilidad de productos como salsas, panificación y bioplásticos, donde la modificación del almidón puede ser necesaria para mejorar su desempeño en distintas aplicaciones [46].

2.3. Características reológicas y térmicas.

Las características reológicas y térmicas del almidón son fundamentales para determinar su comportamiento en diversas aplicaciones industriales, como

alimentos, bioplásticos y adhesivos. En términos reológicos, el almidón en solución exhibe un comportamiento viscoso no newtoniano, donde la viscosidad varía en función de la temperatura, la concentración y la velocidad de cizallamiento. Durante la gelatinización, los gránulos de almidón absorben agua y se expanden, aumentando la viscosidad de la solución. La proporción de amilosa y amilopectina influye en la reología: los almidones con mayor contenido de amilosa tienden a formar geles más firmes y con menor fluidez, mientras que los ricos en amilopectina generan soluciones más pegajosas y estables. Además, factores como el pH, la presencia de sales y la aplicación de esfuerzos mecánicos pueden modificar la viscosidad y la textura de los productos elaborados con almidón [47].

En cuanto a sus propiedades térmicas, el almidón experimenta cambios estructurales significativos cuando se somete a calor. La temperatura de gelatinización varía según la fuente del almidón y oscila entre 50 °C y 80 °C, dependiendo del contenido de amilosa y la cristalinidad de los gránulos. **La** calorimetría diferencial de barrido (DSC) se utiliza para analizar la gelatinización, determinando la cantidad de energía requerida para la ruptura de la estructura granular. Además, la estabilidad térmica del almidón es crucial para su aplicación en bioplásticos y recubrimientos, ya que temperaturas excesivas pueden inducir la descomposición térmica de sus cadenas. Por otro lado, la retrogradación térmica, que ocurre al enfriarse la solución de almidón, afecta la textura y estabilidad de los productos, siendo un factor clave en la calidad de alimentos como pan, salsas y productos congelados [48].

3. Fuentes no convencionales de almidón

3.1. Importancia del aprovechamiento de subproductos agroindustriales.

El aprovechamiento de subproductos agroindustriales es una estrategia clave para la sostenibilidad, ya que permite reducir el impacto ambiental generado por los desechos agrícolas y agroindustriales, al mismo tiempo que se obtienen compuestos de alto valor agregado. Los residuos provenientes de la producción de frutas, cereales, tubérculos y leguminosas contienen biomoléculas como almidones, proteínas, fibras y compuestos bioactivos que pueden ser recuperados y utilizados en diversas industrias. La revalorización de estos subproductos no solo disminuye

la contaminación y la acumulación de desechos, sino que también promueve la economía circular, optimizando el uso de los recursos naturales y fomentando el desarrollo de nuevos materiales biodegradables y bioproductos funcionales [49].

En el caso del almidón, su extracción a partir de residuos agroindustriales como cáscaras, semillas y pulpas de frutas representa una alternativa viable a las fuentes convencionales, diversificando la oferta de biopolímeros y reduciendo la dependencia de cultivos con alta demanda agrícola. Además, el almidón obtenido de subproductos puede presentar propiedades fisicoquímicas y funcionales distintas a las de fuentes tradicionales, lo que amplía sus aplicaciones en sectores como la industria alimentaria, farmacéutica y de biomateriales. La investigación en este campo ha demostrado que la recuperación de almidón y otros biopolímeros a partir de residuos agroindustriales no solo mejora la rentabilidad de los procesos productivos, sino que también contribuye a la mitigación del cambio climático al disminuir la generación de residuos y el consumo de materias primas no renovables [50].

3.2. Importancia del almidón extraído de semillas de diferentes frutos.

El almidón extraído de semillas de diferentes frutos ha cobrado creciente importancia debido a su potencial para diversificar las fuentes de almidón y ofrecer alternativas sostenibles a los almidones convencionales. Las semillas de frutas, como el aguacate [51], mango [52], huaya [38], son ricas en almidón, lo que las convierte en una fuente atractiva para la producción de biopolímeros y otros productos derivados. Este tipo de almidón presenta características particulares que pueden ser aprovechadas para aplicaciones específicas en la industria alimentaria, farmacéutica y de biocompuestos. Además, al provenir de residuos agroindustriales o productos agrícolas subutilizados, el almidón extraído de semillas contribuye a la reducción de desechos y fomenta la economía circular, utilizando materias primas que, de otro modo, podrían ser desechadas.

A diferencia de los almidones tradicionales, el almidón extraído de semillas de frutos puede tener una estructura y propiedades fisicoquímicas únicas, como una mayor capacidad de retención de agua, solubilidad o resistencia térmica, lo que puede

hacerlo más adecuado para ciertas aplicaciones tecnológicas. Su utilización en la producción de bioplásticos, recubrimientos, y productos farmacéuticos ha demostrado ser prometedora, ya que estos almidones tienen la capacidad de ser modificados para mejorar su funcionalidad. Además, la diversidad de almidones obtenidos de semillas de frutas abre la puerta a nuevas soluciones innovadoras, permitiendo que los productos finales sean más biodegradables, menos dependientes de recursos agrícolas convencionales y con un menor impacto ambiental [53].

4. Semillas de calabaza como fuente de almidón

Las semillas de calabaza representan una fuente prometedora de almidón, especialmente en el contexto del aprovechamiento de subproductos agroindustriales. Aunque estas semillas son mayormente reconocidas por su contenido de lípidos y proteínas, estudios recientes han demostrado que también poseen una fracción significativa de almidón, lo que abre nuevas posibilidades para su valorización en distintas industrias. La extracción de almidón de estas semillas no solo contribuye a la reducción de residuos agrícolas, sino que también permite desarrollar nuevos materiales y productos con propiedades funcionales innovadoras.



Figura 1.11. Calabaza pipián y sus semillas

Fuente:[54]

El almidón extraído de semillas de calabaza presenta una morfología característica, con gránulos de tamaños y formas variables, dependiendo de la especie y las condiciones de extracción. Su contenido de amilosa y amilopectina determina sus propiedades fisicoquímicas, tales como la solubilidad, gelatinización y retrogradación. Además, se ha observado que este almidón puede presentar una alta resistencia térmica y una buena capacidad de absorción de agua, lo que lo hace adecuado para aplicaciones en la industria alimentaria, farmacéutica y de biopolímeros [55].

4.1. Cucurbitáceas

Las calabazas pertenecen a la familia *Cucurbitaceae*, la cual incluye aproximadamente 120 géneros y alrededor de 800 especies. Dentro de esta familia, el género *Cucúrbita* es originario de América y comprende cerca de 27 especies de plantas anuales o perennes, cultivadas principalmente por sus frutos, tanto en estado maduro como inmaduro. Sin embargo, otras partes de la planta también son

aprovechadas para el consumo humano, como las semillas, las hojas y las flores, debido a su valor nutricional. Las semillas de calabaza, a menudo considerados residuos agrícolas tras la extracción del fruto poseen un alto contenido de compuestos nutritivos esenciales. Estas semillas pueden representar entre el 80% y 85% del peso seco del embrión y se destacan por su elevado contenido de lípidos y proteínas. Su composición lipídica oscila entre un 40% y 52% de aceite, de los cuales aproximadamente un 29% corresponde a ácido oleico y un 51.9% a ácido linoleico, ambos ácidos grasos esenciales con beneficios para la salud. Además, las semillas contienen una importante cantidad de proteínas, minerales como magnesio, fósforo, cobre, potasio, hierro, zinc y manganeso, así como compuestos bioactivos como β -caroteno y γ -tocoferol, que poseen propiedades antioxidantes [56].

4.2. Cucúrbita *Argyrosperma*

El origen de *Cucúrbita Argyrosperma* se ubica en América, específicamente en lo que hoy es Estados Unidos y México. Según la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), se estima que su domesticación ocurrió hace más de 7,000 años en el sur de México, lo que la convierte en una de las especies más antiguamente cultivadas en la región mesoamericana. Su importancia radica en su valor nutricional y su adaptación a diversos ecosistemas, lo que ha permitido su cultivo y diversificación a lo largo del tiempo. Las *cucurbitáceas* constituyen un grupo relevante de plantas, predominantemente tropicales, con una gran variedad de especies utilizadas para la alimentación humana y animal. Muchas de estas especies han sido priorizadas para la conservación de recursos genéticos debido a su potencial en la seguridad alimentaria y la sustentabilidad agrícola. Además de su fruto, otras partes de la planta, como semillas, hojas y flores, han sido aprovechadas en distintas culturas a lo largo de la historia, destacando su versatilidad en la alimentación y su contribución a la biodiversidad agrícola [57].



Figura 1.12. calabazas cucúrbita *Argyrosperma* y cucúrbita *pepo*

Fuente:[54] [58]

Los frutos de *Cucúrbita Argyrosperma* se valoran principalmente por sus semillas, las cuales son relativamente grandes y poseen un alto contenido de aceites y proteínas, otorgándoles un significativo valor nutricional. Estas semillas se consumen enteras, ya sea crudas, tostadas o procesadas, y constituyen el ingrediente principal de diversas salsas utilizadas en la gastronomía tradicional mexicana, como los papadzules y el pipián. Más allá de su uso culinario, la calabaza pipián también tiene un papel relevante en la medicina tradicional, especialmente en la Península de Yucatán. La pulpa de su fruto se emplea en el tratamiento de quemaduras, heridas y erupciones cutáneas, gracias a sus posibles propiedades antiinflamatorias y regenerativas. Por otro lado, las semillas se han utilizado con fines terapéuticos, como anestésico natural, para estimular la producción de leche en mujeres lactantes y como antihelmíntico en el tratamiento de parásitos intestinales. Esta combinación de propiedades nutricionales y medicinales refuerza la importancia de esta especie dentro del acervo cultural y agrícola de la región.



Figura 1.13. cucúrbita *Argyrosperma*

Fuente:[54]

5. Métodos de extracción del almidón

5.1. Métodos físicos: molienda, tamizado, lavado con agua.

En primera instancia, el proceso de molienda y tamizado es un método en seco que se basa en la diferencia de tamaño de las partículas. En esta etapa inicial, la molienda es una operación unitaria cuyo objetivo es reducir el tamaño de las partículas del material mediante la pulverización. Durante este proceso, las variables que se pueden controlar incluyen la cantidad de grano utilizado y el tiempo necesario para la trituración de la muestra. Estas variables influyen directamente en la eficiencia del proceso y en el tamaño final de las partículas obtenidas [59].

Una vez completada la molienda, la materia pasa a un proceso de tamizado, en el que se utiliza una serie de tamices para separar las partículas según su tamaño. Las partículas más finas, que generalmente son de mayor interés para el estudio, se separan de las más gruesas. Estas últimas pueden ser sometidas a un segundo ciclo de molienda, lo que permite aumentar la cantidad de partículas con el tamaño adecuado. Para facilitar la identificación, se suele emplear el número de identificación de cada tamiz, que indica el tamaño máximo de partícula que puede pasar a través de él. Para mejorar la eficiencia de este proceso, se puede utilizar una máquina que someta los tamices a una agitación mecánica, lo que acelera la separación.

Sin embargo, este proceso presenta algunas desventajas. En comparación con los métodos húmedos, la molienda y el tamizado en seco suelen ser menos efectivos, ya que por su naturaleza requieren más tiempo para alcanzar el resultado deseado. Además, existe el riesgo de contaminación de la muestra, ya que durante el proceso pueden generarse impurezas o contaminantes, lo que podría afectar la pureza del material final.

5.2. Métodos químicos: extracción con soluciones alcalinas o ácidas.

Entre las técnicas de separación de componentes volátiles, una de las más destacadas es el arrastre por vapor. Esta técnica tiene la ventaja de permitir una separación selectiva de los componentes volátiles de una mezcla mediante el control de la temperatura. A diferencia de otros métodos de destilación, el arrastre por vapor utiliza temperaturas de destilación más bajas y controladas, lo que reduce la exposición directa al calor y, por lo tanto, minimiza el riesgo de degradación de los compuestos sensibles al calor. Además, una de las principales ventajas del arrastre por vapor es su alta eficiencia en términos de energía utilizada y tiempo de destilación, lo que la convierte en una opción más económica y rápida en comparación con otros métodos de destilación convencionales. Esta técnica es particularmente útil cuando se busca preservar la calidad y estabilidad de los compuestos volátiles, al mismo tiempo que se optimizan los recursos energéticos en el proceso [60].

La extracción con disolvente, también conocida como extracción líquido-líquido, implica el contacto directo entre la muestra y el disolvente, el cual, debido a su polaridad, arrastra los componentes lipídicos de la muestra. Este método ha demostrado ser eficiente y se ha adaptado bien a otras técnicas de extracción, convirtiéndose en una opción más económica y práctica para la obtención de aceites. En particular, se utiliza ampliamente en la extracción de aceites a partir de semillas oleaginosas, las cuales se tratan previamente para maximizar la recuperación del aceite durante el proceso. Sin embargo, una de las desventajas principales de este método es que pueden surgir problemas relacionados con el tiempo de extracción y con los cambios en la temperatura durante el proceso. Estas

variaciones pueden afectar la eficiencia de la extracción y, en algunos casos, provocar la descomposición de los compuestos deseados, lo que reduce la calidad y la cantidad del aceite obtenido [61].

Existen dos métodos de extracción por solventes ampliamente conocidos: percolación y maceración. En el proceso de maceración, el solvente se rocía en forma de lluvia sobre la muestra, permitiendo que este llene completamente los huecos de la semilla a través de la inmersión. Este método favorece un contacto prolongado entre la muestra y el disolvente, lo que facilita la extracción de los compuestos lipídicos. Por otro lado, en la percolación, la sustancia se sumerge completamente en el solvente, y el proceso se caracteriza por una relación soluto-disolvente alta durante el remojo. En este caso, la relación soluto-disolvente suele ser 1:1, lo que implica que por cada unidad de soluto se utiliza una unidad de disolvente. Este proceso es más lento que la maceración, pero permite una extracción más controlada y gradual. La percolación es particularmente eficaz cuando se busca maximizar la eficiencia de extracción y mejorar el rendimiento del solvente. Sin embargo, ambos métodos presentan ventajas y desventajas dependiendo de la naturaleza del material a extraer y los objetivos específicos del proceso.

Otro método comúnmente utilizado es la extracción con Soxhlet, especialmente cuando el componente de interés son los ácidos grasos o terpenos, y su solubilidad en disolventes no polares es la propiedad clave que se aprovecha. Este proceso se basa en el principio de que las grasas, debido a su afinidad por disolventes no polares como el cloroformo, el hexano, el ciclohexano o el éter de petróleo, se disuelven fácilmente en estos disolventes. Cuando un alimento o material vegetal entra en contacto con estos disolventes, las grasas se separan del resto de los componentes de la muestra, debido a su alta solubilidad en estos líquidos. Este tipo de extracción, también conocida como extracción sólido-líquido, es especialmente eficaz para la obtención de lípidos y otros compuestos solubles en disolventes no polares, permitiendo una separación eficiente y limpia de los compuestos deseados.

El equipo Soxhlet permite realizar este proceso de manera continua, mejorando la eficiencia al reutilizar el disolvente en varias fases de extracción [62].



Figura 1.14. sistema Soxhlet

Fuente: [63]

En el procedimiento de extracción Soxhlet, la muestra sólida, previamente pulverizada finamente, se coloca en un cartucho de material poroso que se ubica en la cámara del extractor Soxhlet. El disolvente extractante, contenido en un balón, se calienta, lo que provoca la vaporización del disolvente. Estos vapores se condensan en un sistema de refrigeración y caen, gota a gota, sobre el cartucho que contiene la muestra. Durante este proceso, los compuestos solubles de la muestra, llamados analitos, se disuelven en el disolvente. Cuando el nivel del disolvente condensado en la cámara alcanza la parte superior del sifón lateral, el disolvente, junto con los analitos disueltos, asciende por el sifón y retorna al balón de ebullición. Este ciclo de calentamiento, condensación y retorno se repite varias veces, lo que permite que los analitos se extraigan completamente de la muestra. A medida que el proceso avanza, los analitos se concentran en el disolvente, facilitando su posterior separación y purificación [64].

El método Soxhlet se basa en los siguientes pasos fundamentales: (i) Se añade el disolvente en un balón y se calienta hasta su ebullición, lo que provoca que el disolvente se evapore y ascienda hacia un condensador, donde se produce el reflujo. (ii) El condensado, ahora en forma líquida, cae sobre el recipiente que contiene un cartucho poroso con la muestra a procesar. (iii) A medida que el disolvente continúa cayendo sobre la muestra, el nivel del líquido en la cámara del extractor asciende hasta cubrir completamente el cartucho. (iv) En este punto, se produce el reflujo, donde el disolvente, cargado con los componentes solubles de la muestra, asciende por el sifón lateral y retorna al balón de ebullición. (v) Este proceso se repite varias veces, asegurando que los analitos sean extraídos completamente de la muestra, hasta que se agoten los compuestos solubles y se haya realizado la extracción completa [65].

El uso de hexano como solvente en el aislamiento de almidón a partir de residuos agroindustriales presenta varias ventajas, especialmente en términos de eficiencia y calidad del almidón extraído. El hexano es un solvente apolar que se utiliza comúnmente en procesos de extracción debido a su capacidad para disolver compuestos lipofílicos, como aceites y grasas, presentes en los residuos agroindustriales. Al emplear hexano, se puede realizar una extracción más selectiva del almidón, ya que minimiza la disolución de otras impurezas o sustancias no deseadas, como proteínas y fibras, mejorando la pureza del almidón final. Esto resulta en un almidón de mayor calidad, con propiedades funcionales más consistentes y adecuadas para aplicaciones industriales.

Otra ventaja del uso de hexano es su bajo punto de ebullición (aproximadamente 68-70 °C), lo que permite una evaporación rápida del solvente tras la extracción, sin necesidad de altas temperaturas que puedan degradar el almidón. Este proceso de extracción, además, es relativamente rápido y eficiente, lo que mejora el rendimiento del proceso y reduce los costos operativos. Además, el hexano es fácilmente recuperable mediante destilación, lo que permite su reutilización en ciclos sucesivos de extracción, contribuyendo a la sostenibilidad y reduciendo el impacto ambiental del proceso. Sin embargo, es importante destacar que el hexano es un solvente

volátil y debe manejarse con precaución, ya que es inflamable y puede ser perjudicial para la salud si no se toman las medidas de seguridad adecuadas [66].

5.3. Comparación de metodologías y su impacto en la calidad del almidón obtenido.

La elección de la metodología para la extracción de almidón a partir de residuos agroindustriales tiene un impacto significativo en la calidad del almidón obtenido, y diversas técnicas pueden ofrecer ventajas o desventajas dependiendo del tipo de material y las propiedades deseadas del producto final. Los métodos tradicionales de extracción de almidón, como el lavado con agua o la suspensión en agua a temperatura ambiente, son sencillos y económicos, pero pueden resultar en almidones con un alto contenido de impurezas, como proteínas y fibras vegetales, que afectan la pureza y las propiedades funcionales del almidón. Además, estos métodos pueden no ser lo suficientemente eficientes para extraer grandes cantidades de almidón de residuos con una alta carga de lípidos o compuestos no solubles en agua [67].

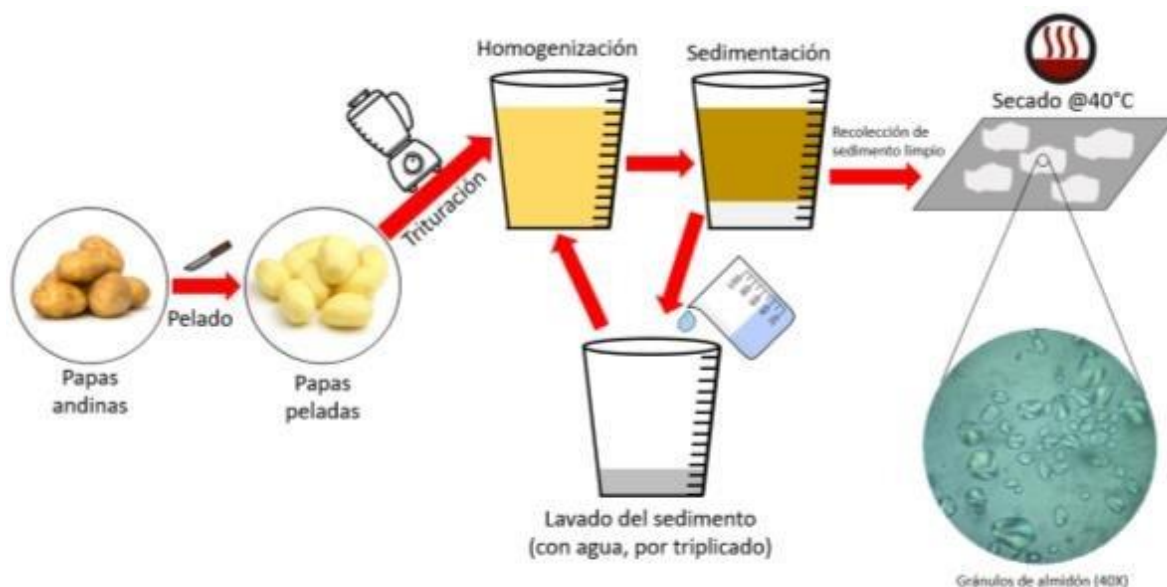


Figura 1.15. proceso tradicional de extracción de almidón

Fuente:[68]

Por otro lado, métodos químicos como el uso de soluciones alcalinas o ácidas han sido ampliamente utilizados para mejorar la eficiencia de la extracción y reducir la

cantidad de impurezas. Estos tratamientos pueden eliminar compuestos no deseados, como las proteínas, pero también pueden modificar la estructura del almidón, afectando su cristalinidad y propiedades funcionales, como la gelatinización o la capacidad de formación de geles. El uso de hexano o solventes orgánicos en la extracción también se ha propuesto como una alternativa para remover aceites y compuestos lipofílicos, mejorando la pureza del almidón, pero también puede alterar la estructura y propiedades térmicas del producto. En este sentido, los métodos de extracción enzimáticos ofrecen un enfoque más selectivo, ya que las enzimas pueden descomponer las impurezas sin afectar significativamente la estructura del almidón, aunque este proceso tiende a ser más costoso y requiere un control preciso de las condiciones de reacción [69].

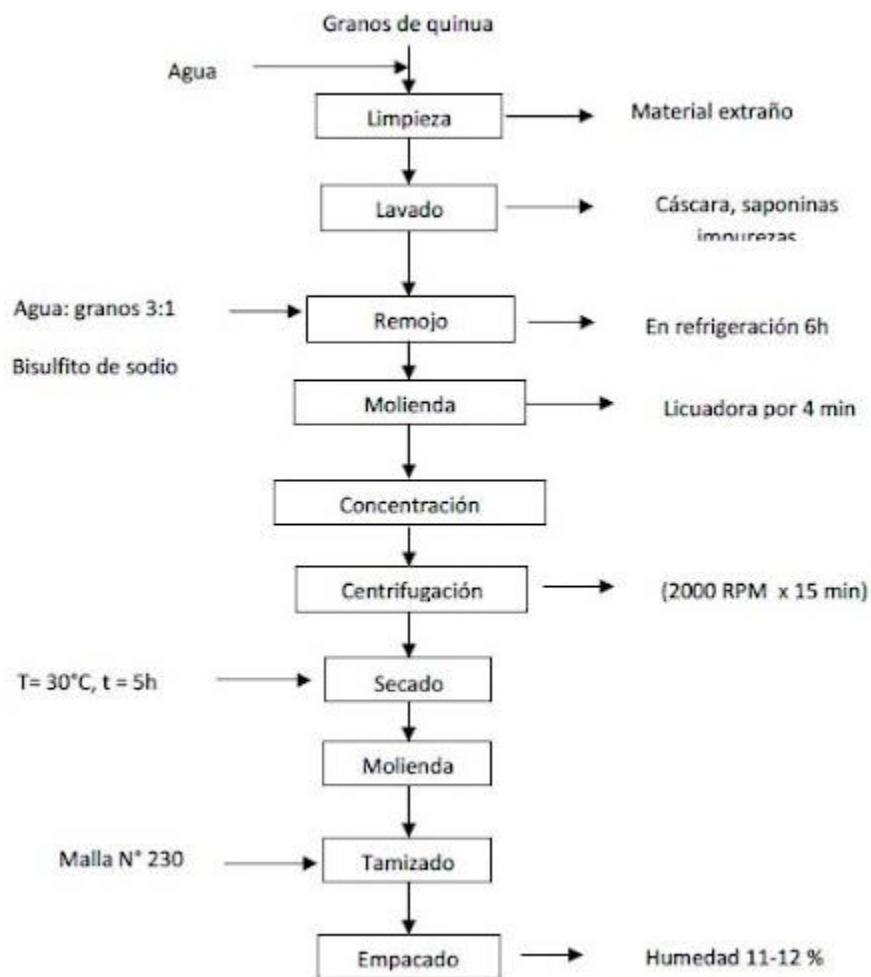


Figura 1.16. Método químico de extracción de almidones

Fuente: [70]

Finalmente, los métodos combinados, que integran técnicas mecánicas, químicas y enzimáticas, han demostrado ser particularmente eficaces para optimizar el rendimiento de la extracción y la calidad del almidón obtenido. Estos métodos permiten ajustar las condiciones de procesamiento para obtener almidones con propiedades específicas, como una mayor capacidad de hinchamiento o mejor solubilidad, y han sido aplicados con éxito en la extracción de almidón a partir de residuos agroindustriales. Sin embargo, el impacto de cada metodología en la calidad del almidón depende del tipo de residuo agroindustrial, el tiempo y las condiciones de tratamiento, por lo que una evaluación adecuada de cada proceso es crucial para maximizar el rendimiento y la funcionalidad del almidón extraído [71].

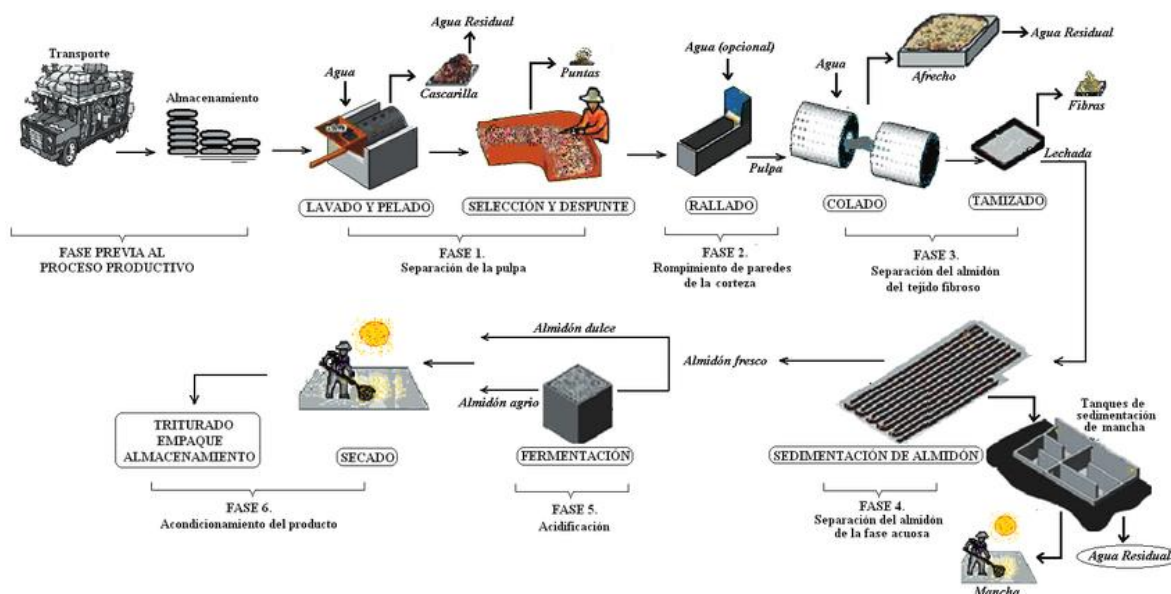


Figura 1.17. método combinado de extracción

Fuente:[72]

6. Caracterización del almidón extraído

Las técnicas de caracterización del almidón son fundamentales para evaluar sus propiedades fisicoquímicas, térmicas, estructurales y funcionales, lo que permite determinar su calidad y adecuación para distintas aplicaciones industriales. Estas técnicas son esenciales tanto en la investigación como en el desarrollo de nuevos productos, ya que el almidón puede presentar variaciones en su composición dependiendo de la fuente de origen y el método de extracción empleado. La caracterización permite optimizar procesos de modificación y aplicación del almidón

en sectores como la industria alimentaria, farmacéutica, textil y de biomateriales, asegurando que cumpla con los estándares requeridos en cada aplicación.

Entre las técnicas más utilizadas está la Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR), la cual se emplea para identificar grupos funcionales y posibles modificaciones químicas; El Análisis Termogravimétrico (TGA), que permite identificar las temperaturas para el procesamiento del almidón; la Microscopía Electrónica de Barrido (SEM), que permite observar la morfología de los gránulos de almidón, evaluando su tamaño, forma y superficie. La combinación de estas técnicas permite obtener una caracterización completa del almidón, facilitando su aplicación en el desarrollo de productos innovadores y sostenibles.

6.1. Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR)

El principio de funcionamiento del equipo FTIR (Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier) se basa en la interacción de la radiación infrarroja con las moléculas del material analizado, en este caso, el almidón. Cuando un haz de luz infrarroja incide sobre la muestra, ciertos grupos funcionales absorben energía en longitudes de onda específicas, provocando vibraciones moleculares como estiramientos, flexiones y torsiones en los enlaces químicos. Esta absorción se traduce en un espectro único que actúa como una "huella digital" del compuesto, permitiendo identificar su estructura y composición [73].

El equipo FTIR emplea un interferómetro de Michelson, que divide el haz de luz en dos caminos ópticos: uno que atraviesa la muestra y otro que se refleja en un espejo móvil. Luego, los haces se recombinan y generan un patrón de interferencia que es procesado matemáticamente mediante la Transformada de Fourier (FT), convirtiendo los datos en un espectro de absorbancia o transmitancia en función del número de onda (cm^{-1}). Este espectro es analizado para identificar picos característicos de los enlaces funcionales del almidón, como los grupos hidroxilo ($-\text{OH}$), carbonilo ($\text{C}=\text{O}$) y los enlaces glucosídicos ($\text{C}-\text{O}-\text{C}$). Debido a su alta sensibilidad y rapidez, el FTIR es una herramienta clave para estudiar la pureza, modificaciones y propiedades estructurales del almidón en diversas aplicaciones industriales [73].

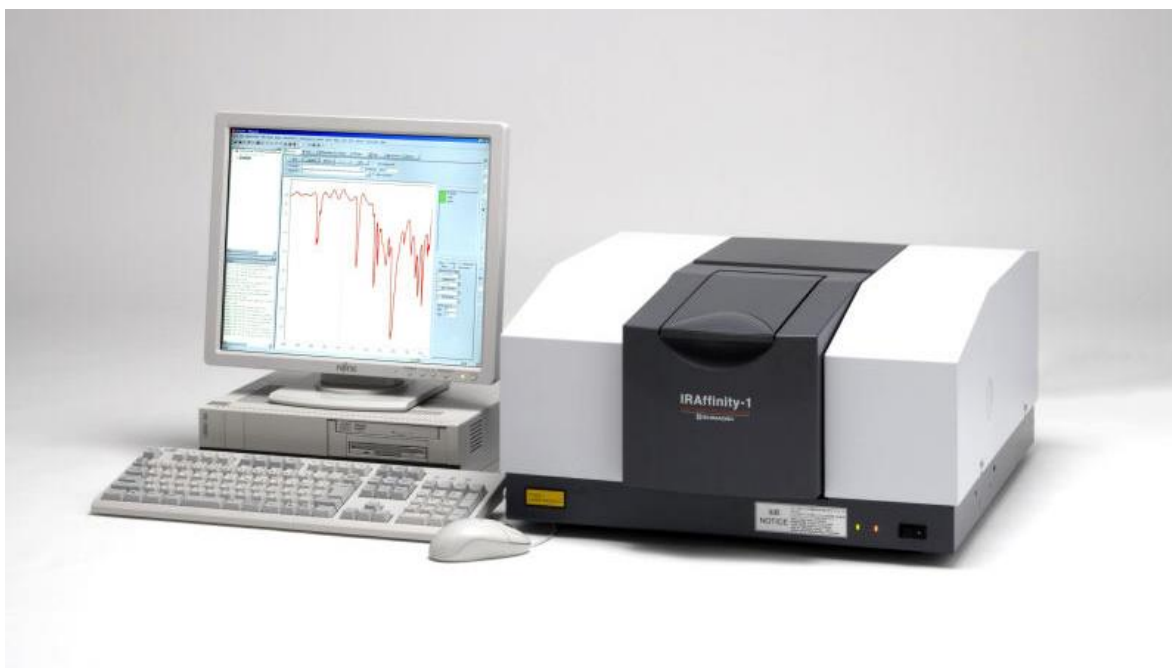


Figura 1.18. Equipo de FTIR

Fuente:[74]

La espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR, por sus siglas en inglés) es una técnica analítica ampliamente utilizada para la caracterización estructural del almidón, ya que permite identificar los grupos funcionales presentes en su composición y detectar posibles modificaciones químicas. Esta técnica se basa en la absorción de radiación infrarroja por las moléculas del almidón, lo que genera un espectro característico que refleja sus enlaces químicos y patrones estructurales. FTIR es especialmente útil para evaluar la presencia de grupos hidroxilo (-OH), enlaces C-O-C en la estructura glucosídica y cambios en la cristalinidad del almidón tras procesos de extracción o modificación.

Uno de los parámetros clave analizados en los espectros FTIR del almidón es la relación entre las bandas de absorción asociadas con la cristalinidad y amorfidad de la estructura. Las señales en la región de $3200\text{--}3600\text{ cm}^{-1}$ corresponden a los enlaces de hidrógeno entre las moléculas de agua y las cadenas de glucosa, mientras que las bandas entre $1000\text{--}1200\text{ cm}^{-1}$ están relacionadas con la estructura ordenada del almidón. Además, FTIR permite detectar modificaciones químicas como la acetilación, fosforilación u oxidación del almidón, lo que es crucial para

evaluar su funcionalidad en aplicaciones industriales. Debido a su rapidez, sensibilidad y capacidad de análisis sin necesidad de preparaciones complejas, FTIR es una herramienta esencial en la investigación y desarrollo de almidones con propiedades mejoradas para la industria alimentaria, farmacéutica y de biomateriales.

6.2. Análisis Termogravimétrico (TGA)

El análisis termogravimétrico (TGA, por sus siglas en inglés) es una técnica utilizada para evaluar la estabilidad térmica y la composición del almidón mediante la medición de la pérdida de masa en función de la temperatura o el tiempo. Este análisis es fundamental para estudiar la resistencia del almidón a la degradación térmica, lo que es clave en su aplicación en alimentos, biomateriales y productos farmacéuticos. El TGA permite determinar la cantidad de humedad, la presencia de compuestos volátiles y la temperatura a la cual el almidón comienza a descomponerse [73].



Figura 1.19. Equipo TGA

Fuente:[75]

El proceso de TGA se realiza calentando la muestra de almidón en una atmósfera controlada (generalmente nitrógeno o aire) mientras una balanza de alta precisión registra la pérdida de peso en función del incremento de temperatura. En el caso del almidón, se pueden identificar tres etapas principales: (1) pérdida de agua

absorbida, que ocurre entre 50-150 °C; (2) degradación térmica de los polisacáridos, que comienza alrededor de 250-350 °C y corresponde a la ruptura de enlaces glucosídicos; y (3) combustión de residuos carbonosos, que ocurre a temperaturas superiores a 400 °C. El TGA es ampliamente utilizado en la caracterización de almidones nativos y modificados, ya que permite comparar su estabilidad térmica y evaluar su comportamiento en procesos industriales que involucren calor, como la producción de bioplásticos y recubrimientos biodegradables [76].

6.3. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM).

La microscopía electrónica de barrido (SEM, por sus siglas en inglés: Scanning Electron Microscopy) es una técnica de análisis ampliamente utilizada en la caracterización de biopolímeros como el almidón. Permite obtener imágenes de alta resolución de la superficie de los gránulos de almidón, proporcionando información detallada sobre su morfología, tamaño, distribución y posibles modificaciones estructurales. Este análisis es clave en estudios de extracción, modificación y aplicación del almidón, ya que la estructura de los gránulos influye directamente en sus propiedades fisicoquímicas y funcionales, como la gelatinización, la solubilidad y la capacidad de absorción de agua [73].

El SEM opera mediante la emisión de un haz de electrones de alta energía desde un cañón de electrones. Este haz es dirigido hacia la muestra mediante un sistema de lentes electromagnéticas en un ambiente de alto vacío para evitar la dispersión de los electrones. Cuando el haz impacta la muestra, se producen diferentes interacciones que generan señales detectables [73]:

- **Electrones secundarios:** Se emiten desde la superficie del material y proporcionan información detallada sobre la morfología y topografía de la muestra, lo que permite visualizar la forma y textura de los gránulos de almidón.
- **Electrones retrodispersados:** Son electrones reflejados desde los átomos de la muestra y ofrecen datos sobre la composición química y el contraste de fases, útiles para distinguir materiales con diferente densidad electrónica.

- Rayos X característicos (EDS o EDX): Se generan cuando los electrones del haz excitan los átomos de la muestra, lo que permite identificar la composición elemental del material. En el caso del almidón, esta técnica es útil para detectar impurezas minerales o residuos de procesamiento.

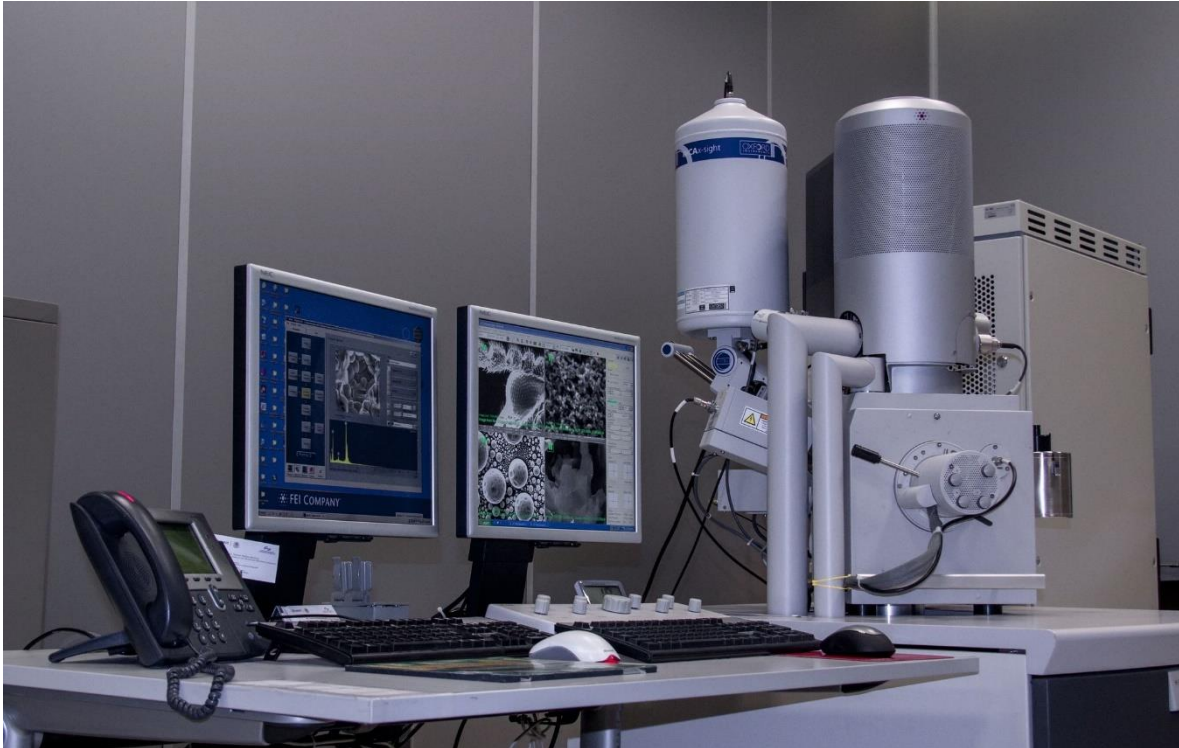


Figura 1.20. Equipo de SEM

Fuente: [77]

El análisis de almidón por SEM permite obtener información crucial sobre la calidad y funcionalidad del material. Algunas de las características que pueden evaluarse incluyen [78]:

- Tamaño y forma de los gránulos: Dependiendo de la fuente, los gránulos pueden ser esféricos, poligonales, elipsoidales o irregulares. Estas variaciones afectan su capacidad de hinchamiento, gelatinización y retrogradación.
- Superficie de los gránulos: Un almidón nativo suele tener una superficie lisa, mientras que un almidón modificado o degradado puede presentar grietas,

poros o fracturas. Estos cambios pueden influir en su interacción con el agua y otros compuestos.

- Efectos del proceso de extracción: Diferentes métodos de extracción pueden impactar la estructura de los gránulos. El SEM permite evaluar el grado de daño mecánico, térmico o químico sufrido durante el aislamiento del almidón.
- Comparación entre almidones nativos y modificados: En estudios de modificación química, térmica o enzimática, el SEM ayuda a visualizar cómo los tratamientos afectan la estructura y estabilidad del almidón, permitiendo correlacionar los cambios con su funcionalidad en aplicaciones industriales.

7. Aplicaciones potenciales del almidón de semillas de calabaza

7.1. Uso en la industria alimentaria, farmacéutica y de bioplásticos.

El almidón extraído de semillas de fuentes no convencionales, como las semillas de diferentes frutas y otras especies agroindustriales, ha despertado un creciente interés debido a sus propiedades únicas y su potencial para aplicaciones innovadoras en diferentes sectores industriales. Estas fuentes alternativas ofrecen una oportunidad para el aprovechamiento de residuos agroindustriales y la diversificación de los biopolímeros utilizados en la industria alimentaria, farmacéutica, textil y de biomateriales [79].

El almidón de fuentes no convencionales se estudia ampliamente por su capacidad de sustitución parcial o total del almidón de maíz, papa y trigo en productos alimenticios. Su aplicación en la formulación de espesantes, estabilizantes y agentes gelificantes es relevante en la producción de sopas, salsas, postres y productos de panadería. Además, algunos almidones de semillas no convencionales presentan ****propiedades funcionales mejoradas****, como una mayor resistencia a la retrogradación, lo que los hace ideales para productos congelados y alimentos con mayor vida útil [80].

En el sector farmacéutico, el almidón de fuentes no convencionales es utilizado como agente desintegrante, excipiente y encapsulante en la formulación de tabletas y sistemas de liberación controlada de fármacos. Su biodegradabilidad y biocompatibilidad lo convierten en una alternativa atractiva para el desarrollo de cápsulas y películas solubles en aplicaciones biomédicas. Además, algunos almidones modificados han demostrado mejorar la estabilidad y biodisponibilidad de compuestos bioactivos, permitiendo su uso en sistemas de liberación prolongada de medicamentos [81].

El desarrollo de materiales biodegradables a partir de almidón es una de las aplicaciones más prometedoras para reducir la contaminación por plásticos convencionales. El almidón extraído de semillas no convencionales se ha investigado como materia prima para la producción de bioplásticos y películas comestibles, con propiedades mecánicas y de barrera comparables a las de los polímeros sintéticos. Estos materiales pueden utilizarse en la fabricación de envases para alimentos, envolturas biodegradables y recubrimientos protectores para frutas y hortalizas [82].

El almidón es un aditivo clave en la industria textil, donde se emplea en el apresto de fibras y tejidos, mejorando la resistencia y el acabado de las telas. En la industria papelera, se utiliza como aglutinante y recubrimiento superficial, mejorando la calidad del papel y su capacidad de impresión. El almidón de fuentes no convencionales puede ofrecer ventajas adicionales en términos de adhesión y solubilidad, lo que lo hace atractivo para aplicaciones industriales sostenibles [42].

El almidón de semillas no convencionales también ha sido explorado en la formulación de bioadhesivos, utilizados en la industria del embalaje y la carpintería como sustitutos de adhesivos sintéticos derivados del petróleo. Asimismo, puede emplearse en recubrimientos biodegradables para aplicaciones en la conservación de alimentos y en la protección de materiales metálicos contra la corrosión [83].

7.2. Comparación con almidones comerciales y su posible mejora mediante modificaciones químicas o físicas.

El almidón de fuentes no convencionales presenta características distintivas en comparación con almidones comerciales como los de maíz, papa y tapioca, diferenciándose en el tamaño y morfología de sus gránulos, la proporción de amilosa/amilopectina y sus propiedades térmicas y reológicas. Su menor tamaño de gránulo y estabilidad térmica moderada lo hacen adecuado para aplicaciones donde se requiera una textura suave y baja sinéresis. Sin embargo, su funcionalidad puede ser limitada en algunos procesos industriales, lo que hace necesario su mejoramiento mediante modificaciones físicas, químicas o enzimáticas. Estas técnicas permiten optimizar propiedades como la solubilidad, la resistencia térmica y la estabilidad frente a procesos de congelación-descongelación, ampliando sus posibles aplicaciones en la industria alimentaria, farmacéutica, de biomateriales y recubrimientos [84].

Las modificaciones físicas, como la pre-gelatinización y el tratamiento térmico, mejoran la solubilidad y la estabilidad del almidón en procesos industriales. Las modificaciones químicas, como la acetilación y la fosforilación, permiten mejorar la capacidad de retención de agua y reducir la retrogradación, favoreciendo su uso en productos congelados y adhesivos biodegradables. Por otro lado, la modificación enzimática mediante hidrólisis o transglucosilación puede generar almidones con baja viscosidad y mayor estabilidad, ideales para la industria farmacéutica y de alimentos funcionales. Estas mejoras hacen del almidón de semillas de calabaza una alternativa viable y sostenible a los almidones comerciales, promoviendo el aprovechamiento de subproductos agroindustriales en una economía circular [85].

Antecedentes

Se han realizado diferentes trabajos para la extracción y caracterización de almidones de fuentes no convencionales para su posible aplicación en embalaje de alimentos.

En un trabajo, los autores presentan la preparación de películas compuestas a partir de almidón de semilla de yaca, y xiloglucano de tamarindo y nanopartículas de óxido de zinc. La metodología utilizada incluye la preparación de las películas mediante el proceso de *casting*, donde se mezclan los ingredientes y se secan para formar una película flexible. Las técnicas de caracterización empleadas son FTIR para analizar los grupos funcionales, SEM para estudiar la morfología de las películas, XRD para determinar la estructura cristalina, y TGA para evaluar la estabilidad térmica. Los resultados muestran que las películas exhiben buenas propiedades mecánicas, de barrera y antimicrobianas, lo que las hace aptas para aplicaciones en la industria del embalaje, especialmente para la conservación de frutas como el tomate. La conclusión destaca que estas películas compuestas son prometedoras como materiales biodegradables para el envasado de alimentos, ofreciendo una alternativa más sostenible a los plásticos convencionales [86].

En otra investigación, se analiza el uso de almidón de semilla de *Eriobotrya japonica* para la elaboración de recubrimientos bioactivos destinados a prolongar la vida útil de las fresas. La metodología utilizada incluye la preparación de una solución de almidón a partir de la semilla, que luego se mezcla con agentes antioxidantes y se aplica a las fresas en forma de recubrimiento. Las técnicas de caracterización empleadas son FTIR para identificar los grupos funcionales del almidón y los compuestos añadidos, SEM para observar la morfología de los recubrimientos, y pruebas de solubilidad y adhesión para evaluar su desempeño en condiciones de almacenamiento. Los resultados muestran que el recubrimiento tiene propiedades antioxidantes, reduciendo la oxidación y el deterioro de las fresas, y mejorando su calidad y vida útil. La conclusión destaca el potencial del almidón de semilla de níspero como una alternativa ecológica y efectiva en la industria de empaques para

productos perecederos, brindando una opción más sostenible y natural para la conservación de alimentos [87].

En otro trabajo, los investigadores presentan el desarrollo de una película activa e inteligente para el embalaje de alimentos, compuesta por extracto de hueso de dátil cargado en carboximetilquitosano y carboximetilalmidón. La metodología incluye la preparación de las películas mediante el proceso de *casting*, donde se incorporan los ingredientes activos en una solución y se secan para formar las películas. Se utilizan varias técnicas de caracterización, como FTIR para identificar los grupos funcionales presentes, SEM para analizar la morfología y estructura de las películas, XRD para evaluar su cristalinidad, y pruebas de actividad antimicrobiana contra patógenos comunes en frutas. Los resultados indican que las películas poseen propiedades antimicrobianas significativas, inhibiendo el crecimiento de patógenos alimentarios y extendiendo la vida útil de las frutas. La conclusión resalta que este tipo de películas compuestas es prometedor en la industria del embalaje alimentario, proporcionando una solución sostenible y eficaz para la conservación de frutas y la prevención de enfermedades transmitidas por alimentos [88].

Otro trabajo fue el de la semilla de Huaya (*Melicoccus bijugatus*), en donde se investiga el almidón extraído de la harina de semilla de huaya (*Melicoccus bijugatus*) como una nueva fuente alternativa para aplicaciones industriales. La metodología empleada incluye la obtención del almidón a través de un proceso de extracción con agua, seguido por su caracterización física, química, térmica y funcional. Las técnicas de caracterización incluyen FTIR para analizar los grupos funcionales presentes en el almidón, SEM para observar la morfología de los gránulos, TGA para evaluar su estabilidad térmica, y pruebas de solubilidad, viscosidad y absorción de agua para determinar sus propiedades funcionales. Los resultados muestran que el almidón de semilla de huaya tiene una estructura granular esférica, con una alta capacidad de absorción de agua y una buena estabilidad térmica, lo que lo hace adecuado para diversas aplicaciones en la industria alimentaria y de biopolímeros. La conclusión destaca que el almidón de huaya es una fuente prometedora y

sostenible que podría ser utilizada en la fabricación de productos alimenticios y biocompuestos, ofreciendo una opción económica y ecológica en el aprovechamiento de residuos agroindustriales [38].

Por lo que se puede observar que los almidones a partir de diferentes fuentes pueden ser utilizados en la industria alimentaria. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo es extraer y caracterizar almidón a partir de las semillas de la calabaza pipián (*Cucúrbita Argyrosperma*) para su posible aplicación en embalaje de alimentos.

Justificación

La problemática que motiva este trabajo es el exceso de plásticos de un solo uso, en particular la película transparente de policloruro de vinilo (PVC) o polipropileno (PP), materiales ampliamente utilizados en diversas aplicaciones. Estos plásticos tienen una extensa gama de usos que va desde el empaque de alimentos en refrigeradores domésticos y supermercados hasta el embalaje de mercancías para su transporte. Sin embargo, su vida útil es extremadamente corta, ya que, una vez cumplida su función, se desechan casi de inmediato. Este proceso de eliminación masiva agrava la contaminación ambiental, ya que, con el tiempo, estos residuos plásticos se fragmentan en micropartículas que ingresan y amenazan la estabilidad de los ecosistemas. El impacto ambiental de los plásticos de un solo uso comenzó a intensificarse en la década de 1980, cuando su consumo superó al de otros materiales. Aunque algunos plásticos se reciclan, una gran parte termina en vertederos, y las condiciones climáticas, como el viento y la lluvia, facilitan su arrastre hacia los océanos. Este fenómeno ha contribuido a la formación de islas de plástico flotante con superficies que superan 1,000,000 km², donde se estima que el 80 % de los desechos provienen de fuentes terrestres. Estos residuos no solo afectan gravemente la fauna marina, sino que también ingresan a la cadena alimentaria, representando un riesgo creciente para la salud humana y el equilibrio ambiental [89].

En los ecosistemas terrestres, la contaminación por microplásticos también representa una amenaza significativa, afectando la biodiversidad del suelo y los ciclos naturales. Se ha documentado que estos contaminantes alteran el comportamiento y la fisiología de organismos esenciales para la salud del suelo, como las lombrices de tierra. Estudios han demostrado que la exposición al polietileno de alta densidad (HDPE), utilizado en envases y bolsas plásticas, reduce la esperanza de vida de estos invertebrados y provoca una pérdida de hasta el 3 % de su peso corporal, comprometiendo su función en la aireación y fertilidad del suelo. Entre las principales fuentes de contaminación, señalaron la deficiente gestión de aguas residuales tanto industriales como municipales, así como la

escorrentía de aguas pluviales, lo que agrava la dispersión de estos materiales en el medio ambiente y su persistencia a largo plazo [90].

Por lo anterior, es indispensable la exploración de nuevos materiales que servirían como materia prima para la manufactura de aplicaciones poliméricas sustentables y que coadyuven a la economía circular. En este sentido, el objetivo del presente trabajo es la extracción del almidón a partir de la calabaza pipián (*Cucúrbita Argyrosperma*) y su caracterización fisicoquímica.

Objetivo general

Extraer y caracterizar almidón a partir de las semillas de la calabaza pipián (*Cucúrbita Argyrosperma*) para su posible aplicación en embalaje de alimentos.

Objetivos específicos

1. Extraer el almidón de la semilla de la calabaza pipián (*Cucúrbita Argyrosperma*).
2. Caracterizar el almidón fisicoquímicamente mediante FTIR, TGA y SEM.

2. Metodología

3.1. EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN

Antes de iniciar el proceso de aislamiento, se llevó a cabo un pelado manual de las semillas de ambas especies con el objetivo de evitar posibles interferencias durante la extracción, derivadas de la celulosa presente en la cáscara. Este procedimiento permitió garantizar una mayor pureza en la muestra, optimizando la eficiencia del proceso de obtención del biopolímero. El pelado se realizó de manera sistemática hasta alcanzar una cantidad total de 100 gramos de semilla por cada especie evaluada. Este criterio de selección asegura la homogeneidad en las muestras y facilita su posterior procesamiento en las etapas de molienda, tamizado y extracción, contribuyendo así a la obtención de resultados más precisos y reproducibles en la caracterización del almidón extraído.

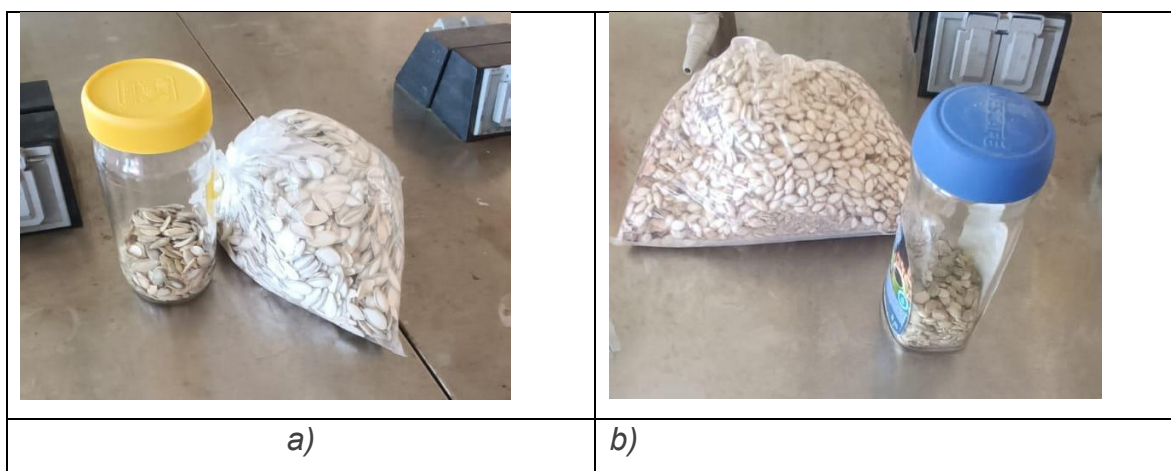


Tabla 2.1. Semillas peladas previo al proceso de aislamiento a) calabaza pipián b) calabaza castilla

Para la primera fase del aislamiento químico, se siguió la metodología descrita por Herrera para la extracción de grasas de las semillas. En este caso, se optó por el método de inmersión, en el cual las muestras se someten a un proceso de contacto directo con el solvente en una proporción de 1:1. Para esta experimentación, se eligió el hexano como solvente debido a sus propiedades descritas previamente, tales como su alta solubilidad para los componentes lipídicos y su capacidad para disolver eficientemente las grasas sin afectar significativamente otros compuestos

de la muestra. Este proceso de inmersión permite una extracción eficiente de las fracciones lipídicas de las semillas, lo cual es esencial para el análisis y posterior aislamiento de otros componentes, como el almidón, en fases posteriores de la investigación. La elección del hexano también contribuye a una extracción más rápida y controlada, optimizando el rendimiento de la operación.[91]

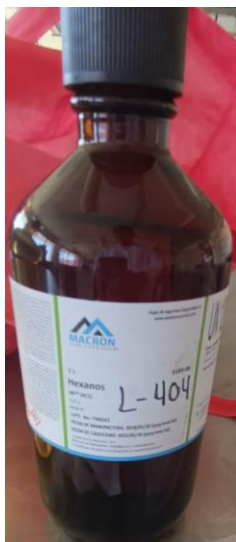


Figura 2.1. solvente seleccionado para el proceso

Se procedió a realizar una molienda de las semillas con el fin de aumentar su superficie de contacto, lo que favorece la extracción eficiente de las grasas y, al mismo tiempo, permite reducir su contenido en las muestras. Esta reducción en el contenido graso facilita un aislamiento más efectivo del almidón, minimizando las posibles interferencias de los lípidos durante el proceso de extracción. Para llevar a cabo este proceso, se utilizó una licuadora Oster, lo que proporcionó la rapidez y uniformidad necesarias para obtener una molienda fina y homogénea. Este paso es crucial, ya que una molienda adecuada asegura una mayor exposición de los compuestos presentes en las semillas, mejorando la efectividad del posterior aislamiento del almidón y optimizando los resultados experimentales.



Figura 2.2. referencia del modelo de la licuadora usada

Una vez reducido el tamaño de partícula de las semillas mediante la molienda, se procedió a realizar la inmersión de la harina obtenida, depositando una cantidad adecuada de cada especie en frascos separados. A continuación, se adicionó el hexano en la proporción de 1:1, tal como se mencionó previamente, asegurando que cada muestra quedara completamente sumergida en el solvente. Este paso de inmersión es fundamental para disolver las grasas presentes en las muestras, lo que facilita su separación del resto de los compuestos, permitiendo una posterior extracción más eficiente del almidón. Al mantener las muestras en contacto con el hexano durante el tiempo adecuado, se garantiza que los componentes lipídicos sean eliminados correctamente, preparando las semillas para el aislamiento del biopolímero en las fases posteriores.

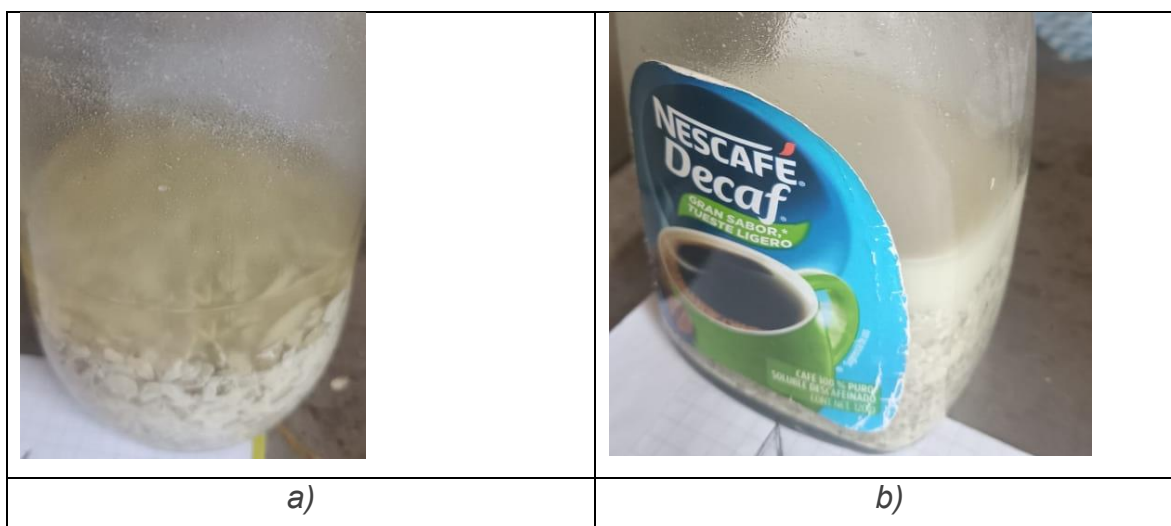


Tabla 2.2. muestra sometidas a inmersión en hexano a) calabaza pipián b) calabaza castilla

Se dejó reposar la solución durante 72 horas para asegurar una adecuada extracción de las grasas de las muestras. Después de este período, se procedió a realizar la decantación utilizando una pipeta de 10 ml, retirando el sobrenadante y dejando el precipitado en el fondo del frasco. Con el fin de hacer el proceso más sustentable a largo plazo, se recuperó el solvente. Para ello, se utilizó un rotavapor, el cual permitió hacer ebullición a 60°C bajo condiciones de vacío, separando eficazmente las grasas del hexano. Una vez separado el solvente, las muestras fueron depositadas en una bandeja de aluminio, extendiéndolas lo más uniformemente posible para optimizar el proceso de secado. Se dejaron secar durante 48 horas en un horno de convección a 50°C, con el objetivo de eliminar cualquier traza residual de hexano. Para continuar con el aislamiento del almidón, se preparó una solución de NaOH 1N, de acuerdo con la proporción de 1:6 (harina/agua destilada) para cada especie. Se añadió la solución de hidróxido de sodio con una pipeta y se sometió la mezcla a agitación constante. Posteriormente, se realizó una titulación para ajustar el pH hasta alcanzar un valor de 11, proceso que se mantuvo durante una hora. Para ello, se utilizó el titulador automático disponible en el laboratorio de química analítica de la institución, lo que permitió un control preciso y eficiente del proceso [92].

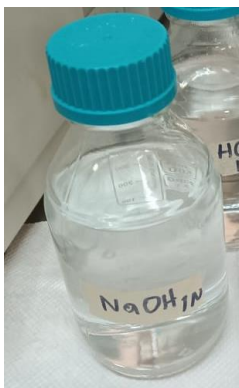


Figura 2.3. solución de NaOH 1N preparada para la titulación

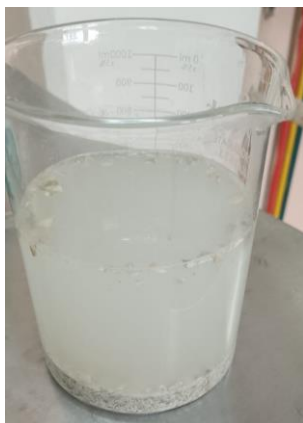


Figura 2.4. solución harina/agua destilada previa al proceso



Figura 2.5. proceso de titulación de la solución con NaOH

Una vez alcanzado el pH deseado y estabilizado durante el tiempo estipulado, se procedió a filtrar la solución con la ayuda de un tamiz de malla #200. Este paso permitió separar la fibra insoluble del concentrado de almidón y proteínas disueltas en la solución. El uso del tamiz garantizó una separación eficiente de los componentes sólidos no deseados, dejando un filtrado rico en almidón y proteínas. El concentrado obtenido a través de este proceso fue recolectado para su posterior análisis y caracterización, mientras que los residuos fibrosos fueron descartados.



Figura 2.6. tamiz tras la filtración de las fibras y el concentrado proteico



Figura 2.7. Concentrado resultante de la filtración

Para acelerar el proceso de precipitación y obtener un concentrado más puro, el filtrado fue sometido a un proceso de centrifugado. Se tomaron las medidas adecuadas para asegurar el correcto funcionamiento de la centrifugadora, y se centrifugó a una velocidad de 1500 rpm durante 30 minutos. Este paso permitió que el almidón y las proteínas presentes en la solución se separaran de los componentes más ligeros, logrando una mayor concentración de los analitos de interés en el fondo del tubo de centrifugado. Posteriormente, el sobrenadante fue cuidadosamente retirado y el precipitado obtenido se utilizó para los análisis posteriores.



Figura 2.8. tubos Corning con la solución obtenida



Figura 2.9. realizando la medición de la masa de cada tubo para mantener balanceado el rotor de la maquina



Figura 2.10. Tubos introducidos en la centrifugadora

Después de completar el proceso de centrifugado de ambas soluciones, el almidón obtenido fue deshidratado en un horno de convección a 50°C durante 72 horas, con el fin de eliminar cualquier traza de humedad residual. Una vez seco, el almidón se trituró cuidadosamente con un mortero para obtener una consistencia más fina y

homogénea. Posteriormente, se procedió a medir la masa residual, lo cual permitió evaluar el rendimiento del proceso de aislamiento. Finalmente, el almidón deshidratado fue sometido a una caracterización estructural utilizando las técnicas previamente mencionadas, como TGA, FTIR y SEM, para analizar sus propiedades térmicas, químicas y morfológicas, con el fin de determinar su viabilidad y potencial para aplicaciones posteriores.



Tabla 2.3. Almidones obtenidos a) almidón tras el secado b) almidón molido

El espectro de las muestras fue obtenido utilizando un espectrómetro infrarrojo, equipado con un accesorio de reflectancia total atenuada (ATR). Las muestras secas fueron colocadas en contacto con el accesorio de muestreo universal, que cuenta con un cristal de diamante. Las mediciones se realizaron en un rango de 4000 a 400 cm^{-1} , con una resolución de 4 cm^{-1} . Se realizaron cien barridos para obtener los valores promedio del espectro, lo que permitió asegurar la precisión y repetibilidad de los resultados obtenidos en el análisis [93].

3.2. CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN

3.2.1. Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR)

Los análisis de espectroscopia FTIR se realizaron con el objetivo de caracterizar cualitativamente los compuestos orgánicos presentes en los sólidos, utilizando la técnica de transmisión. Para preparar las muestras, se molieron 15 mg de almidón en polvo sólido con 130 mg de bromuro de potasio (KBr) en polvo, y luego se prensó la mezcla en una tableta. La masa total de la muestra fue de 150 mg, y se registraron espectros para cinco muestras de 30 mg cada una. El espectro FTIR de los

complejos en polvo se midió a temperatura ambiente usando un espectrómetro ThermoNicolet (Nexus 670-FTIR) en el rango espectral de 4000 a 400 cm^{-1} , lo que permitió obtener información detallada sobre las vibraciones moleculares de los compuestos presentes en las muestras.

3.2.2. Análisis Termogravimétrico (TGA)

Las propiedades térmicas del almidón nativo se analizaron mediante un analizador térmico TGA Perkin Elmer 7/DX. Para ello, se colocaron 6 mg de almidón en una bandeja de platino y se sometieron a un calentamiento de 50 a 500 °C a una velocidad de 10 °C/min. El objetivo era observar la temperatura a la que ocurría la descomposición del almidón. Durante el proceso, se suministró nitrógeno a una presión de 3,7 bar y un flujo de 20 mL/min, asegurando que el ambiente de la muestra fuera controlado para obtener datos precisos sobre la estabilidad térmica y los puntos de descomposición del almidón.

3.2.3. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM).

Las características morfológicas del almidón nativo se examinaron mediante un microscopio electrónico de barrido (MEB). Para ello, las muestras de almidón se montaron sobre un portaobjetos metálico y se analizaron utilizando un microanalizador de sonda electrónica de barrido JEOL JSM 6360 LV a 15 keV, bajo condiciones de bajo vacío. Este análisis permitió observar la estructura y morfología de las partículas de almidón.

3. Resultados y discusión

Rendimiento del almidón nativo

Se obtuvo un rendimiento promedio del 5% de almidón nativo tras la extracción correspondiente. Este porcentaje indica que, aunque la extracción es viable, existen oportunidades para optimizar el proceso y aumentar el rendimiento. Para ello, se pueden explorar otras estrategias de extracción que permitan mejorar la recuperación del almidón, lo que serviría como base para futuras investigaciones. Uno de los principales obstáculos en la extracción de almidón es la alta presencia de grasas y proteínas en las semillas, las cuales pueden interferir en el rendimiento del proceso. Esto sugiere la necesidad de evaluar métodos alternativos o combinaciones de técnicas para minimizar estos efectos y obtener una mayor cantidad de almidón.

Otros autores, trabajaron con otras fuentes como el banano en estado de madurez 1, y se ha reportado que la presencia de biopolímeros estructurales como hemicelulosas o lignina puede dificultar la separación del almidón, reduciendo su rendimiento en la extracción. Esto resalta la importancia de comprender la composición de la matriz vegetal de cada fuente de almidón y adaptar las metodologías en función de sus características específicas [94].

FTIR

La comparación entre los espectros infrarrojos de los almidones obtenidos en este trabajo con otros autores muestra una notable similitud en sus bandas de absorción, lo que indica la presencia de estructuras químicas comunes. En la Figura 4.1 se presenta el espectro de FTIR del almidón extraído de *Cucurbita Argyrosperma*. Se observa un intervalo de absorción en una banda ancha y fuerte entre 3270 cm^{-1} y 2920 cm^{-1} , atribuida a los estiramientos de los grupos OH. Estos grupos hidroxilo libres están enlazados tanto intra como intermolecularmente, lo que es característico de las unidades de amilosa y amilopectina, los principales polisacáridos que conforman la estructura de los almidones.

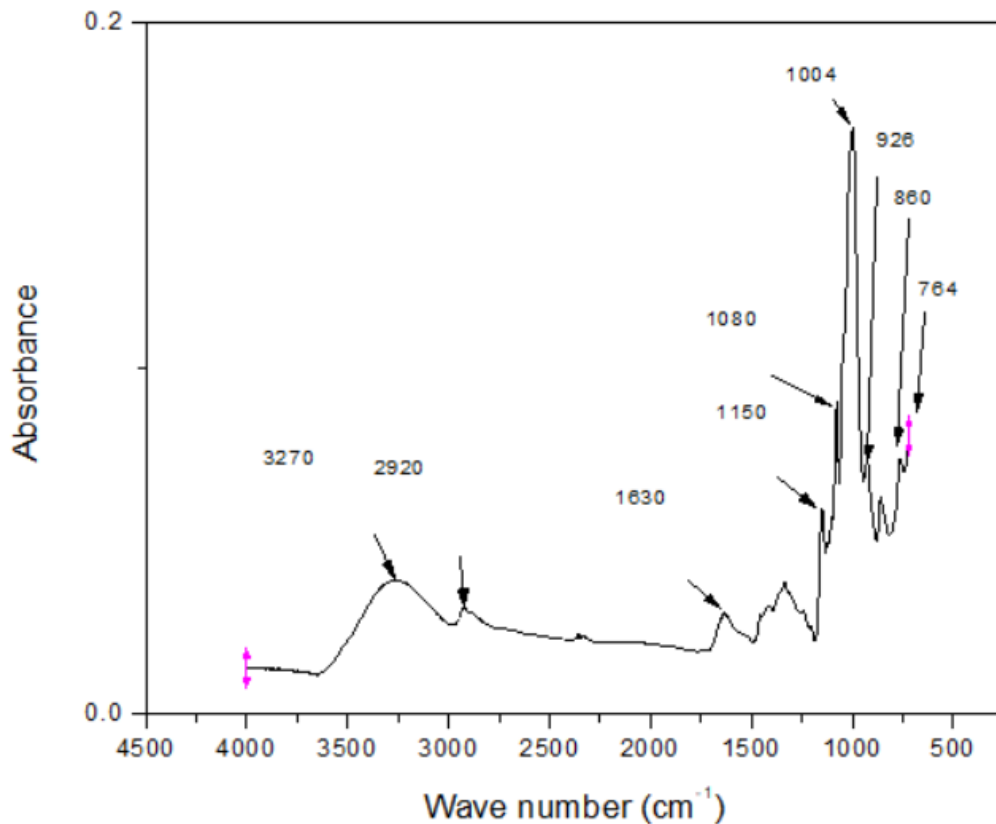


Figura 3.1. FTIR del Almidón extraído de *Cucurbita Argyrosperma*

Esta señal es consistente con la fuerte capacidad de los almidones para formar enlaces de hidrógeno, lo que influye en sus propiedades funcionales, como la solubilidad y la gelatinización. La similitud en estos espectros sugiere que, a pesar de las diferencias en la fuente de origen de los almidones analizados, sus estructuras moleculares presentan características comunes que pueden influir en su comportamiento en aplicaciones industriales y tecnológicas [95].

Este análisis confirma que los almidones extraídos comparten características estructurales fundamentales con otros almidones previamente estudiados. La presencia de los grupos funcionales identificados mediante FTIR sugiere que las interacciones intermoleculares, especialmente los enlaces de hidrógeno juegan un papel clave en sus propiedades fisicoquímicas, como la solubilidad y la gelatinización.

Además, la banda ancha y fuerte en la región de 3270 cm^{-1} indica la presencia de múltiples interacciones de hidrógeno, lo que es característico de la naturaleza altamente hidrofílica del almidón. La banda en 1630 cm^{-1} asociada a la flexión del OH del agua reafirma su carácter higroscópico, una propiedad relevante en aplicaciones industriales donde la capacidad de retención de agua es un factor determinante.

Las bandas en la región de $1080\text{-}1150\text{ cm}^{-1}$, relacionadas con los polisacáridos, confirman la presencia de los enlaces glicosídicos $\alpha\text{-(1}\rightarrow\text{4)}$ y $\alpha\text{-(1}\rightarrow\text{6)}$ que conforman la estructura de la amilosa y la amilopectina. La similitud de estas señales espectrales con las reportadas en la literatura para otros almidones indica que, aunque el origen botánico de la muestra pueda influir en ciertas propiedades, la estructura química esencial se mantiene, lo que sugiere su potencial uso en diversas aplicaciones tecnológicas y alimentarias.

TGA

Se determinó la estabilidad térmica de los almidones mediante la técnica de TGA. En la Figura 4.2 se presenta el termograma de TGA del Almidón extraído de *Cucurbita Argyrosperma*. Otros estudios han demostrado que los almidones modificados, como los acetilados, tienden a ser más térmicamente estables debido a la introducción de grupos funcionales que reducen la pérdida de agua y mejoran la resistencia a la degradación térmica. En el almidón nativo analizado, la primera etapa de pérdida de masa, que ocurre hasta los $279\text{ }^{\circ}\text{C}$, se atribuye a la eliminación del agua adsorbida, lo que es característico de almidones con alta afinidad por la humedad.

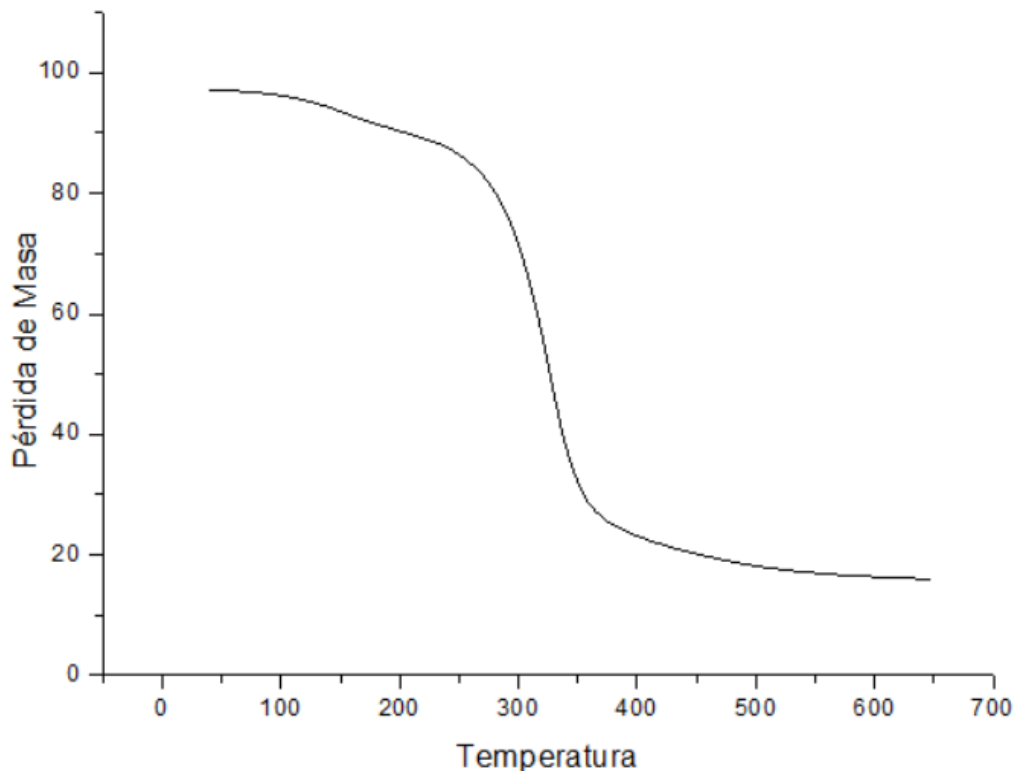


Figura 3.2. TGA del Almidón extraído de *Cucurbita Argyroperma*

La segunda etapa, entre 279 °C y 325 °C, corresponde a la descomposición térmica de la estructura del almidón, donde los grupos hidroxilo comienzan a formar uniones éter, dando lugar a la degradación de la estructura polimérica. Finalmente, la tercera etapa, que ocurre alrededor de los 550 °C, se asocia con la carbonización y formación de residuos de cenizas, lo que indica la completa degradación del material orgánico.

La mayor pérdida de peso observada en el almidón nativo en comparación con los almidones modificados sugiere que la estructura original del polisacárido es más susceptible a la degradación térmica. Esto puede estar relacionado con la ausencia de modificaciones químicas que estabilicen la matriz polimérica, reduciendo su sensibilidad al calor. Esta información es relevante para aplicaciones industriales donde la estabilidad térmica del almidón juega un papel clave en su procesamiento y funcionalidad [96].

En estudios previos sobre almidones de maíces cerosos, tanto en su forma nativa como acetilada, se ha reportado que la etapa final de formación de cenizas puede alcanzar temperaturas de hasta 600 °C. Esto indica que los almidones acetilados presentan una mayor estabilidad térmica en comparación con los nativos, lo que sugiere que la modificación química influye en su resistencia a la degradación térmica. Este comportamiento puede explicarse por la sustitución de grupos hidroxilo en la estructura del almidón por grupos acetilo, lo que disminuye la capacidad de formar enlaces de hidrógeno y reduce la tendencia del almidón a descomponerse a temperaturas más bajas. En contraste, los almidones nativos tienen una mayor pérdida de masa en la segunda etapa de descomposición (279-325 °C), lo que demuestra su menor estabilidad térmica en comparación con los modificados. El hecho de que en almidones modificados la temperatura de carbonización y formación de cenizas sea más alta sugiere que estos materiales pueden ser más adecuados para aplicaciones donde la resistencia térmica es un factor clave, como en la industria alimentaria y de bioplásticos [97].

SEM

El análisis de las micrografías obtenidas por microscopía electrónica de barrido (SEM) permite estudiar la morfología de los gránulos de almidón extraídos mediante diferentes métodos. En la figura presentada, se observa que los gránulos de almidón poseen predominantemente formas esféricas, aunque algunos muestran morfologías ovaladas o cilíndricas. Esta variabilidad en la forma puede atribuirse al genotipo específico de la hortaliza de origen, lo que sugiere que la estructura del almidón está influenciada por factores genéticos y ambientales.

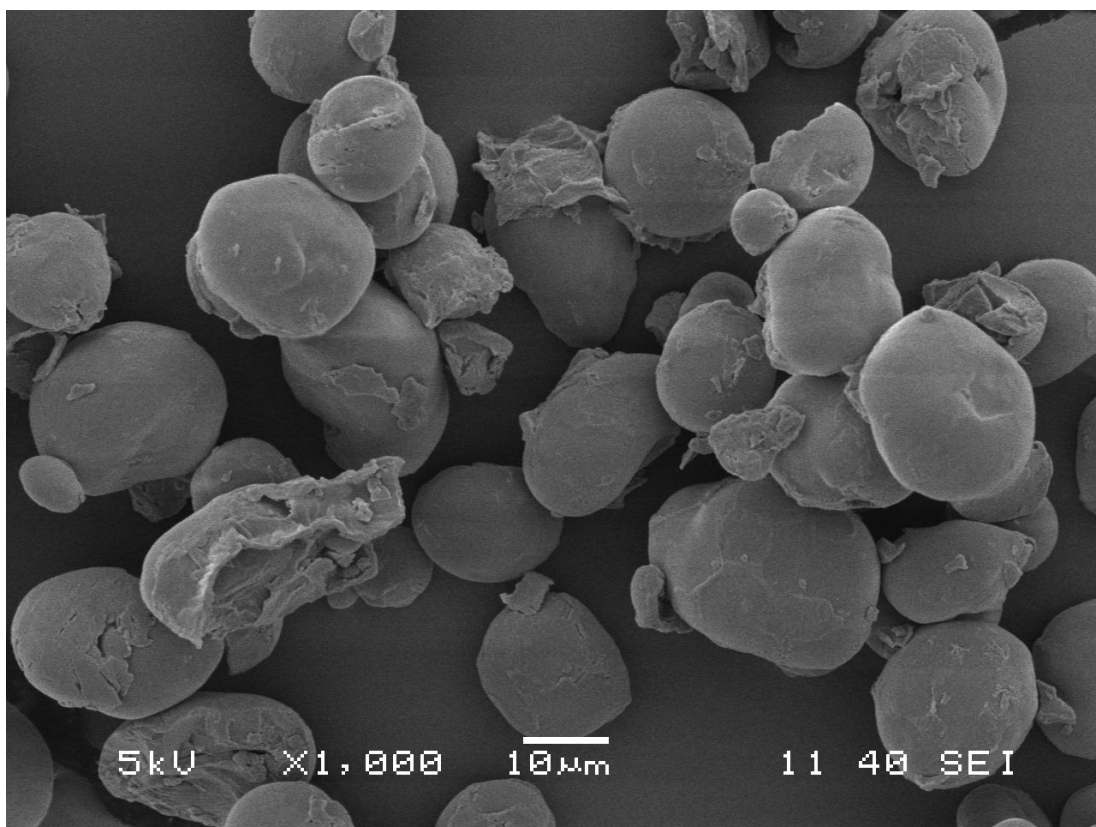
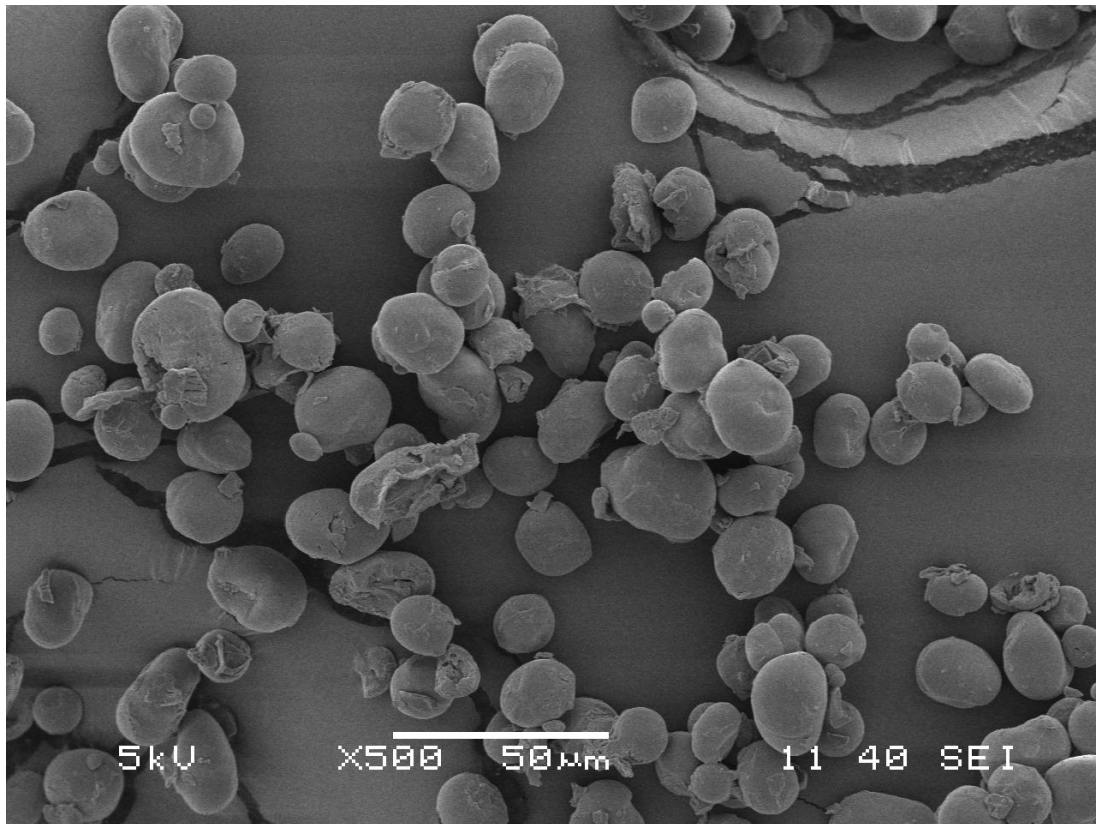


Figura 3.3. Micrografías SEM del Almidón extraído de Cucurbita Argyrosperma

Un factor clave en la forma y estructura del almidón es la rigidez de la matriz en el endospermo harinoso. Por ejemplo, en el caso del maíz cacahuacintle, se ha reportado que una matriz menos rígida favorece la formación de gránulos con formas más variadas. Además, la superficie de los gránulos analizados se presenta mayormente lisa, lo que sugiere una estructura bien ordenada. Sin embargo, en algunos casos se observan ligeras rugosidades, lo que podría estar relacionado con la presencia de impurezas, interacciones con otros compuestos de la matriz vegetal o diferencias en las condiciones de extracción y procesamiento. Estos resultados son consistentes con estudios previos sobre la morfología del almidón y refuerzan la importancia de caracterizar la estructura de los gránulos para entender su comportamiento en aplicaciones industriales, como en la producción de biopolímeros, alimentos y recubrimientos biodegradables [98].

Bibliografía

1. Moraes, M.A.d., C.F.D. Silva, and R.S. Vieira, *BIOPOLYMER MEMBRANES AND FILMS Health, Food, Environment, and Energy Applications*. 2020: Elsevier. 630.
2. AGOSTINI DE MORAES, M., C. FERREIRA DA SILVA, and R. SILVEIRA VIEIRA, *Biopolymers Membrans and Films; Health, Enviroment and Energy Applications*. 2020, Amsterdam: Elsever.
3. Molina, A.B. and J. Flórez-Castillo, *Biopolímeros como sistemas de bioencapsulación*. Research Gate, 2020: p. 2-9.
4. Saha, T., M.E. Hoque, and T. Mahbub, *Biopolymers for sustainable packaging in food, cosmetics, and pharmaceuticals*, in *Advanced Processing, Properties, and Applications of Starch and Other Bio-Based Polymers*. 2020, Elsevier. p. 197-214.
5. Angamarca Yaguana, Y.J. and L.A. Delgado Valladares, *Obtención de biopolímeros a partir de residuos de maíz (Zea mays L.) para la elaboración de films*. 2022.
6. Yousuf, A., D. Pirozzi, and F. Sannino, *Fundamentals of lignocellulosic biomass*, in *Lignocellulosic biomass to liquid biofuels*. 2020, Elsevier. p. 1-15.
7. Gabriel, T., et al., *Extraction and characterization of celluloses from various plant byproducts*. International journal of biological macromolecules, 2020. **158**: p. 1248-1258.
8. Alvarado-Rojas, M., J. Castro-Brenes, and F. Orias-Obando, *Celulosa bacteriana: el biopolímero de la naturaleza*. Revista Tecnología en Marcha, 2024: p. ág. 162-170.
9. Buruaga Ramiro, C., *Funcionalización enzimática de la celulosa bacteriana para su aprovechamiento y valorización*. 2021.
10. González Arranz, S., *Diseño de un nuevo material sostenible a partir de celulosa bacteriana de residuos orgánicos de producción local en un marco de economía circular*. 2021.
11. Jean, G.O., *Aplicación de microalgas para la remoción de nutrientes en efluentes agrícolas: Revisión de literatura*. 2020.
12. García-García, L., et al., *Obtención de celulosa microcristalina a partir del bagazo de la caña de azúcar*. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, 2013. **47**(1): p. 57-63.
13. Rincón Baracaldo, A.T., *Viabilidad de Obtención de Quitina y Quitosano a partir de Insectos como Polímero Natural*. 2024, Especialización en Gerencia Procesos de Calidad e Innovación Virtual.
14. Abo Elsoud, M.M., E.A. Elmansy, and S.A. Abdelhamid, *Economic and Non-Seasonal Source for Production of Chitin and Chitosan*. Journal of Chemical Reviews, 2022. **4**(3): p. 222-240.

15. Fuentes Carrillo, A.C., *Propuesta para el aprovechamiento de escamas de pescado aplicado a la producción de papel de quitosano por el método de desacetilación de quitina en medio alcalino*. 2021.
16. Huaman Ccente, J.L., *Mejoramiento de la resistencia de un suelo arcilloso de subrasante mediante biopolímero Gellan, San Sebastian, Cusco*, 2021. 2023.
17. Cheng-Rong, T. and L. Yung-Kai, *Artificial steak: A 3D printable hydrogel composed of egg albumen, pea protein, gellan gum, sodium alginate and rice mill by-products*. *Future Foods*, 2022. **5**: p. 100121.
18. Sabadini, R.C., *Redes poliméricas de macromoléculas naturais como hidrogéis superabsorventes*. 2015, Universidade de São Paulo.
19. Abatangelo, G., et al., *Hyaluronic Acid: Redefining Its Role*. *Cells*, 2020. **9**(7): p. 1743.
20. Terán Chávez, W.G., *Aislamiento, caracterización y análisis proximal del ácido hialurónico en dos pulpos ecuatorianos: Octopus mimus y Octopus oculifer*. 2023.
21. Guevara, D. and D. Sandoval, *Modelado cinético de la producción de ácido hialurónico*. 2021.
22. Barros, J.V., et al., *Valorización de biopolímeros marinos para aplicaciones en medicina regenerativa*. 2020, Universidad de Vigo.
23. Rafael Guevara, D.F., *Preparación de bioplásticos a base de yuyo y su evaluación en la preservación activa de alimentos perecibles*. 2023.
24. SCIENTIA. *Ciencia en la cocina (V): Ensalada de chile camuflado con carragenano y ácido carmínico*. 2015; Available from: <https://scientiablog.com/2015/01/19/ciencia-en-la-cocina-v-ensalada-de-chile-camuflado-con-carragenano-y-acido-carminico/>.
25. García Salazar, N., *Producción e inmovilización de la enzima dextranasa (DS) producida por Leuconostoc mesenteroides para la biosíntesis de dextrano*. 2020.
26. Su, C., et al., *Research progress on emerging polysaccharide materials applied in tissue engineering*. *Polymers*, 2022. **14**(16): p. 3268.
27. Garakani, S.S., et al., *Fabrication of chitosan/agarose scaffolds containing extracellular matrix for tissue engineering applications*. *International journal of biological macromolecules*, 2020. **143**: p. 533-545.
28. López-Marcial, G.R., K. Elango, and G.D. O'Connell, *Addition of collagen type I in agarose created a dose-dependent effect on matrix production in engineered cartilage*. *Regenerative biomaterials*, 2022. **9**: p. rbac048.
29. Lal, L.M.R., *Musculoskeletal tissue engineering*, in *Tissue Engineering*. 2022, Elsevier. p. 531-553.
30. Samrot, A.V., et al., *Scaffold using chitosan, agarose, cellulose, dextran and protein for tissue engineering—A review*. *Polymers*, 2023. **15**(6): p. 1525.
31. Liu, H.-H., et al., *Direct electrochemistry and electrocatalysis of heme-proteins entrapped in agarose hydrogel films*. *Biosensors and Bioelectronics*, 2004. **20**(2): p. 294-304.
32. Sánchez, V.A.M., et al., *Biopolímeros y pectina: Una revisión con Tree of Science*. *Interfaces*, 2022. **5**(2).

33. Moll, P., et al., *Concentrated pea protein–apple pectin mixtures as food glue: Influence of biopolymer concentration and pH on stickiness*. Food Hydrocolloids, 2022. **130**: p. 107671.
34. Basurto-Flores, N. and N. Medina-Guerrero, *Evaluación técnico-económica del uso de biopolímeros para el tratamiento de aguas residuales de curtiembres*. Revista de Ciencias Ambientales, 2023. **57**(2).
35. S.p.a., S. *¿Qué es la pectina?* ; Available from: <https://www.silvateam.com/es/productos-y-servicios/aditivos-alimentarios/pectina/qu-es-la-pectina.html>.
36. García, E.H., *BIODEGRADABLE MULTILAYER FILMS FOR ACTIVE FOOD PACKAGING, BASED ON STARCH AND POLYESTERS WITH PHENOLIC ACIDS*, in *Tecnología de Alimentos*. 2022, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA. p. 233.
37. amixon. *Extracción y transformación del almidón*. Available from: <https://www.amixon.com/es/blog/como-preparar-almidon>.
38. Moo-Huchin, V.M., et al., *Huaya (Melicoccus bijugatus) seed flour as a new source of starch: physicochemical, morphological, thermal and functional characterization*. Journal of Food Measurement and Characterization, 2020. **14**: p. 3299-3309.
39. Guía, L. *El almidón y su química | La Guía de Química*. Available from: <https://quimica.laguia2000.com/compuestos-quimicos/el-almidon-y-su-quimica>.
40. Dzul-Cervantes, M., et al., *Effects of different isolation methods on TPS of Melicoccus bijugatus Jacq.: physicochemical and mechanical properties*. Polymer Bulletin, 2024: p. 1-19.
41. Mishra, R. and A. Manral, *STARCH-BASED BIOCOMPOSITES: OPPORTUNITY AND CHALLENGE*. 2021.
42. Adewale, P., M.S. Yancheshmeh, and E. Lam, *Starch modification for non-food, industrial applications: Market intelligence and critical review*. Carbohydrate Polymers, 2022. **291**: p. 119590.
43. Reshmy, R., et al., *Advanced biomaterials for sustainable applications in the food industry: Updates and challenges*. Environmental Pollution, 2021. **283**: p. 117071.
44. Canto-Pinto, J.C., et al., *A Novel Starch from Talisia floresii Standl Seeds: Characterization of Its Physicochemical, Structural and Thermal Properties*. Polymers, 2022. **15**(1): p. 130.
45. Gebre, B.A., et al., *Impact of starch chain length distributions on physicochemical properties and digestibility of starches*. Food Chemistry, 2024. **435**: p. 137641.
46. Oyeyinka, S.A., et al., *A review on the physicochemical properties of starches modified by microwave alone and in combination with other methods*. International Journal of Biological Macromolecules, 2021. **176**: p. 87-95.
47. Ahmed, J., *A Comprehensive Review of the Rheological Properties of Lentil Flour and Starch for Food Applications*. Legume Science, 2024. **6**(3): p. e255.

48. Wang, Z., et al., *Effects of thermal properties and behavior of wheat starch and gluten on their interaction: A review*. International journal of biological macromolecules, 2021. **177**: p. 474-484.
49. Koul, B., M. Yakoob, and M.P. Shah, *Agricultural waste management strategies for environmental sustainability*. Environmental Research, 2022. **206**: p. 112285.
50. Garavito, J., C.P. Peña-Venegas, and D.A. Castellanos, *Production of Starch-Based Flexible Food Packaging in Developing Countries: Analysis of the Processes, Challenges, and Requirements*. Foods, 2024. **13**(24): p. 4096.
51. Tesfaye, T., et al., *A techno-economic feasibility of a process for extraction of starch from waste avocado seeds*. Clean Technologies and Environmental Policy, 2021. **23**: p. 581-595.
52. Bangar, S.P., M. Kumar, and W.S. Whiteside, *Mango seed starch: A sustainable and eco-friendly alternative to increasing industrial requirements*. International journal of biological macromolecules, 2021. **183**: p. 1807-1817.
53. Gabriel, A.A., A.F. Solikhah, and A.Y. Rahmawati. *Tensile strength and elongation testing for starch-based bioplastics using melt intercalation method: a review*. in *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. IOP Publishing.
54. DGCC, C., *Calabaza Castilla (Cucurbita Argyrosperma)*. 2020, CONABIO: Enciclovida.
55. Gao, L., et al., *Edible film preparation by anthocyanin extract addition into acetylated cassava starch/sodium carboxymethyl cellulose matrix for oxidation inhibition of pumpkin seeds*. International Journal of Biological Macromolecules, 2024. **267**: p. 131439.
56. Sajama, J.N., et al., *REVALORIZACIÓN DE UN RESIDUO ALIMENTARIO PARA LA EXTRACCIÓN Y MICROENCAPSULACIÓN DE ACEITE: SEMILLA DE CALABAZA (CUCURBITA MAXIMA DUCHESNE EX LAM)*. MLS -HEALTH & NUTRITION RESEARCH, 2023. **2**: p. 67-82.
57. Duarte, M.B., *ánalisis del sistema intercalado de nopal (Opuntia ficus-indica L. Miller), con seis cultivos precolombinos y saberes ancestrales, en Evaluación agroecosistema nopal (opuntia ficusindica L. Miller), en asocio con seis cultivos precolombinos y documentación de saberes ancestrales comunitarios, en dos localidades de Carazo, Nicaragua 2013-2*, in *FACULTAD DE AGRONOMÍA*. 2021, UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA.
58. DGCC, C., *Calabaza (Cucurbita pepo)*. 2020, CONABIO: Enciclovida.
59. López, A.F.P., *EVALUACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE ALMIDÓN APROVECHANDO LOS RESIDUOS DE MANGO (Mangifera Indica L. PARA LA PRODUCCIÓN DE UN BIOPOLÍMERO*, in *FACULTAD DE INGENIERÍAS*. 2021, FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA. p. 155.
60. QUISPE, Y.E.F., *DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO DE TEMPERATURA PARA LA ELABORACION DE ACEITE ESENCIAL POR ARRASTRE DE VAPOR EN LA PLANTA DE DESTILACION GOLD PUMA DESTILLERY SAC*, in *FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA*.

- 2024, UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO. p. 160.
61. Estrada Cabanillas, L.C., *Perfil de ácidos grasos y actividad antioxidante en el aceite extraído de quinua en polvo (Chenopodium quinoa willd) mediante Co2 supercrítico con etanol como co-disolvente*. 2021.
 62. GALVIS, J.A.S., *DISEÑO PARA LA OBTENCIÓN DE ACEITE ESENCIAL CON BASE AL APROVECHAMIENTO DE LA SEMILLA DEL AGUACATE UTILIZANDO DIFERENTES ESPECIES*, in *PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA*. 2022, FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA.
 63. mezclas, M.d.s.d. *Método Soxhlet: Que es y en Qué Consiste*. Available from: <https://metodosdeseparaciondemezclas.com/metodo-soxhlet/>.
 64. IBARRA, S.I. and L.S.C. BURITICA, *EXTRACCIÓN DE POLIFENÓLES PRESENTES EN LA CÁSCARA DE PAPA MEDIANTE EL MÉTODO DE EXTRACCIÓN SOXHLET A NIVEL DE LABORATORIO*, in *DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA*. 2022, FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA. p. 117.
 65. GONZÁLEZ, Y.S.S., *Obtención de alcaloides de la planta de Lupinus mutabilis mediante la extracción por arrastre de vapor y soxhlet, para controlar Brevicoryne brassicae en cultivos hortícolas* in *Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH*. 2023, ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.
 66. Potrich, E., et al., *Replacing hexane by ethanol for soybean oil extraction: Modeling, simulation, and techno-economic-environmental analysis*. Journal of Cleaner Production, 2020. **244**: p. 118660.
 67. Yaver, E. and N. Bilgiçli, *Effect of ultrasonicated lupin flour and resistant starch (type 4) on the physical and chemical properties of pasta*. Food chemistry, 2021. **357**: p. 129758.
 68. Yupanqui, E., S.A. Rodriguez, and M.P. Alvites, *Synthesis, characterization and release kinetic evaluation of starch nanoparticles loaded with enrofloxacin*.
 69. Correia, P.M., L. Cruz-Lopes, and L. Beirão-da-Costa, *Morphology and structure of acorn starches isolated by enzymatic and alkaline methods*. Open Agriculture, 2021. **6**(1): p. 37-46.
 70. Arzapalo Quinto, D., et al., *Extracción y caracterización del almidón de tres variedades de quinua (Chenopodium quinoa Willd) negra collana, pasankalla roja y blanca junín*. Revista de la Sociedad Química del Perú, 2015. **81**: p. 44-54.
 71. Esquivel-Fajardo, E.A., et al., *Influence of physicochemical changes of the avocado starch throughout its pasting profile: Combined extraction*. Carbohydrate Polymers, 2022. **281**: p. 119048.
 72. Torres, P., et al., *Una mirada a la agroindustria de extracción de almidón de yuca, desde la estandarización de procesos*. Revista EIA, 2010(14): p. 23-38.
 73. Skoog, D.A., F.J. Holler, and T.A. Nieman, *Principios de análisis instrumental*. Vol. 5. 2001: McGraw-Hill Madrid.
 74. Latam, M. *Espectrofotómetro FTIR IRAffinity-1S equipado con programas de soporte analítico*. 2022; Available from: <https://www.manufactura->

latam.com/es/noticias/espectrofotometro-ftir-iraffinity-1s-equipado-con-programas-de-soporte-analitico.

75. Instruments, T. *Analizadores termogravimétricos*. Available from: <https://www.tainstruments.com/productos/thermal-analysis/thermogravimetric-analysis/?lang=es>.
76. Castillo-Paz, A.M., et al., *Structural, morphological, compositional, thermal, pasting, and functional properties of isolated Achira (Canna indica L.) starch*. International Journal of Biological Macromolecules, 2024: p. 136710.
77. Zapata, M.C.J.A.A. *Laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido*. Available from: <https://cimav.edu.mx/laboratorios/mty-microscopia-electronica-de-barrido/>.
78. An, H., et al., *Insight into microstructure evolution during starch retrogradation by infrared and Raman spectroscopy combined with two-dimensional correlation spectroscopy analysis*. Food Hydrocolloids, 2024. **146**: p. 109174.
79. Henning, F.G., et al., *Non-conventional starches for biodegradable films: A review focussing on characterisation and recent applications in food packaging*. Carbohydrate Polymer Technologies and Applications, 2022. **4**: p. 100157.
80. Makroo, H., et al., *Recovery and characteristics of starches from unconventional sources and their potential applications: A review*. Applied Food Research, 2021. **1**(1): p. 100001.
81. Sivamaruthi, B.S., et al., *Pharmaceutical and biomedical applications of starch-based drug delivery system: A review*. Journal of Drug Delivery Science and Technology, 2022. **77**: p. 103890.
82. Jayarathna, S., M. Andersson, and R. Andersson, *Recent advances in starch-based blends and composites for bioplastics applications*. Polymers, 2022. **14**(21): p. 4557.
83. Arias, A., G. Feijoo, and M.T. Moreira, *Evaluation of starch as an environmental-friendly bioresource for the development of wood bioadhesives*. Molecules, 2021. **26**(15): p. 4526.
84. Maniglia, B.C., et al., *Emerging technologies to enhance starch performance*. Current Opinion in Food Science, 2021. **37**: p. 26-36.
85. Wang, Z., et al., *Cassava starch: Chemical modification and its impact on functional properties and digestibility, a review*. Food Hydrocolloids, 2022. **129**: p. 107542.
86. Santhosh, R. and P. Sarkar, *Jackfruit seed starch/tamarind kernel xyloglucan/zinc oxide nanoparticles-based composite films: Preparation, characterization, and application on tomato (Solanum lycopersicum) fruits*. Food Hydrocolloids, 2022. **133**: p. 107917.
87. Costa, B.P., et al., *Bioactive coatings from non-conventional loquat (Eriobotrya japonica Lindl.) seed starch to extend strawberries shelf-life: An antioxidant packaging*. Progress in Organic Coatings, 2023. **175**: p. 107320.
88. Zidan, N., et al., *Active and smart antimicrobial food packaging film composed of date palm kernels extract loaded carboxymethyl chitosan and carboxymethyl starch composite for prohibiting foodborne pathogens during fruits preservation*. European Polymer Journal, 2023. **197**: p. 112353.

89. Vera, E.L., et al., *Bioplásticos a partir de residuos del cacao, una alternativa para mitigar la contaminación por plástico*, in *Revista Ingeniería e Innovación*. 2021.
90. VILLANUEVA, K.R.P., *EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR PLÁSTICOS EN PLAYAS DEL RÍO NANAY, REGIÓN LORETO - 2021*, in *FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA*. 2022, Universidad Científica de Peru. p. 65.
91. Cando Herrera, J.N. and K.A. Illescas Medina, *Estudio comparativo de dos métodos químicos para la extracción de aceite de quinoa (chenopodium quinoa)*. 2023.
92. Sukanen, F., et al., *Aislados proteicos a partir de residuos de la extracción de almidón de semillas de caupí colorado*. 2022, Ministerio de Ciencia y Tecnología de la provincia de Córdoba.
93. Cortés Viguri, V., *Propiedades fisicoquímicas, microestructurales y de digestibilidad del almidón de achiote (Bixa orellana L.)*. 2022, Universidad Autónoma Chapingo.
94. Ávila López, J.R. and C. Moreira Valenzuela, *Desarrollo de una línea de proceso de almidón derivado del banano nacional de exportación*. 2022, ESPOL. FIMCP.
95. Apaza Arcaya, S.B., *Síntesis de un biopolímero degradable a partir del almidón de la walusa (Xanthosoma sagittifolium sp) y su caracterización fisicoquímica*. 2022, Universidad Mayor de San Andrés.
96. Liu, Q., et al., *Acetylated debranched starch micelles as a promising nanocarrier for curcumin*. *Food Hydrocolloids*, 2021. **111**: p. 106253.
97. Sares, L.A.C., et al., *Efecto del glicerol como plastificante en películas de almidón de maíz modificado*. *Journal of Science and Research: Revista Ciencia e Investigación*, 2023. **8**(4): p. 186-204.
98. López Vázquez, D.E., *Propiedades fisicoquímicas, estructurales y funcionales de almidón de maíz cacahuacintle*. 2024, Universidad Autónoma Chapingo.