

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE CALKINÍ

**“USO DE LA SEMILLA DE MANGO COMO FUENTE DE ALMIDÓN PARA
POSIBLES APLICACIONES EN SISTEMAS DE LIBERACIÓN CONTRO-
LADA DE FÁRMACOS”**

TESIS PARA TITULACIÓN INTEGRAL

INGENIERÍA BIOQUÍMICA

**EGRESADO:
JOSÉ GUILLERMO CAUICH ROMERO**

**DIRECTOR Y CO-DIRECTOR:
DR. MARIO ADRIÁN DE ATOCHA DZUL CERVANTES
DR. ALEJANDRO ORTIZ FERNÁNDEZ**

Calkiní, Campeche, México 2025



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico Superior de Calkiní
Subdirección de Planeación y Desarrollo

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

Calkiní, Campeche 45727
P/03/25/693

INGENIERÍA BIOQUÍMICA

CONSTANCIA DE NO INCONVENIENCIA

MODALIDAD: TESIS

C. JOSE GUILLERMO CAUICH ROMERO 7337
PASANTE DE LA CARRERA DE
INGENIERÍA BIOQUÍMICA.
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 MARIO ADRIAN ATOCHA DZUL CERVANTES, y el co-director ALEJANDRO ORTIZ FERNANDEZ, respectivamente, este Instituto consta de no tener inconveniencia para la realización del acto protocolario de titulación integral de su trabajo profesional titulado: **"USO DE LA SEMILLA DE MANGO COMO FUENTE DE ALMIDÓN PARA POSIBLES APICACIONES EN SISTEMAS DE LIBERACIÓN CONTROLADA DE FÁRMACOS"**.

ATENTAMENTE

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

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

C.c.p. Archivo

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



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

No somos lo que decimos ser, ni lo que aparentamos ser, cada persona en este mundo es cada una de las acciones que han realizado a lo largo de su vida, un recorrido y una historia, el cumulo de experiencias que han vivido y la manera en la que estas han impactado al mundo, a las personas a su alrededor y a uno mismo. Yo no soy una simple persona, a pesar de aparentarlo, no soy solo eso, soy mi propio camino, un camino que, con cada acción, experiencia y aprendizaje, he trazado y asegurado. Este camino y, sobre todo, esta identidad no fue posible solo por mi propia mano, fue gracias al mundo a mi alrededor, a las personas que, con el convivir del día a día, han dejado su huella en mí.

A mi madre quien desde un principio ha sido mi motivo principal, ella me ayudo a dar los primeros pasos a través de los valores y las enseñanzas que inculcó en mí. Siempre procuro por mí, incluso si significaba dejarse de lado, desde niño hasta la actualidad y muy seguramente en el futuro siempre me ha apoyado, cuidado y animado. A mi madre que, en estos momentos tan importantes de mi vida, en esta etapa tan significativa, esta acá, a mi lado.

A mi padre, quien me ha guiado y apoyado, quien me inspiró a lograr lo que estoy logrando ahora, quien con su experiencia y su saber me formo con sabiduría y paciencia. Siempre viendo por mi bienestar, sirviendo como un apoyo en los diferentes aspectos de mi vida procurando que nunca me falte algo. A mi padre, quien me ha guiado desde el inicio y que, este momento, me sigue guiando con amor y sabiduría.

A mis hermanas, quienes, a pesar de las discusiones, jamás me negaron su ayuda y siempre me dieron la mano para seguir adelante. Ellas que siempre fueron como una segunda y tercera madre para mí, cuidándome y ensañándome sobre la vida desde sus puntos de vista personales. A mis hermanas quienes, a pesar de tener sus propias vidas ya realizadas no me han olvidado y siguen cuidándome y apoyándome.

A mis amigos, podrán ser pocos, pero sé que son verdaderos. Compañeros de vida con lo que he compartido un sinfín de experiencias, que han estado para mi en las buenas y en las malas. Aquellos que me permitieron conocer el valor de las relaciones, quienes me enseñaron el valor del privilegio de la confianza. A mis amigos, por estar ahí, compartiendo una pequeña parte de si conmigo.

No negare la cantidad de veces que quise rendirme, que quise tirar la toalla y empezar otra vez, o simplemente no empezar nunca más. Es por eso que no podré olvidar jamás a estas personas, fue su simple existencia, el hecho de haber podido convivir con ellos lo que me ha permitido seguir, cada uno de ellos ha aportado un poco a la persona que soy ahora. Todos y cada uno de ellos forma parte de mi camino, de mi identidad.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia, a mi madre, por apoyarme durante todo el proceso que llevó mi carrera, siendo una voz de la razón que me instó a no rendirme ni renunciar a pesar del sinfín de veces que ya no quería continuar. A mi padre por el apoyo que me otorgó durante los 5 años de mi formación, tanto en el aspecto económico, como en el aspecto emocional, especialmente por ser un guía que me presto su conocimiento para poder seguir adelante y llegar al final.

También agradezco a mi asesor de tesis, el Dr. Mario Adrián de Atocha Dzul cervantes, quien, a través de sus conocimientos y su experiencia, me brindó la guía, el apoyo y los medios necesarios para realizar y completar mi investigación y proyecto. Además de haberme preparado académicamente mediante su labor como profesor.

Agradezco igual al Dr. Alejandro Ortiz Fernández, quien fungió como co-asesor del proyecto, instruyéndome con paciencia en el uso de los equipos y apoyándome durante la realización de mi investigación y posterior experimentación.

Agradezco a los maestros y doctores que, cumpliendo su rol como educadores, me prepararon para el mundo que me espera al finalizar mi carrera, quisiera destacar a la Dra. Rosa Yazmin Us Camas, el maestro José Manuel González Pérez, en su labor de enseñanza; y al Dr. Yasser Alejandro Chim Chi quien, si bien no impartió como profesor durante mi carrera, fungió como asesor para los proyectos de JoPPI que realicé.

Agradezco a los responsables de Centro de Investigación Científica de Yucatán, por brindarme su ayuda en la elaboración de las técnicas de análisis del almidón.

Por último, agradezco al Instituto Tecnológico Superior del Estado de Calkiní, en el estado de Campeche, que fue un lugar seguro y confiable en el que pude adquirir los conocimientos y las prácticas adecuadas que me será de utilidad para desenvolverme en el futuro que me aguarda.

ÍNDICE

1	MARCO TEÓRICO	1
1.1	El Almidón.....	1
1.1.1	Estructura del Almidón	1
1.1.2	Propiedades del Almidón	2
1.1.2.1	Semicristalinidad.....	2
1.1.2.2	Gelatinización	2
1.1.2.3	Retrogradación	2
1.1.2.4	Capacidad Gelificante	2
1.1.2.5	Capacidad Emulsionante.....	2
1.1.2.6	Claridad del Gel.....	2
1.1.2.7	Estabilidad al Congelamiento-Descongelamiento.....	3
1.1.2.8	Poder de Hinchamiento e Índice de Solubilidad en Agua	3
1.1.2.9	Propiedades Reológicas.....	3
1.1.2.10	Propiedades Nutricionales	3
1.1.3	Aplicaciones del Almidón en la Industria Alimentaria	3
1.1.3.1	Panadería y Confitería	4
1.1.3.2	Lácteos y Yogures	4
1.1.3.3	Cárnicos y Productos Cárnicos Procesados.....	4
1.1.3.4	Salsas y Condimentos.....	4
1.1.3.5	Bebidas y Jugos	4
1.1.3.6	Alimentos Congelados	4
1.1.3.7	Snacks y Aperitivos	4
1.1.3.8	Alimentos Funcionales.....	5
1.1.4	Aplicaciones del Almidón en Otras Industrias	5
1.1.4.1	Industria Farmacéutica	5
1.1.4.2	Industria de Bioplásticos y Envases Biodegradables.....	5
1.1.4.3	Industria Cosmética y de Cuidado Personal	6
1.1.4.4	Industria Textil y de Tejidos	6
1.1.4.5	Industria de la Construcción y Adhesivos.....	6
1.1.4.6	Industria Papelera.....	6
1.1.4.7	Industria de Fluidos de Perforación.....	6
1.1.5	Modificaciones del Almidón para Aplicaciones Específicas	6

1.1.5.1	Modificaciones Enzimáticas.....	7
1.1.5.2	Modificaciones Físicas.....	7
1.1.5.3	Modificaciones Químicas.....	7
1.1.5.4	Aplicaciones de las Modificaciones del Almidón	8
1.1.6	Importancia Nutricional y Saludable	8
1.1.6.1	Fuente de Energía	9
1.1.6.2	Contenido de Fibra y Micronutrientes	9
1.1.6.3	Almidón Resistente.....	9
1.1.6.4	Beneficios para la Salud Intestinal.....	9
1.1.6.5	Control del Azúcar en Sangre y Sensibilidad a la Insulina.....	9
1.1.6.6	Reducción del Colesterol y Riesgo de Cáncer de Colon	9
1.1.6.7	Importancia en la Prevención de la Sarcopenia	9
1.2	El Mango	10
1.2.1	Taxonomía.....	10
1.2.2	Origen y Distribución	10
1.2.3	Características Botánicas.....	11
1.2.4	Cultivo	13
1.2.5	Valor Nutricional.....	13
1.2.5.1	Beneficios para la Salud	14
1.2.6	Producción y Comercialización	14
1.2.7	Producción Global.....	15
1.2.8	Producción en México.....	15
1.2.8.1	Comercialización.....	15
1.2.8.2	Desafíos en la Producción y Comercialización	16
1.2.9	Oportunidades Futuras.....	16
1.2.10	Impacto Ambiental y Social.....	16
1.2.10.1	Impacto Ambiental	16
1.2.10.2	Impacto Social	17
1.3	Métodos de Extracción de Almidón.....	17
1.3.1	Trituración en la Extracción de Almidón	17
1.3.1.1	Técnicas de Extracción de Almidón.....	18
1.3.1.2	Trituración en el Proceso Húmedo	18
1.3.1.3	Etapas del Proceso Húmedo	18

1.3.1.4	Importancia de la Trituración	18
1.3.1.5	Innovaciones en la Trituración	19
1.3.2	Métodos de Análisis.....	19
1.3.2.1	Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier	19
1.3.2.1.1	Funcionamiento	19
1.3.2.1.2	Pasos del Proceso	20
1.3.2.1.3	Ventajas del Uso de Interferometría	20
1.3.2.1.4	Aplicaciones de la Espectroscopía FTIR	20
1.3.2.1.4.1	Análisis de Alimentos y Bebidas	20
1.3.2.1.4.2	Industria Farmacéutica	21
1.3.2.1.4.3	Biotecnología y Biomedicina	21
1.3.2.1.4.4	Análisis de Polímeros y Materiales	21
1.3.2.1.4.5	Aplicaciones Ambientales	21
1.3.2.1.4.6	Conservación del Patrimonio Cultural.....	21
1.3.2.1.4.7	Investigación en Materiales Avanzados	21
1.3.2.1.4.8	Química de Flujo y Catálisis	21
1.3.2.1.5	Ejemplos Específicos	21
1.3.2.1.6	Importancia de la FTIR en Bioquímica	22
1.3.2.1.6.1	Análisis de Biomoléculas	22
1.3.2.1.6.2	Identificación y Cuantificación de Compuestos	22
1.3.2.1.6.3	Microespectroscopía FTIR	22
1.3.2.1.6.4	Estudios de Interacción Molecular	22
1.3.2.1.7	Aplicaciones en Investigación Biomédica	22
1.3.2.1.7.1	Análisis de Muestras Biológicas Complejas	23
1.3.2.1.8	Ventajas sobre Otras Técnicas	23
1.3.2.1.9	Importancia de la FTIR en la Entrega de Medicamentos.....	23
1.3.2.1.9.1	Identificación y Autenticación de Fármacos	23
1.3.2.1.9.2	Análisis de Excipientes	23
1.3.2.1.9.3	Control de Calidad en la Producción.....	23
1.3.2.1.9.4	Estudios de Estabilidad	24
1.3.2.1.10	Importancia de la FTIR en la Producción de Vendajes.....	24
1.3.2.1.10.1	Caracterización de Materiales	24
1.3.2.1.10.2	Análisis de Propiedades Físicas y Químicas	24

1.3.2.1.10.3	Detección de Contaminantes	24
1.3.2.2	Análisis Termogravimétrico	24
1.3.2.2.1	Funcionamiento de la Técnica de Análisis Termogravimétrico	25
1.3.2.2.1.1	Componentes Clave del Equipo	25
1.3.2.2.1.2	Pasos del Proceso.....	25
1.3.2.2.2	Tipos de Análisis Térmico.....	26
1.3.2.2.3	Aplicaciones del Análisis Termogravimétrico	26
1.3.2.2.3.1	Industria Farmacéutica	26
1.3.2.2.3.2	Industria Alimentaria.....	27
1.3.2.2.3.3	Industria de Polímeros	27
1.3.2.2.3.4	Industria de la Construcción	27
1.3.2.2.3.5	Industria Petrolera y Energética	27
1.3.2.2.3.6	Medio Ambiente.....	27
1.3.2.2.3.7	Investigación Nuclear.....	27
1.3.2.2.3.8	Industria Aeroespacial y Automotriz.....	28
1.3.2.2.4	Modelos Cinéticos	28
1.3.2.2.4.1	Tipos de Modelos Cinéticos.....	28
1.3.2.2.4.1.1	Modelo de Arrhenius.....	28
1.3.2.2.4.1.2	Modelos Isoconversionales.....	28
1.3.2.2.4.1.3	Modelos de Reacción	28
1.3.2.2.4.1.4	Modelo de Distribución de Energías de Activación (DAEM)	28
1.3.2.2.4.1.5	Cálculo de Parámetros Cinéticos	28
1.3.2.2.4.1.6	Importancia de los Modelos Cinéticos.....	29
1.3.2.2.5	Importancia del Análisis Termogravimétrico en el Área Bioquímica.....	29
1.3.2.2.5.1	Estudio de Materiales Biológicos	29
1.3.2.2.5.2	Desarrollo de Materiales Biocompatibles.....	29
1.3.2.2.6	Aplicaciones en Biotecnología	30
1.3.2.2.7	Limitaciones y Futuras Aplicaciones	30
1.3.2.2.8	Importancia del Análisis Termogravimétrico en la Industria Farmacéutica	30
1.3.2.2.8.1	Estabilidad Térmica de Medicamentos.....	30
1.3.2.2.8.2	Desarrollo de Materiales Biomédicos.....	31
1.3.2.2.9	Aplicaciones Indirectas en la Entrega de Medicamentos	31

1.3.2.2.9.1	Transporte y Almacenamiento	31
1.3.2.2.9.2	Desarrollo de Formas Farmacéuticas	31
1.3.2.2.10	Limitaciones y Futuras Aplicaciones	31
1.3.2.3	Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)	31
1.3.2.3.1	Principio de Funcionamiento	32
1.3.2.3.2	Aplicaciones	32
1.3.2.3.2.1	Estudio de Transiciones de Fase	32
1.3.2.3.2.2	Polimorfismo y Pureza	33
1.3.2.3.2.3	Estudios de Oxidación y Degradación	33
1.3.2.3.2.4	Identificación de Polímeros	33
1.3.2.3.2.5	Estudios Cinéticos	33
1.3.2.3.2.6	Materiales con Memoria de Forma	33
1.3.2.3.2.7	Análisis de Transiciones en Materiales Inorgánicos	34
1.3.2.3.3	Equipos y Técnicas Avanzadas	34
1.3.2.3.3.1	DSC Modulado (MDSC)	34
1.3.2.3.3.2	Equipos de Alta Presión	34
1.3.2.3.3.3	Sistemas de Control de Temperatura Avanzados	34
1.3.2.3.3.4	Sensores de Alta Sensibilidad	34
1.3.2.3.3.5	Tecnología Tzero de TA Instruments	34
1.3.2.3.3.6	Calorímetros de Potencia Compensada	35
1.3.2.3.3.7	Sistemas Automatizados	35
1.3.2.3.4	Funcionamiento de la Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)	35
1.3.2.3.4.1	Componentes Clave	35
1.3.2.3.4.2	Pasos del Proceso	35
1.3.2.3.5	Tipos de DSC	36
1.3.2.3.6	Ventajas y Limitaciones	36
1.3.2.3.6.1	Ventajas	36
1.3.2.3.6.2	Limitaciones	37
1.3.2.3.7	Importancia de la Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) en el Área Bioquímica	37
1.3.2.3.7.1	Estabilidad Térmica de Proteínas	37
1.3.2.3.7.2	Conformación y Plegamiento de Proteínas	37
1.3.2.3.7.3	Interacciones de Ligandos	38

1.3.2.3.7.4	Optimización de Procesos de Purificación y Formulación	38
1.3.2.3.7.5	Desarrollo de Vacunas	38
1.3.2.3.8	Importancia de la Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) en la entrega de medicamentos y vendajes	38
1.3.2.3.8.1	Estabilidad de Fármacos	38
1.3.2.3.8.2	Polimorfismo y Pureza	38
1.3.2.3.8.3	Compatibilidad entre Componentes.....	38
1.3.2.3.8.4	Desarrollo de Formulaciones.....	39
1.3.2.3.8.5	Control de Calidad	39
1.3.2.3.8.6	Vendajes y Materiales Biomédicos.....	39
2	ANTECEDENTES	40
2.1	Justificación	40
2.1.1	Ventajas del Almidón de Semillas de Mango	41
2.1.2	Características del Almidón de Semillas de Mango	41
2.1.3	Desafíos y Limitaciones	41
2.1.4	Justificación del Estudio	41
2.1.5	Impacto Esperado	42
2.2	Objetivos.....	42
2.2.1	Objetivo General.....	42
2.2.2	Objetivos Específicos	42
3	METODOLOGÍA.....	43
3.1	Materia prima:	43
3.2	Extracción del Almidón	43
3.3	Análisis del Almidón obtenido	46
3.3.1	Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier.....	46
3.3.2	Análisis Termogravimétrico	46
3.3.3	Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).....	47
4	ANÁLISIS Y RESULTADOS	48
4.1	Rendimiento del Almidón.....	48
4.2	Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier	48
4.3	Análisis Termogravimétrico	49
4.4	Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).....	50
5	CONCLUSIONES	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1.1 Almidón	1
Ilustración 1.2 Estructura del almidón	1
Ilustración 1.3 Almidón en la industria alimentaria	4
Ilustración 1.4 Almidón en la industria farmacéutica	5
Ilustración 1.5 Modificación enzimática del almidón de maíz	7
Ilustración 1.6 Árbol de mango	10
Ilustración 1.7 Flor masculina (izquierda) y hermafrodita (derecha) del mango	12
Ilustración 1.8 Semilla monoembrionica (izquierda) y semilla poliembriónica (derecha)	13
Ilustración 1.9 Molino para trituración	18
Ilustración 1.10 Equipo de FTIR	19
Ilustración 1.11 Equipo TGA	24
Ilustración 1.12 Equipo DSC	32
Ilustración 1.13 Funcionamiento de DSC	32
Ilustración 3.1 Semillas de mango recolectadas	43
Ilustración 3.2 Uso de mortero para moler la semilla de mango	44
Ilustración 3.3 Harina obtenida	44
Ilustración 3.4 Proceso de extracción de almidón	45
Ilustración 3.5 Máquina centrífuga	45
Ilustración 3.6 Almidón total obtenido	46
Ilustración 4.1 Espectro de FITR del almidón de las semillas de mango	48
Ilustración 4.2 Termograma TGA del almidón de las semillas de mango	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Contenido de almidón en algunos productos vegetales	8
Tabla 1.2 Información nutricional del mango	13
Tabla 1.3 Distribución de la producción de los principales estados de México	15
Tabla 4.1 Propiedades térmicas del almidón nativo de Mangífera indica	50

RESUMEN

Este proyecto de tesis se centra en la investigación y aprovechamiento de la semilla de mango común como una fuente alternativa y natural de almidón. El almidón, un polisacárido complejo y abundante, es esencial en la dieta humana y tiene amplias aplicaciones en las industrias alimentaria, farmacéutica y de materiales.

El proyecto busca caracterizar el almidón extraído de la semilla de mango, analizando sus propiedades físicas, químicas y funcionales, como la estructura (amilosa y amilopectina), semicristalinidad, gelatinización, retrogradación, capacidad gelificante y emulsionante, claridad del gel, estabilidad al congelamiento-descongelamiento, poder de hinchamiento e índice de solubilidad en agua, propiedades reológicas y nutricionales.

Además, se explorarán las posibles aplicaciones de este almidón en diversas industrias, incluyendo la alimentaria (espesante, estabilizante, gelificante y texturizante en productos como panadería, lácteos, cárnicos, salsas y bebidas), la farmacéutica (excipiente, agente de revestimiento, biopolímeros), la de bioplásticos y envases biodegradables, la cosmética, la textil, la de construcción y la papelera.

Finalmente, se investigarán las modificaciones del almidón extraído de la semilla de mango para adaptar sus propiedades a aplicaciones específicas, considerando modificaciones enzimáticas, físicas y químicas. Se evaluará cómo estas modificaciones pueden mejorar su solubilidad, viscosidad, capacidad de hinchamiento, estabilidad y resistencia térmica, abriendo nuevas oportunidades para su uso en diversas industrias. En resumen, la tesis tiene como objetivo demostrar el valor de la semilla de mango común como una fuente alternativa de almidón, contribuyendo a la sostenibilidad y la diversificación de las fuentes de este importante polisacárido.

ABSTRACT

This thesis project focuses on the **research and utilization of common mango seed as an alternative and natural source of starch**. Starch, a complex and abundant polysaccharide, is essential in the human diet and has broad applications in the food, pharmaceutical, and materials industries.

The project seeks to characterize the starch extracted from the mango seed, analyzing its **physical, chemical, and functional properties**, such as structure (amylose and amylopectin), semicrystallinity, gelatinization, retrogradation, gelling and emulsifying capacity, gel clarity, freeze-thaw stability, swelling power, water solubility index, rheological and nutritional properties.

Furthermore, it will explore the **potential applications** of this starch in various industries, including food (thickener, stabilizer, gelling agent, and texturizer in products such as bakery, dairy, meat, sauces, and beverages), pharmaceuticals (excipient, coating agent, biopolymers), bioplastics and biodegradable packaging, cosmetics, textiles, construction, and the paper industry.

Finally, it will investigate **modifications of the starch** extracted from the mango seed to adapt its properties to specific applications, considering enzymatic, physical, and chemical modifications. It will evaluate how these modifications can improve its solubility, viscosity, swelling capacity, stability, and thermal resistance, opening new opportunities for its use in various industries. In summary, the thesis aims to demonstrate the value of common mango seed as an alternative source of starch, contributing to sustainability and the diversification of sources of this important polysaccharide.

INTRODUCCIÓN

La presente tesis explora el uso de la semilla de mango común como una fuente alternativa y natural de almidón. El almidón, un polisacárido complejo y abundante en la naturaleza, desempeña un papel crucial en la dieta humana como principal fuente de carbohidratos y es un polisacárido de almacenamiento esencial en las plantas, encontrándose en órganos como raíces, tubérculos, semillas y frutos.

Desde una perspectiva química, el almidón es un polímero compuesto por unidades de glucosa, cuya estructura y propiedades lo hacen indispensable en diversas industrias, incluyendo la alimentaria, farmacéutica y de materiales. Dada la importancia del almidón y la necesidad de fuentes sostenibles, este proyecto se centra en investigar el potencial de la semilla de mango común, un subproducto a menudo descartado, como una alternativa viable para la extracción de almidón.

Este estudio busca caracterizar el almidón extraído de la semilla de mango, analizando sus propiedades físicas, químicas y funcionales. Se evaluará su estructura, incluyendo los componentes de amilosa y amilopectina, así como sus propiedades de semicristalinidad, gelatinización, retrogradación, capacidad gelificante y emulsificante, claridad del gel, estabilidad al congelamiento-descongelamiento, poder de hinchamiento e índice de solubilidad en agua, propiedades reológicas y nutricionales.

Además, se explorarán las posibles aplicaciones de este almidón en diversas industrias. En la industria alimentaria, se considerará su uso como espesante, estabilizante, gelificante y texturizante en productos como panadería, confitería, lácteos, cárnicos, salsas, bebidas, alimentos congelados y snacks. También se investigará su potencial en otras industrias, como la farmacéutica (excipiente, agente de revestimiento, biopolímeros), la de bioplásticos y envases biodegradables, la cosmética, la textil, la de construcción y la papelera.

Finalmente, se abordarán las modificaciones del almidón extraído de la semilla de mango para adaptar sus propiedades a aplicaciones específicas, considerando modificaciones enzimáticas, físicas y químicas. Se evaluará cómo estas modificaciones pueden mejorar su solubilidad, viscosidad, capacidad de hinchamiento, estabilidad y resistencia térmica, abriendo nuevas oportunidades para su uso en diversas industrias. En resumen, esta tesis tiene como objetivo demostrar el valor de la semilla de mango común como una fuente alternativa de almidón, contribuyendo a la sostenibilidad y la diversificación de las fuentes de este importante polisacárido.

1 MARCO TEÓRICO

1.1 El Almidón

El almidón es un polisacárido complejo que se encuentra ampliamente en la naturaleza, siendo la principal fuente de carbohidratos en la dieta humana y el principal polisacárido de almacenamiento en las plantas. Es un polisacárido de reserva en las plantas, donde se almacena en órganos como raíces, tubérculos, semillas y frutos. Desde el punto de vista químico, el almidón es un polímero compuesto por unidades de glucosa, y su estructura y propiedades lo hacen esencial en la industria alimentaria, farmacéutica y de materiales.



Ilustración 1.1 Almidón

1.1.1 Estructura del Almidón

El almidón está compuesto por dos tipos principales de polisacáridos: amilosa y amilopectina.

- **Amilosa:** Es un polímero lineal de unidades de glucosa unidas principalmente por enlaces α (1-4), con algunas uniones α (1-6). Representa entre el 15% y el 20% del almidón total. (Villarreal, Pía, 2018)
- **Amilopectina:** Es un polímero ramificado de unidades de glucosa, donde aproximadamente el 94-96% de los enlaces son α (1-4) y el 4-6% restante son uniones α (1-6). Es el componente principal del almidón, constituyendo alrededor del 80% del total. (Villarreal, Pía, 2018)

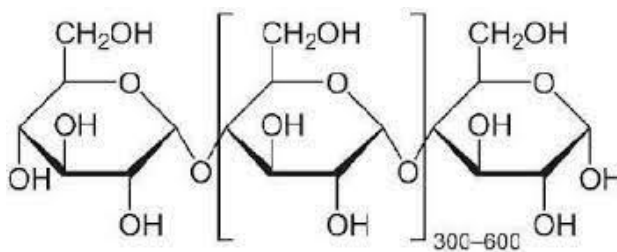


Ilustración 1.2 Estructura del almidón

1.1.2 Propiedades del Almidón

Las propiedades del almidón son fundamentales para entender su comportamiento y aplicaciones en diversas industrias. Estas propiedades dependen de la estructura molecular del almidón, que está compuesta principalmente por amilosa y amilopectina. A continuación, se detallan algunas de las propiedades más importantes del almidón:

1.1.2.1 Semicristalinidad

El almidón presenta una estructura semicristalina debido a la organización de las cadenas de glucosa en las regiones cristalinas y amorfas. La amilopectina es responsable de la formación de estructuras cristalinas, lo que influye en la gelatinización y retrogradación del almidón. (Muñiz-Acuña, N., 2023)

1.1.2.2 Gelatinización

La gelatinización es el proceso por el cual el almidón se disuelve en agua caliente, disolviendo las regiones cristalinas y permitiendo que las moléculas de almidón se disuelvan parcialmente. Este proceso es reversible y depende de la temperatura, la concentración del almidón y el tipo de almidón. (Agudelo-Zamudio, C., 2023)

1.1.2.3 Retrogradación

La retrogradación ocurre cuando el almidón gelatinizado se enfría, permitiendo que las cadenas lineales de amilosa se orienten paralelamente y formen puentes de hidrógeno, lo que resulta en la insolubilización y precipitación de las moléculas de amilosa. Este proceso puede afectar la textura y la estabilidad de los productos alimenticios. (Agudelo-Zamudio, C., 2023)

1.1.2.4 Capacidad Gelificante

La capacidad gelificante del almidón se refiere a su habilidad para formar geles firmes y estables cuando se disuelve en agua caliente y se enfría. Esta propiedad es importante en la industria alimentaria para productos como postres y salsas. Por ejemplo, el almidón de camote muestra una gelificación completa a concentraciones del 10% al 16%. (Muñiz-Acuña, N., 2023)

1.1.2.5 Capacidad Emulsionante

La capacidad emulsionante del almidón es su habilidad para estabilizar mezclas de dos líquidos inmiscibles, como aceite y agua. Esta propiedad es útil en la fabricación de productos como mayonesas y salsas. El almidón de camote tiene una capacidad emulsionante del 35.56%. (Muñiz-Acuña, N., 2023)

1.1.2.6 Claridad del Gel

La claridad del gel es una medida de la transparencia del gel formado por el almidón. Un valor bajo de claridad indica una mayor cantidad de amilosa, lo que puede

resultar en geles más opacos. El almidón de camote tiene una claridad del gel del 19.65%, lo que sugiere una mayor proporción de amilosa. (Muñiz-Acuña, N., 2023)

1.1.2.7 Estabilidad al Congelamiento-Descongelamiento

La estabilidad al congelamiento-descongelamiento es crucial para productos alimenticios que requieren ser congelados y descongelados sin perder su textura. El almidón de camote muestra una sinéresis máxima del 3% a 4°C, lo que indica una buena estabilidad en estas condiciones. (Agudelo-Zamudio, C., 2023)

1.1.2.8 Poder de Hinchamiento e Índice de Solubilidad en Agua

El poder de hinchamiento se refiere a la capacidad del almidón para absorber agua y expandirse. El índice de solubilidad en agua mide qué porcentaje del almidón se disuelve en agua. Estas propiedades son importantes para determinar la funcionalidad del almidón en diferentes aplicaciones. Las modificaciones químicas, como el uso de ácido acético, pueden aumentar el índice de solubilidad en agua del almidón. (Agudelo-Zamudio, C., 2023)

1.1.2.9 Propiedades Reológicas

Las propiedades reológicas del almidón, como el módulo de almacenamiento (G') y el módulo de pérdida (G''), son fundamentales para entender su comportamiento viscoelástico. Estas propiedades influyen en la textura y estabilidad de los geles y pastas formadas por el almidón. Las modificaciones químicas pueden alterar estas propiedades, afectando la viscosidad y elasticidad del almidón. (Agudelo-Zamudio, C., 2023)

1.1.2.10 Propiedades Nutricionales

El almidón es una fuente importante de carbohidratos en la dieta humana. Además, el almidón resistente actúa como fibra dietética, contribuyendo a un microbiota intestinal saludable y ayudando en el control del peso y la saciedad. (Agudelo-Zamudio, C., 2023)

1.1.3 Aplicaciones del Almidón en la Industria Alimentaria

El almidón es un componente fundamental en la industria alimentaria debido a su versatilidad y amplia gama de propiedades funcionales. Se utiliza como espesante, estabilizante, gelificante y texturizante en una variedad de productos alimenticios. (Imbaquingo, E., 2024)



Ilustración 1.3 Almidón en la industria alimentaria

1.1.3.1 Panadería y Confitería

- **Texturizante:** En productos de panadería, como panes y pasteles, el almidón mejora la miga y la corteza, además de alargar la vida útil al retrasar el endurecimiento y la pérdida de humedad.
- **Gelificante:** En la confitería, se utiliza para producir gominolas, caramelos y malvaviscos, proporcionando una textura firme y elástica.

1.1.3.2 Lácteos y Yogures

- **Estabilizante:** En yogures y helados, el almidón ayuda a prevenir la separación de fases, mejorando la textura y la apariencia de estos productos.

1.1.3.3 Cárnicos y Productos Cárnicos Procesados

- **Espesante y Estabilizante:** Se utiliza para mejorar la textura y estabilidad de productos cárnicos procesados, como embutidos y salsas para carnes.

1.1.3.4 Salsas y Condimentos

- **Espesante:** El almidón se emplea para espesar salsas y condimentos, mejorando su consistencia y estabilidad durante el almacenamiento y el consumo.

1.1.3.5 Bebidas y Jugos

- **Estabilizante:** En algunas bebidas, el almidón ayuda a mantener la suspensión de partículas sólidas, asegurando una textura uniforme.

1.1.3.6 Alimentos Congelados

- **Estabilizante:** En productos congelados, como purés de frutas y verduras, el almidón ayuda a mantener la textura y prevenir la separación de fases durante el congelamiento y descongelamiento.

1.1.3.7 Snacks y Aperitivos

- **Texturizante:** En snacks como papas fritas y chips, el almidón puede mejorar la textura crujiente y la estabilidad durante el almacenamiento.

1.1.3.8 Alimentos Funcionales

- **Fuente de Almidón Resistente:** El almidón resistente, que no se digiere en el intestino delgado, se utiliza en alimentos funcionales para promover beneficios para la salud intestinal y el control del peso.

1.1.4 Aplicaciones del Almidón en Otras Industrias

Además de su uso en la industria alimentaria, el almidón tiene una amplia gama de aplicaciones en diversas industrias debido a sus propiedades versátiles y su capacidad para ser modificado química o físicamente. (Rodríguez-Basantes, A.I., 2021)



Ilustración 1.4 Almidón en la industria farmacéutica

1.1.4.1 Industria Farmacéutica

- **Excipiente y Agente de Revestimiento:** El almidón se utiliza como excipiente en la formulación de tabletas y cápsulas, ayudando a mejorar la estabilidad y liberación controlada de los fármacos. Además, se emplea como agente de revestimiento para proteger los principios activos y mejorar la biodisponibilidad. (Rodríguez-Basantes, A.I., 2021)
- **Biopolímeros para Liberación Controlada:** Los biopolímeros derivados del almidón pueden ser utilizados para desarrollar sistemas de liberación controlada de medicamentos, lo que permite una administración más eficiente y prolongada de los fármacos. (Rodríguez-Basantes, A.I., 2021)

1.1.4.2 Industria de Bioplásticos y Envases Biodegradables

- **Producción de Bioplásticos:** El almidón es una materia prima clave para la producción de bioplásticos biodegradables, como el poliláctico de almidón (PLA) y el polihidroxialcanoato (PHA). Estos bioplásticos son alternativas sostenibles a los plásticos tradicionales, ya que se degradan fácilmente en el medio ambiente. (González-Góngora, I., 2015)
- **Envases Biodegradables:** Los envases fabricados a partir de almidón son biodegradables y compostables, lo que reduce significativamente el impacto ambiental de los residuos plásticos. (González-Góngora, I., 2015)

1.1.4.3 Industria Cosmética y de Cuidado Personal

- **Absorbente y Espesante:** En productos cosméticos, el almidón se utiliza como absorbente para controlar la humedad y como espesante para mejorar la textura de cremas y lociones. (González-Góngora, I., 2015)
- **Componente en Polvos y Maquillajes:** El almidón de maíz o tapioca es común en polvos faciales y maquillajes debido a su capacidad para absorber la humedad y mejorar la suavidad de la piel. (González-Góngora, I., 2015)

1.1.4.4 Industria Textil y de Tejidos

- **Adhesivo y Fijador:** El almidón se utiliza como adhesivo en la industria textil para fijar telas y mejorar la estabilidad de los tejidos durante el proceso de confección. (González-Góngora, I., 2015)
- **Endurecedor de Telas:** En algunos casos, el almidón se aplica para endurecer telas y mejorar su textura, especialmente en prendas que requieren una mayor rigidez. (González-Góngora, I., 2015)

1.1.4.5 Industria de la Construcción y Adhesivos

- **Componente en Adhesivos:** El almidón modificado se utiliza en la formulación de adhesivos para mejorar su resistencia y adherencia en superficies diversas. (Rodríguez-Basantes, A.I., 2021)
- **Mejora de la Resistencia en Materiales:** En la industria de la construcción, el almidón puede ser incorporado en mezclas para mejorar la resistencia y durabilidad de materiales como el yeso o el cemento. (Rodríguez-Basantes, A.I., 2021)

1.1.4.6 Industria Papelera

- **Adhesivo y Mejorador de la Textura:** El almidón se utiliza como adhesivo en la fabricación de papel, mejorando la unión entre las fibras celulósicas y mejorando la textura del papel final. (González-Góngora, I., 2015)

1.1.4.7 Industria de Fluidos de Perforación

- **Agente de Floculación y Espesante:** En la industria petrolera, el almidón modificado se utiliza como agente de floculación y espesante en fluidos de perforación para mejorar la estabilidad y viscosidad de estos fluidos. (González-Góngora, I., 2015)

1.1.5 Modificaciones del Almidón para Aplicaciones Específicas

Las modificaciones del almidón son procesos que buscan alterar sus propiedades físicas y químicas para adaptarlo a diversas aplicaciones en diferentes industrias. Estas modificaciones pueden ser enzimáticas, físicas o químicas, cada una con sus ventajas y aplicaciones específicas. (Trejo Cuevas, K., 2024)

1.1.5.1 Modificaciones Enzimáticas

Las modificaciones enzimáticas del almidón son altamente eficientes y selectivas. Se utilizan enzimas como amilasas para hidrolizar parcialmente el almidón, lo que puede mejorar su solubilidad, reducir su viscosidad y aumentar su capacidad de hinchamiento. Estas modificaciones son comunes en la industria alimentaria para producir dextrinas y maltodextrinas, que se utilizan como espesantes y estabilizantes en productos alimenticios. (Ochoa-Martínez, L.A., 2021)

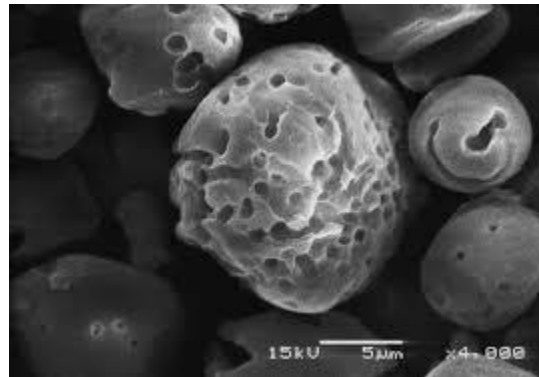


Ilustración 1.5 Modificación enzimática del almidón de maíz

1.1.5.2 Modificaciones Físicas

Las modificaciones físicas del almidón incluyen tratamientos como el calentamiento ohmico, el autoclaveado y el tratamiento con ultrasonido. Estos métodos alteran la estructura cristalina del almidón, mejorando su solubilidad y capacidad de gelificación sin alterar su composición química. Por ejemplo, el calentamiento ohmico se utiliza para pregelatinizar el almidón de papa, reduciendo los tiempos de procesamiento y mejorando su funcionalidad en aplicaciones alimentarias. (Adame, B.S., 2019)

1.1.5.3 Modificaciones Químicas

Las modificaciones químicas del almidón implican la introducción de grupos funcionales en su estructura, lo que mejora sus propiedades funcionales. Algunos métodos comunes incluyen: (Palacios, O., & Armando, I., 2019)

- **Esterificación:** Implica la sustitución de grupos hidroxilo por grupos éster, lo que puede mejorar la solubilidad y estabilidad del almidón en agua.
- **Oxidación:** Se utiliza para introducir grupos carboxilo o aldehído, lo que puede mejorar la capacidad de retención de agua y la estabilidad del almidón en condiciones ácidas.
- **Reticulación:** Involucra la formación de enlaces cruzados entre moléculas de almidón, lo que aumenta su resistencia y estabilidad térmica.
- **Hidroxipropilación:** Introduce grupos hidroxipropilo, mejorando la solubilidad y estabilidad del almidón en agua caliente.

1.1.5.4 Aplicaciones de las Modificaciones del Almidón

Las modificaciones del almidón permiten su uso en una amplia gama de aplicaciones: (Palacios, O., & Armando, I., 2019)

- **Industria Alimentaria:** Las modificaciones enzimáticas y físicas son comunes para mejorar la textura y estabilidad de productos alimenticios, como salsas y postres.
- **Industria Farmacéutica:** Los copolímeros de almidón se utilizan como excipientes para liberación modificada de fármacos.
- **Industria de Bioplásticos:** Las modificaciones químicas y físicas permiten la producción de bioplásticos biodegradables a partir del almidón.
- **Industria Cosmética:** Las modificaciones químicas mejoran la absorción y estabilidad del almidón en productos cosméticos.

1.1.6 Importancia Nutricional y Saludable

El almidón es una fuente importante de carbohidratos en la dieta humana, proporcionando energía esencial para el funcionamiento del cuerpo. Además de su valor energético, el almidón tiene varios beneficios nutricionales y saludables que lo convierten en un componente valioso de una dieta equilibrada. (Ramos Jácome, M.S., & Guevara Villacís, M.V., 2023)

Tabla 1.1 Contenido de almidón en algunos productos vegetales

Producto	Contenido de Almidón
Harina de plátano verde	16 – 24%
Plátano verde	8.5%
Poroto blanco	6.6 – 9%
Camote	4 – 4.4%
Camote negro (procesado)	3.9% (5.5%)
Lenteja (procesada)	3.5% (1.6 – 9.1%)
Arveja fresca (procesado)	2.2% (6.9%)
Arroz integral (procesado)	1.7% (1.9%)
Papa (procesada)	1.3% (20%)
Arroz blanco (procesado)	1.2% (1.9%)
Plátano maduro	1.2%
Avena (procesada)	0.8% (0.5%)
Garbanzo (procesado)	0.6% (2.6%)
Haba fresca (procesada)	0.6% (1.45%)
Trigo (procesado)	0.3% (0.6%)
Harina de trigo	0.2%
Maíz crudo (procesado)	0.1% (0.4%)
Yuca cruda (procesada)	0.1% (0.4%)
Mango (procesado)	9.7%

1.1.6.1 Fuente de Energía

El almidón es el principal carbohidrato de almacenamiento en las plantas y es ampliamente consumido en forma de cereales, tubérculos y raíces. Proporciona energía rápida y sostenida, lo que es crucial para mantener las funciones corporales básicas. (Ramos Jácome, M.S., & Guevara Villacís, M.V., 2023)

1.1.6.2 Contenido de Fibra y Micronutrientes

Cuando se consume almidón de fuentes integrales, como arroz integral, pasta y pan integrales, se obtiene una mayor cantidad de fibra y micronutrientes. La fibra es esencial para una buena salud intestinal y puede ayudar a reducir el riesgo de enfermedades coronarias y gastrointestinales. (Ramos Jácome, M.S., & Guevara Villacís, M.V., 2023)

1.1.6.3 Almidón Resistente

El almidón resistente no se digiere en el intestino delgado y actúa como fibra dietética. Se encuentra en alimentos como arroz cocido y enfriado, pasta cocida y enfriada, y patatas cocidas y reposadas. Este tipo de almidón alimenta a las bacterias beneficiosas del intestino grueso, mejorando la salud intestinal y contribuyendo a una mayor sensación de saciedad, lo que puede ayudar en la pérdida de peso. (Palacios, O., & Armando, I., 2019)

1.1.6.4 Beneficios para la Salud Intestinal

El almidón resistente ayuda a mantener un equilibrio saludable del microbiota intestinal, lo que puede mejorar la función inmunológica y reducir el riesgo de enfermedades inflamatorias intestinales. (Palacios, O., & Armando, I., 2019)

1.1.6.5 Control del Azúcar en Sangre y Sensibilidad a la Insulina

El consumo de almidón resistente puede ayudar a reducir los niveles de azúcar en sangre después de las comidas y mejorar la sensibilidad a la insulina, lo que reduce el riesgo de desarrollar diabetes tipo 2 y síndrome metabólico. (Palacios, O., & Armando, I., 2019)

1.1.6.6 Reducción del Colesterol y Riesgo de Cáncer de Colon

El almidón resistente también puede contribuir a la reducción de los niveles de colesterol en sangre, lo que disminuye el riesgo de enfermedades cardiovasculares. Además, se ha asociado con un menor riesgo de cáncer de colon debido a su efecto beneficioso sobre la salud intestinal. (Palacios, O., & Armando, I., 2019)

1.1.6.7 Importancia en la Prevención de la Sarcopenia

Aunque el almidón no es una fuente directa de proteínas, su consumo adecuado es parte de una dieta equilibrada que puede ayudar a prevenir la sarcopenia en adultos mayores al mantener un estado nutricional óptimo, lo que es crucial para la salud muscular. (Ramos Jácome, M.S., & Guevara Villacís, M.V., 2023)

1.2 El Mango

El mango, científicamente conocido como “*Mangifera indica*”, es una de las frutas más populares y ampliamente cultivadas en todo el mundo. Pertenece a la familia de las Anacardiáceas, que incluye alrededor de 73 géneros y 850 especies, siendo el mango la principal especie de interés agronómico. (Maia, M.F., 2017)



Ilustración 1.6 Árbol de mango

1.2.1 Taxonomía

Plantas Reino Plantae

Plantas Vasculares Filo Tracheophyta

Plantas con Flores Subfilo Angiospermae

Magnolias, Margaritas Y Parientes (Dicotiledóneas) Clase Magnoliopsida

Mangos, Copales, Maples Y Parientes Orden Sapindales

Mangos, Jobos Y Parientes Familia Anacardiaceae

Mangos, Marañoses, Pimenteros Y Parientes Subfamilia Anacardioideae

Mangos Género *Mangifera*

Mango *Mangifera indica*

1.2.2 Origen y Distribución

El mango es originario del sur de Asia, específicamente de la región que hoy ocupan India y Birmania. Su cultivo se remonta a más de 4,000 años atrás, siendo una de las frutas más antiguas y veneradas en esta región. El mango ha sido cultivado en la región del Indo-Berma desde tiempos prehistóricos. Esta área incluye partes del este de la India, el sur de China y el sudeste asiático. La fruta se convirtió en un elemento central de la cultura y la gastronomía local, siendo altamente valorada por su sabor y propiedades nutricionales. (Nuambe, L. H., 2025)

La expansión del mango más allá de su región de origen se produjo a través de rutas comerciales antiguas. Alrededor del año 300 o 400 d.C., los viajeros llevaron semillas de mango de Asia al Medio Oriente, África Oriental y América del Sur. Sin embargo, fue el comercio de especias lo que realmente impulsó su cultivo y distribución a gran escala. En 1498, los portugueses establecieron un comercio de mangos en la India, lo que facilitó su propagación a otras partes del mundo. (Nuambe, L. H., 2025)

Hoy en día, el mango se cultiva en casi todas las regiones tropicales y subtropicales del mundo. India sigue siendo el mayor productor de mangos a nivel mundial, cultivando casi la mitad de la producción global. Otros países importantes en la producción de mangos incluyen Brasil, Ecuador, Guatemala, Haití, México y Perú. Estos países han adoptado variedades locales y han desarrollado técnicas de cultivo adaptadas a sus condiciones climáticas específicas. (Nuambe, L. H., 2025)

El mango es altamente adaptable a diferentes climas y suelos, lo que ha permitido su expansión a una amplia variedad de regiones. Existen más de 1,000 variedades de mangos, cada una con características únicas en cuanto a sabor, textura y color. Esta diversidad ha contribuido a su popularidad global y ha permitido que el mango se convierta en una fruta esencial en muchas culturas. (Nuambe, L. H., 2025)

El mango tiene un impacto significativo en la cultura y la economía de los países donde se cultiva. En la India, por ejemplo, es la fruta nacional y se utiliza en una variedad de platos y bebidas tradicionales, como el Mango Lassi y el Aamras. Además, el mango es una fuente importante de empleo e ingresos para muchas comunidades rurales en todo el mundo. (Nuambe, L. H., 2025)

1.2.3 Características Botánicas

El mango "*Mangifera indica* L." es un árbol perenne de la familia Anacardiáceas, conocido por su fruta deliciosa y nutritiva. (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2008)

El árbol del mango puede alcanzar una altura de entre 10 y 30 metros, aunque en cultivo suele mantenerse entre 6 y 15 metros para facilitar su manejo y cosecha. Su copa es amplia y redondeada, con una forma que varía según la variedad y las prácticas de cultivo. (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2008)

El mango tiene una raíz principal profunda que puede alcanzar hasta 6 metros de longitud, con varias raíces secundarias que se extienden radialmente en el primer metro de profundidad. Estas raíces son sensibles a la humedad del suelo y se adaptan estacionalmente. (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2008)

Las hojas del mango son simples, alternas y sin estípulas. Su forma es generalmente oblonga, con extremidades redondeadas o acuminadas. El tamaño de las hojas varía dentro del árbol, pero su forma es más constante dentro de cada variedad. Las hojas maduras son de color verde oscuro brillante en la superficie superior

y más clara en la inferior. Las hojas nuevas emergen en brotes de 10 a 20 hojas y cambian de color de verde claro a marrón o púrpura hasta madurar a verde oscuro. (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2008)

Las flores del mango se encuentran en panículas terminales cónicas, que pueden alcanzar hasta 60 centímetros de largo en algunas variedades. Estas panículas tienen ramificaciones primarias a terciarias pubescentes de color verde pálido o rosa. (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2008)

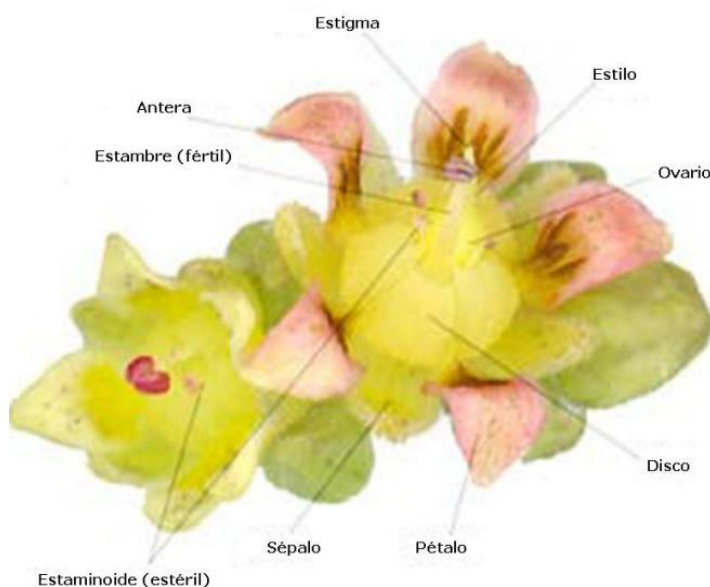


Ilustración 1.7 Flor masculina (izquierda) y hermafrodita (derecha) del mango

Las flores son pequeñas y generalmente hermafroditas, aunque algunas variedades pueden tener flores unisexuales. La polinización es principalmente cruzada, aunque también puede ocurrir la autopolinización. (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2008)

El fruto del mango es una drupa, con una piel externa delgada, una pulpa comestible y una semilla grande en el centro. La forma y el tamaño del fruto varían según la variedad, pero generalmente son ovalados o redondos y pueden pesar entre 150 y 750 gramos. El color de la piel del mango varía desde el verde hasta el amarillo, naranja o rojo, dependiendo de la variedad y el estado de madurez. La maduración se caracteriza por un aumento en los sólidos solubles totales y una disminución en la firmeza del fruto. (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2008)



Ilustración 1.8 Semilla monoembrionica (izquierda) y semilla poliembrionica (derecha)

El mango es un árbol que crece en flujos, con brotes nuevos que emergen varias veces al año, dependiendo de factores climáticos y de manejo. El desarrollo de frutos desde la floración hasta la madurez puede tomar entre 3 y 6 meses, dependiendo de la variedad y las condiciones ambientales. (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2008)

1.2.4 Cultivo

El cultivo del mango requiere prácticas fitotécnicas adecuadas para su desarrollo óptimo. Esto incluye la nutrición, el manejo del suelo, y el control de plagas y enfermedades. El mango es sensible a las condiciones climáticas y requiere un régimen hídrico adecuado para su crecimiento. La variedad Tommy Atkins es una de las más cultivadas y exportadas, destacándose por su sabor y textura.

1.2.5 Valor Nutricional

El mango es una fruta rica en nutrientes esenciales y compuestos bioactivos que contribuyen significativamente a la salud humana.

Por cada 100 gramos de mango, se consumen aproximadamente 59 calorías, con un contenido de hidratos de carbono de 14,98 gramos. Esto lo convierte en una fuente energética moderada. (Caicedo, W., 2021)

Igualmente, el mango contiene una cantidad moderada de proteínas (0,82 gramos por 100 gramos) y es muy bajo en grasas (0,38 gramos por 100 gramos), lo que lo hace ideal para dietas saludables. (Caicedo, W., 2021)

Tabla 1.2 Información nutricional del mango

Tamaño de la porción	100 g
	Por porción
Energía	272 kJ 65 kcal
Proteína	0.51 g
Carbohidratos	17 g
Fibra	1.8 g

Azúcar	14.8 g
Grasa	0,27 g
Grasa Saturada	0.066 g
Grasa Poliinsaturada	0.051 g
Grasa Monoinsaturadas	0.101 g
Colesterol	0 mg
Sodio	2 mg
Potasio	156 mg

Es una excelente fuente de vitaminas A y C. La vitamina A, presente en forma de betacaroteno, es crucial para la salud visual y el sistema inmunológico, mientras que la vitamina C es esencial para el sistema inmunológico y la absorción de hierro. Además, el mango es rico en minerales como potasio, magnesio y fósforo, que son importantes para el equilibrio osmótico y el funcionamiento muscular. (Caicedo, W., 2021)

El mango una cantidad significativa de fibra dietética, lo que ayuda a regular el tránsito intestinal y a mantener un colesterol saludable. Además, es rico en antioxidantes como flavonoides, glucósidos de xantona y taninos, que tienen propiedades antiinflamatorias y antioxidantes, contribuyendo a prevenir enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer. (Echevarria Victorio, J.P., 2023)

1.2.5.1 Beneficios para la Salud

- **Protección Cardiovascular:** Los antioxidantes y el alto contenido de potasio en el mango ayudan a reducir la presión arterial y a prevenir enfermedades cardiovasculares. (Caicedo, W., 2021)
- **Prevención del Cáncer:** Los compuestos bioactivos presentes en el mango, como los flavonoides y los carotenoides, han demostrado tener propiedades anticancerígenas, ayudando a prevenir el crecimiento de células cancerosas. (Echevarria Victorio, J.P., 2023)
- **Apoyo Inmunológico:** La vitamina C y otros antioxidantes presentes en el mango fortalecen el sistema inmunológico, ayudando a prevenir infecciones y enfermedades. (Caicedo, W., 2021)
- **Salud Digestiva:** La fibra del mango ayuda a mantener un tránsito intestinal saludable, previniendo el estreñimiento y mejorando la absorción de nutrientes. (Caicedo, W., 2021)

1.2.6 Producción y Comercialización

La producción y comercialización del mango es un sector dinámico y en crecimiento en el ámbito agrícola mundial. Este fruto tropical no solo es apreciado por su sabor y valor nutricional, sino que también representa una fuente significativa de ingresos para muchos países productores. (Cadena-Zamudio, D.A., 2023)

1.2.7 Producción Global

La producción mundial de mango ha mostrado un crecimiento constante en las últimas décadas. Según datos recientes, la producción global alcanzó aproximadamente 67.2 millones de toneladas en 2021, con una superficie cultivada de alrededor de 5.5 millones de hectáreas. Los principales países productores incluyen: (Cadena-Zamudio, D.A., 2023)

- **India:** Con más de 24.7 millones de toneladas, India es el mayor productor mundial, representando cerca del 38.6% de la producción total.
- **Indonesia:** Produce aproximadamente 3.6 millones de toneladas.
- **China:** Con una producción de 2.5 millones de toneladas.
- **México:** Se posiciona como el cuarto productor con alrededor de 2.4 millones de toneladas.
- **Pakistán:** Con una producción cercana a 2.3 millones de toneladas.

Estos cinco países representan más del 53% de la producción mundial de mango.

1.2.8 Producción en México

México ha emergido como un líder en la producción y exportación de mango. En 2023, el país alcanzó una producción récord de más de 2.2 millones de toneladas, lo que representa un incremento del 5% en la superficie cultivada. México se destaca no solo por su volumen de producción, sino también por la calidad de sus variedades, como el mango Ataulfo y el Tommy Atkins, que son altamente valorados en mercados internacionales. (Arias Navarro, C., 2023)

Tabla 1.3 Distribución de la producción de los principales estados de México

En	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
CHIAPAS								
	OAXACA							
	GUERRERO							
MICHOCAN								
			COLIMA					
			MAYARIT					
					SINALOA			

1.2.8.1 Comercialización

La comercialización del mango implica tanto el mercado interno como las exportaciones internacionales. México se ha consolidado como el principal exportador mundial, superando a otros países como Tailandia y Brasil. Las principales rutas comerciales para el mango mexicano incluyen: (Zavala Martínez, J.M., 2023)

- **Estados Unidos:** Es el principal socio comercial, absorbiendo alrededor del 80% de las exportaciones mexicanas.

- **Canadá y Japón:** También son mercados significativos para el mango mexicano.

La competitividad del comercio del mango mexicano se refleja en tasas de crecimiento positivas en producción y exportación, lo que indica una creciente demanda tanto a nivel nacional como internacional. (Zavala Martínez, J.M., 2023)

1.2.8.2 Desafíos en la Producción y Comercialización

A pesar del crecimiento, la industria del mango enfrenta varios desafíos:

- **Condiciones Climáticas:** El cambio climático puede afectar la producción debido a fenómenos como sequías o tormentas intensas que impactan la cosecha.
- **Plagas y Enfermedades:** La presencia de plagas como la antracnosis puede reducir significativamente la calidad y cantidad de los frutos producidos.
- **Normativas Internacionales:** Cumplir con las regulaciones fitosanitarias exigidas por los mercados internacionales es crucial para mantener el acceso a estos mercados.

1.2.9 Oportunidades Futuras

El potencial para expandir la producción y comercialización del mango es significativo. La implementación de prácticas agrícolas sostenibles y tecnologías avanzadas puede mejorar los rendimientos y la calidad del fruto. Además, el aumento del interés en productos orgánicos abre nuevas oportunidades para los productores que buscan diversificar su oferta. (Arias Navarro, C., 2023)

1.2.10 Impacto Ambiental y Social

El cultivo del mango tiene un impacto significativo tanto en el medio ambiente como en las comunidades sociales que dependen de él.

1.2.10.1 Impacto Ambiental

El mango requiere un régimen hídrico adecuado, especialmente en regiones con estaciones secas prolongadas. El uso de sistemas de riego eficientes es crucial para minimizar el consumo de agua y evitar la sobreexplotación de los recursos hídricos. (Valverde- Rodríguez, A., 2023)

La erosión del suelo puede ocurrir si no se implementan prácticas agrícolas sostenibles, como la rotación de cultivos y el uso de materia orgánica. Esto puede llevar a la pérdida de fertilidad del suelo y a la necesidad de mayor uso de fertilizantes químicos. (Valverde- Rodríguez, A., 2023)

Aunque es común el uso de plaguicidas y fertilizantes químicos para controlar plagas y mejorar el rendimiento, estos productos pueden contaminar el suelo, el agua y el aire, afectando la biodiversidad local y la salud humana. La búsqueda de

alternativas más sostenibles, como plaguicidas de bajo impacto ambiental, es esencial para mitigar estos efectos negativos. (Valverde- Rodríguez, A., 2023)

El cambio climático está alterando los patrones climáticos tradicionales, lo que puede afectar la productividad del mango. Los períodos de sequía más prolongados y las temperaturas extremas pueden reducir los rendimientos y aumentar la vulnerabilidad del cultivo a plagas y enfermedades. (Apraez Muñoz, J.J., 2022)

1.2.10.2 Impacto Social

El cultivo del mango es una fuente importante de empleo y generación de ingresos para muchas comunidades rurales. En regiones como Chiapas, México, el mango es un producto líder en términos de superficie cultivada y valor de producción, contribuyendo significativamente al bienestar económico de los fruticultores. (Espinosa González, A.O., 2023)

La industria del mango también contribuye al desarrollo comunitario al proporcionar servicios básicos y satisfactores sociales a los productores y sus familias. Sin embargo, las políticas restrictivas locales pueden limitar el acceso a estos beneficios. (Espinosa González, A.O., 2023)

El mango tiene un significado cultural importante en muchas sociedades, siendo parte de tradiciones culinarias y festivales locales. Su producción y consumo están ligados a la identidad cultural y a la cohesión social en comunidades agrícolas. (Espinosa González, A.O., 2023)

La industria del mango está impulsando la investigación para desarrollar variedades más sostenibles y que satisfagan las preferencias del consumidor, como variedades con mejor sabor y textura. Esto incluye el uso de tecnologías avanzadas para identificar marcadores genéticos que permitan acelerar el desarrollo de nuevas variedades. (Apraez Muñoz, J.J., 2022)

1.3 Métodos de Extracción de Almidón

1.3.1 Trituración en la Extracción de Almidón

La trituración es una etapa crucial en el proceso de extracción de almidón, especialmente cuando se utiliza el método húmedo. Este proceso implica la ruptura de las paredes celulares de los vegetales para liberar los gránulos de almidón, facilitando su posterior separación y purificación.

El almidón es un polímero compuesto por unidades de glucosa repetidas, ampliamente utilizado como fuente de carbohidratos en la industria alimentaria y no alimentaria. La extracción de almidón se realiza a partir de diversas fuentes vegetales, como maíz, papa, yuca, y frutas como el plátano y el litchi.



Ilustración 1.9 Molino para trituración

1.3.1.1 Técnicas de Extracción de Almidón

Existen dos métodos principales para la extracción de almidón: el método húmedo y el método seco.

- **Método Húmedo:** Este método implica la trituración del material vegetal en presencia de agua para romper las paredes celulares y liberar los gránulos de almidón. Posteriormente, se decanta y lava el material para eliminar fibra y proteínas, y finalmente se seca el almidón.
- **Método Seco:** Consiste en secar y moler el material vegetal para obtener una harina, que luego se tamiza para separar el almidón de otras partículas más grandes.

1.3.1.2 Trituración en el Proceso Húmedo

La trituración es fundamental en el método húmedo, ya que permite la liberación eficiente de los gránulos de almidón. Este proceso puede ser asistido por enzimas, como la celulasa, que ayudan a romper las paredes celulares, o por ultrasonido, que mejora la eficiencia de la extracción.

1.3.1.3 Etapas del Proceso Húmedo

1. **Trituración:** Se tritura el material vegetal en agua para romper las paredes celulares.
2. **Decantación y Lavado:** Se elimina la fibra y las proteínas mediante decantación y lavado.
3. **Sedimentación:** El almidón se sedimenta por gravedad.
4. **Secado:** Finalmente, se seca el almidón para obtener el producto final.

1.3.1.4 Importancia de la Trituración

La trituración adecuada es crucial para maximizar el rendimiento y la calidad del almidón. Un tamaño de partícula óptimo facilita la separación del almidón de otros componentes, mejorando el rendimiento del proceso.

1.3.1.5 Innovaciones en la Trituración

Recientemente, se han explorado técnicas innovadoras como la pre-molienda en húmedo, que mejora la calidad del almidón al facilitar la separación inicial de la fibra. Además, el uso de ultrasonido puede aumentar la eficiencia de la extracción almidón al mejorar la ruptura celular.

1.3.2 Métodos de Análisis

1.3.2.1 Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier

La espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) es una técnica analítica ampliamente utilizada en diversas disciplinas científicas, desde la química hasta la biología y la industria alimentaria. La espectroscopía FTIR se basa en el principio de que las moléculas absorben radiación infrarroja a frecuencias específicas, relacionadas con las energías de vibración interatómica de los enlaces moleculares. Esta absorción se debe a que los enlaces vibran a diferentes energías, lo que resulta en la absorción de longitudes de onda distintas de la radiación infrarroja. (De la Rosa Arana, J.L., 2022)

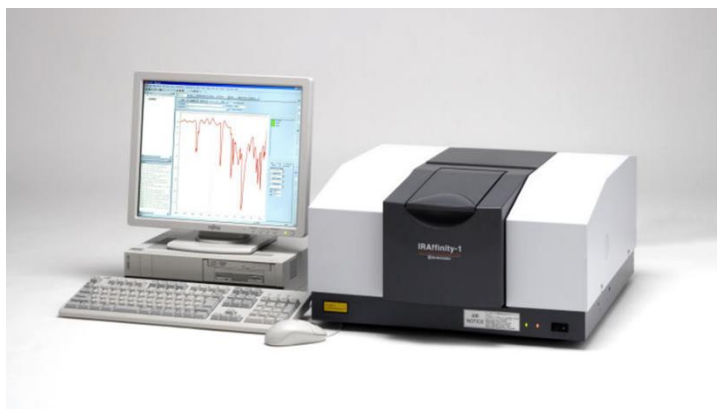


Ilustración 1.10 Equipo de FTIR

1.3.2.1.1 Funcionamiento

Componentes Clave

1. **Fuente de Radiación Infrarroja:** Esta fuente emite una amplia gama de longitudes de onda en el rango infrarrojo. Comúnmente se utilizan fuentes como el filamento de glicerina o el filamento de grafito. (Tudela, E.F. 2017)
2. **Interferómetro:** Es el corazón del espectrómetro FTIR. El interferómetro más común es el de Michelson, que divide la luz infrarroja en dos haces. Uno de los espejos del interferómetro se mueve, lo que crea un patrón de interferencia cuando los haces se reúnen. (Tudela, E.F. 2017)
3. **Celda de Muestra:** Aquí se coloca la muestra a analizar. La celda puede ser una celda de gas, una celda de líquidos o una placa de KBr para muestras sólidas. (Tudela, E.F. 2017)

4. **Detector:** El detector es sensible a la radiación infrarroja y registra el patrón de interferencia resultante. Los detectores más comunes son los bolómetros o los detectores de termopilas. (Tudela, E.F. 2017)

1.3.2.1.2 Pasos del Proceso

1. **Generación de Radiación Infrarroja:** La fuente emite luz infrarroja que pasa a través del interferómetro. (Daza Orsini, S.M., 2023)
2. **División de la Luz:** En el interferómetro, la luz se divide en dos haces perpendiculares entre sí. Uno de los haces se refleja en un espejo fijo, mientras que el otro se refleja en un espejo móvil. (Daza Orsini, S.M., 2023)
3. **Creación del Patrón de Interferencia:** Cuando el espejo móvil se mueve, los dos haces se reúnen y crean un patrón de interferencia. Este patrón varía según la posición del espejo móvil. (Daza Orsini, S.M., 2023)
4. **Paso a través de la Muestra:** El patrón de interferencia pasa a través de la celda de muestra. La muestra absorbe ciertas longitudes de onda, lo que modifica el patrón de interferencia. (Daza Orsini, S.M., 2023)
5. **Detección del Patrón de Interferencia:** El detector registra el patrón de interferencia modificado, que se conoce como interferograma. (Daza Orsini, S.M., 2023)
6. **Transformada de Fourier:** El interferograma se procesa mediante una transformada de Fourier, que convierte el patrón de interferencia en un espectro de absorción en función de la longitud de onda. Este espectro muestra las absorciones características de los enlaces moleculares presentes en la muestra. (Daza Orsini, S.M., 2023)

1.3.2.1.3 Ventajas del Uso de Interferometría

El uso de interferometría en FTIR ofrece varias ventajas: (De la Rosa Arana, J.L., 2022)

- **Mayor Sensibilidad:** La interferometría permite una mayor relación señal/ruido debido a que todos los componentes del espectro se miden simultáneamente.
- **Mayor Velocidad:** El análisis es más rápido porque no se necesita escanear individualmente cada longitud de onda.
- **Mayor Resolución:** La resolución espectral es superior debido a la precisión con la que se puede medir la posición del espejo móvil.

1.3.2.1.4 Aplicaciones de la Espectroscopía FTIR

La espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) tiene una amplia gama de aplicaciones en diversas disciplinas científicas y tecnológicas.

1.3.2.1.4.1 Análisis de Alimentos y Bebidas

La FTIR se utiliza para caracterizar ingredientes alimentarios, detectar adulterantes y evaluar la calidad de los productos. Por ejemplo, se puede emplear para identificar

la presencia de grasas trans en alimentos procesados o para detectar la adulteración de productos lácteos. (Esteban-Gatica, A.J., 2024)

1.3.2.1.4.2 Industria Farmacéutica

En este sector, la FTIR es crucial para el análisis de fármacos y excipientes. Se utiliza para identificar la estructura molecular de los compuestos activos, verificar la pureza de los productos farmacéuticos y monitorear los procesos de síntesis. (Esteban-Gatica, A.J., 2024)

1.3.2.1.4.3 Biotecnología y Biomedicina

La FTIR se aplica en el estudio de biomoléculas, como proteínas y carbohidratos, para entender su estructura y función. También se utiliza en la detección de patógenos y en el desarrollo de biomateriales para aplicaciones médicas. (Esteban-Gatica, A.J., 2024)

1.3.2.1.4.4 Análisis de Polímeros y Materiales

La FTIR es esencial para el estudio de polímeros sintéticos y naturales. Ayuda a identificar la composición química, evaluar las interacciones entre polímeros y analizar la degradación de materiales poliméricos. (Esteban-Gatica, A.J., 2024)

1.3.2.1.4.5 Aplicaciones Ambientales

Se utiliza para monitorear la contaminación del aire y del agua, identificando compuestos orgánicos volátiles (COV) y otros contaminantes químicos. (Esteban-Gatica, A.J., 2024)

1.3.2.1.4.6 Conservación del Patrimonio Cultural

La FTIR se emplea en la conservación de obras de arte y objetos históricos para analizar los materiales utilizados en su creación y evaluar su estado de conservación. (Esteban-Gatica, A.J., 2024)

1.3.2.1.4.7 Investigación en Materiales Avanzados

La FTIR es útil en el estudio de materiales avanzados como nanomateriales y compuestos híbridos, ayudando a entender sus propiedades estructurales y químicas. (Villarreal-Gómez, L.J., 2018)

1.3.2.1.4.8 Química de Flujo y Catálisis

Se utiliza para monitorear reacciones químicas en tiempo real, lo que es especialmente útil en la química de flujo y en la optimización de procesos catalíticos. (Villarreal-Gómez, L.J., 2018)

1.3.2.1.5 Ejemplos Específicos

La FTIR se ha utilizado para estudiar los efectos del pH y la naturaleza del catalizador en la electrooxidación de etanol, lo que es relevante para el desarrollo de celdas de combustible. (Cámara, T., & Francisco, J.M., 2020)

La FTIR se ha aplicado en el análisis de películas compuestas de PVA/PbI₂ para aplicaciones optoelectrónicas, donde la FTIR ayudó a confirmar la ausencia de enlaces químicos entre las partículas y la matriz polimérica. (Maca Ossa, B., 2024)

La FTIR se ha utilizado para caracterizar la estructura química de nanopartículas de hidroxiapatita, un material importante en aplicaciones biomédicas. (Villarreal-Gómez, L.J., 2018)

La espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) es una técnica analítica que juega un papel crucial en el área bioquímica debido a su capacidad para proporcionar información detallada sobre la estructura molecular y la composición química de biomoléculas. (Villarreal-Gómez, L.J., 2018)

1.3.2.1.6 Importancia de la FTIR en Bioquímica

1.3.2.1.6.1 Análisis de Biomoléculas

La FTIR permite el análisis de biomoléculas como proteínas, carbohidratos, lípidos y ácidos nucleicos. Esta técnica es especialmente útil para estudiar la estructura secundaria de proteínas, ya que puede identificar las bandas características de absorción asociadas con estructuras alfa-hélice y beta-hojas. (Barraza-Garza, Guillermo, 2013)

1.3.2.1.6.2 Identificación y Cuantificación de Compuestos

La FTIR puede identificar y cuantificar compuestos bioquímicos en mezclas complejas. Esto es crucial en el estudio de procesos metabólicos y en la detección de cambios bioquímicos en células y tejidos. (Fernández, E., 2022)

1.3.2.1.6.3 Microespectroscopía FTIR

La microespectroscopía FTIR (FTIRM) combina la espectroscopía FTIR con la microscopía óptica, lo que permite analizar muestras biológicas a nivel microscópico. Esta técnica es capaz de detectar variaciones bioquímicas en células y tejidos, lo que es útil para estudiar procesos celulares y diagnosticar enfermedades. (Barraza-Garza, Guillermo, 2013)

1.3.2.1.6.4 Estudios de Interacción Molecular

La FTIR se utiliza para estudiar las interacciones entre biomoléculas, como la unión de ligandos a proteínas o la interacción entre ácidos nucleicos y proteínas. Esto ayuda a entender los mecanismos bioquímicos subyacentes a procesos biológicos. (Mettler-Toledo International Inc, 2024)

1.3.2.1.7 Aplicaciones en Investigación Biomédica

La FTIR tiene aplicaciones en la investigación biomédica, como en el diagnóstico de enfermedades. Por ejemplo, se ha utilizado para detectar cambios bioquímicos en tejidos cancerosos, lo que puede ayudar en el diagnóstico temprano y en la monitorización del tratamiento. (Fernández, E., 2022)

1.3.2.1.7.1 Análisis de Muestras Biológicas Complejas

La FTIR puede analizar muestras biológicas complejas, como tejidos y fluidos corporales, proporcionando información sobre la composición química y el estado bioquímico de la muestra. Esto es útil en estudios de toxicología y farmacocinética. (Martínez, E. 2024)

1.3.2.1.8 Ventajas sobre Otras Técnicas

La FTIR ofrece varias ventajas sobre otras técnicas bioquímicas, como la simplicidad del proceso de muestreo, la no destrucción de la muestra y la capacidad de analizar una amplia variedad de materiales biológicos. La técnica FTIR ofrece varias ventajas sobre otras formas de espectroscopía: (Mettler-Toledo International Inc, 2024)

- **Versatilidad:** Permite analizar muestras en diferentes estados (líquidos, sólidos, gases).
- **Rapidez y Sensibilidad:** Ofrece una relación señal/ruido mejorado y reduce el tiempo de análisis gracias al uso de la transformada de Fourier.
- **No Destructiva:** Puede ser utilizada para análisis no destructivos, como en el estudio de fotografías históricas.

1.3.2.1.9 Importancia de la FTIR en la Entrega de Medicamentos

La espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) juega un papel crucial en la industria farmacéutica y en la producción de vendajes, contribuyendo significativamente a la calidad y seguridad de los productos. (Barros, Y.A., 2015)

1.3.2.1.9.1 Identificación y Autenticación de Fármacos

La FTIR es esencial para identificar y autenticar fármacos, asegurando que los compuestos activos sean genuinos y cumplan con los estándares de calidad. Esto ayuda a prevenir la adulteración y garantiza la seguridad del paciente. (Barros, Y.A., 2015)

1.3.2.1.9.2 Análisis de Excipientes

Los excipientes son componentes no activos que se agregan a los fármacos para mejorar su estabilidad, biodisponibilidad o palatabilidad. La FTIR permite analizar estos componentes, asegurando que no interfieran con el principio activo y que cumplan con los estándares regulatorios. (Barros, Y.A., 2015)

1.3.2.1.9.3 Control de Calidad en la Producción

La FTIR se utiliza para monitorear el proceso de producción de medicamentos, asegurando que los productos finales cumplan con las especificaciones requeridas. Esto incluye la detección de impurezas y la verificación de la pureza del producto. (Barros, Y.A., 2015)

1.3.2.1.9.4 Estudios de Estabilidad

La FTIR ayuda a evaluar la estabilidad de los fármacos bajo diferentes condiciones de almacenamiento, como temperatura y humedad, lo que es crucial para determinar su vida útil y garantizar su eficacia. (Barros, Y.A., 2015)

1.3.2.1.10 Importancia de la FTIR en la Producción de Vendajes

1.3.2.1.10.1 Caracterización de Materiales

La FTIR se utiliza para caracterizar los materiales utilizados en la fabricación de vendajes, como polímeros y compuestos biocompatibles. Esto asegura que los materiales sean seguros para su uso en aplicaciones médicas. (Cromtek. 2020)

1.3.2.1.10.2 Análisis de Propiedades Físicas y Químicas

La FTIR permite analizar las propiedades físicas y químicas de los vendajes, como su resistencia a la humedad, permeabilidad al oxígeno y capacidad de absorción. Esto es crucial para garantizar que los vendajes cumplan con los requisitos necesarios para su uso en heridas. (Cromtek. 2020)

1.3.2.1.10.3 Detección de Contaminantes

La FTIR puede detectar contaminantes químicos en los materiales de vendajes, lo que es esencial para prevenir reacciones adversas en el paciente. (Cromtek. 2020)

Optimización de Formulaciones

La FTIR ayuda a optimizar las formulaciones de vendajes medicamentosos, permitiendo ajustar la composición para mejorar su eficacia y seguridad. (Cromtek. 2020)

1.3.2.2 Análisis Termogravimétrico

El Análisis Termogravimétrico (ATG), también conocido como Termogravimetría (TG), es una técnica analítica utilizada para estudiar los cambios de masa de un material cuando se somete a un programa de temperatura controlado. Esta técnica es fundamental en diversas áreas, como la química, la física y la ingeniería de materiales, ya que proporciona información valiosa sobre la estabilidad térmica, la composición y las propiedades de los materiales. (Castro Aburto, 2012)



Ilustración 1.11 Equipo TGA

El ATG se basa en la medición de la masa de un material mientras se calienta o enfría a una velocidad controlada. Los cambios en la masa reflejan la pérdida o ganancia de masa debido a procesos como la descomposición térmica, la deshidratación, la sublimación o la oxidación. Estos procesos pueden ser identificados por los puntos de inflexión en la curva de termogravimetría, que muestra la relación entre la masa del material y la temperatura. (Castro Aburto, 2012)

1.3.2.2.1 Funcionamiento de la Técnica de Análisis Termogravimétrico

El Análisis Termogravimétrico (ATG) es una técnica que mide los cambios de masa de una muestra mientras se somete a un programa de temperatura controlado. Este proceso permite evaluar la estabilidad térmica, la composición y las propiedades físicas y químicas de los materiales. (González, 2016)

1.3.2.2.1.1 Componentes Clave del Equipo

- **Termobalanza:** Es el componente central del equipo, que consta de una balanza de alta precisión y un horno con control de temperatura. La termobalanza moderna, como el modelo Q500 de TA Instruments, ofrece una gran precisión y control sobre el programa de temperatura. (Cano, N.G., 2015)
- **Horno:** Es el compartimento donde se coloca la muestra y se controla la temperatura. Puede operar en una variedad de atmósferas, como aire, vacío, gases inertes o reactivos. (Cano, N.G., 2015)
- **Sistema de Control de Temperatura:** Permite programar y mantener una velocidad de calentamiento constante o variable, según las necesidades del análisis. (Cano, N.G., 2015)
- **Sistema de Registro de Datos:** Los cambios de masa se registran continuamente y se almacenan en un sistema informático para su posterior análisis. (Cano, N.G., 2015)

1.3.2.2.1.2 Pasos del Proceso

1. Preparación de la Muestra:

- a. Se selecciona y prepara la muestra, asegurándose de que esté seca y libre de impurezas.
- b. La muestra se coloca en una bandeja o crucible adecuado para el análisis. (Mettler-Toledo International Inc, 2019)

2. Configuración del Equipo:

- a. Se configura el programa de temperatura, incluyendo la velocidad de calentamiento y el rango de temperatura.
- b. Se selecciona la atmósfera de análisis (aire, nitrógeno, oxígeno, etc.). (Mettler-Toledo International Inc, 2019)

3. Iniciación del Análisis:

- a. La termobalanza se calibra para asegurar la precisión de las mediciones.

- b. Se inicia el programa de temperatura, y la muestra comienza a calentarse a la velocidad establecida. (Mettler-Toledo International Inc, 2019)

4. Medición de la Masa:

- a. Durante el calentamiento, la balanza mide continuamente los cambios de masa de la muestra.
- b. Estos datos se registran en función de la temperatura o el tiempo. (Mettler-Toledo International Inc, 2019)

5. Análisis de los Datos:

- a. Los datos se representan gráficamente en una curva TGA, que muestra la relación entre la masa y la temperatura.
- b. La primera derivada de esta curva, conocida como curva DTG, se utiliza para identificar puntos críticos de descomposición o transiciones térmicas.
- c. Se pueden aplicar modelos cinéticos para interpretar los procesos de descomposición térmica y calcular parámetros como la energía de activación y el orden de reacción. (Mettler-Toledo International Inc, 2019)

6. Interpretación de Resultados:

- a. Los resultados permiten identificar la composición del material, el contenido de humedad, la presencia de materia volátil y mineral, y las temperaturas de descomposición.
- b. Esta información es crucial para evaluar la estabilidad térmica y optimizar procesos industriales o de investigación. (Mettler-Toledo International Inc, 2019)

1.3.2.2.2 Tipos de Análisis Térmico

El análisis térmico incluye varias técnicas, entre las que se destacan:

- **Termogravimetría (TG):** Mide los cambios de masa en función de la temperatura. (Infinitia Research, 2024)
- **Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC):** Mide los cambios de energía térmica. (Infinitia Research, 2024)
- **Análisis Termomecánico (TMA):** Mide los cambios dimensionales del material. (Infinitia Research, 2024)

1.3.2.2.3 Aplicaciones del Análisis Termogravimétrico

El Análisis Termogravimétrico (ATG) es una técnica versátil que se utiliza en diversas industrias y campos de investigación para evaluar la estabilidad térmica, la composición y las propiedades de los materiales. (Quispe, C., 2019)

1.3.2.2.3.1 Industria Farmacéutica

Se utiliza para determinar la pureza y estabilidad térmica de fármacos y excipientes, asegurando que los medicamentos mantengan su eficacia durante el almacenamiento y uso. (Wanatop, 2022)

De igual forma, ayuda a optimizar las formulaciones farmacéuticas al identificar las temperaturas de descomposición de los componentes activos y excipientes. (Wanatop, 2022)

1.3.2.2.3.2 Industria Alimentaria

El ATG es crucial para medir la cantidad de humedad absorbida por los alimentos, lo cual afecta su textura, sabor y vida útil. (Wanatop, 2022)

Además, se utiliza para evaluar la estabilidad térmica de ingredientes alimentarios, asegurando que no se degraden durante el procesamiento o almacenamiento. (Wanatop, 2022)

1.3.2.2.3.3 Industria de Polímeros

Permite estudiar la descomposición térmica de polímeros, lo que es esencial para mejorar su vida útil y seguridad en aplicaciones industriales. (Wanatop, 2022)

Igualmente ayuda a identificar las temperaturas de fusión y descomposición, lo que es crucial para el diseño de nuevos materiales poliméricos. (Wanatop, 2022)

1.3.2.2.3.4 Industria de la Construcción

Se utiliza para evaluar la estabilidad térmica de materiales como el cemento, morteros y concretos, asegurando su durabilidad en condiciones extremas. Al igual que ayuda a caracterizar materiales reciclados para su uso en la construcción, como áridos procedentes de residuos industriales. (Wanatop, 2022)

1.3.2.2.3.5 Industria Petrolera y Energética

El ATG se utiliza para evaluar la estabilidad térmica de combustibles fósiles y biocombustibles, lo que es esencial para optimizar su uso en motores y procesos industriales. Este se puede aplicar también en el estudio de materiales para baterías, evaluando su estabilidad térmica y seguridad en condiciones de carga y descarga. (Katharina, 2024)

1.3.2.2.3.6 Medio Ambiente

Ayuda a caracterizar los residuos industriales y municipales, lo que es crucial para desarrollar estrategias de manejo y valorización adecuadas. (Katharina, 2024)

También se puede utilizar para evaluar la estabilidad térmica de contaminantes orgánicos en suelos y aguas, lo que es esencial para el diseño de tratamientos de remediación. (Katharina, 2024)

1.3.2.2.3.7 Investigación Nuclear

ATG se aplica en la caracterización de materiales radiactivos, evaluando su estabilidad térmica en condiciones extremas. (Katharina, 2024)

1.3.2.2.3.8 Industria Aeroespacial y Automotriz

Se utiliza para identificar las temperaturas de oxidación de materiales, lo que es esencial para el diseño de componentes resistentes a la oxidación en aplicaciones aeroespaciales y automotrices. (Katharina, 2024)

1.3.2.2.4 Modelos Cinéticos

Los modelos cinéticos son fundamentales en el análisis termogravimétrico para interpretar los procesos de descomposición térmica de materiales. Estos modelos permiten calcular parámetros como la energía de activación, el orden de reacción y la constante de velocidad, lo que es esencial para comprender cómo los materiales se degradan con la temperatura. (Katharina, 2024)

1.3.2.2.4.1 Tipos de Modelos Cinéticos

1.3.2.2.4.1.1 Modelo de Arrhenius

Describe la dependencia de la velocidad de reacción con la temperatura. Se utiliza ampliamente para calcular la energía de activación. Es fundamental en la predicción de la estabilidad térmica de materiales. (Rico, M.B., 2011)

1.3.2.2.4.1.2 Modelos Isoconversionales

Estos modelos, como el de Flynn-Wall-Ozawa (FWO) y el de Kissinger-Akahira-Sunose (KAS), permiten calcular la energía de activación sin conocer el mecanismo de reacción exacto. (Rico, M.B., 2011)

Son útiles para materiales complejos donde el mecanismo de descomposición no está claro. (Rico, M.B., 2011)

1.3.2.2.4.1.3 Modelos de Reacción

Incluyen modelos como el de Esfera de Contracción (R2), que se aplica a materiales que se descomponen en una sola etapa. (Palmay, P., 2021)

Se utilizan para describir la cinética de descomposición de materiales como el polietileno de alta densidad (HDPE). (Palmay, P., 2021)

1.3.2.2.4.1.4 Modelo de Distribución de Energías de Activación (DAEM)

Este modelo se utiliza para describir procesos de descomposición complejos, donde la energía de activación varía a lo largo del proceso. (Albis, A., 2018)

Es adecuado para materiales biológicos como la hemicelulosa, donde la descomposición involucra múltiples etapas. (Albis, A., 2018)

1.3.2.2.4.1.5 Cálculo de Parámetros Cinéticos

Para calcular los parámetros cinéticos, se siguen los siguientes pasos:

1. **Obtención de Datos TGA:** Se realiza un análisis termogravimétrico a diferentes velocidades de calentamiento para obtener curvas de masa vs. temperatura. (Albis, A., 2018)
2. **Aplicación de Modelos Cinéticos:** Los datos obtenidos se ajustan a los modelos cinéticos seleccionados para calcular la energía de activación y otras constantes cinéticas. (Albis, A., 2018)
3. **Validación de Modelos:** Se comparan los resultados de diferentes modelos para determinar cuál describe mejor la cinética de descomposición del material. (Albis, A., 2018)

1.3.2.2.4.1.6 Importancia de los Modelos Cinéticos

Los modelos cinéticos son esenciales pues permiten predecir cómo se comportará un material en condiciones de temperatura extremas. (Estrada, J.C., 2020)

Estos procesos ayudan a optimizar procesos industriales, como el pirólisis o la combustión, al entender mejor la cinética de descomposición. Igualmente, facilitan el diseño de materiales con propiedades térmicas específicas, mejorando su rendimiento y seguridad en aplicaciones industriales. (Estrada, J.C., 2020)

Aunque el Análisis Termogravimétrico (ATG) no es una técnica comúnmente asociada con la bioquímica, su aplicación en este campo puede ser indirecta pero significativa. En la bioquímica, el ATG puede ser útil en el estudio de materiales biológicos y en la evaluación de procesos que involucran cambios térmicos, como la descomposición de biomoléculas o el análisis de materiales biocompatibles. (Estrada, J.C., 2020)

1.3.2.2.5 Importancia del Análisis Termogravimétrico en el Área Bioquímica

1.3.2.2.5.1 Estudio de Materiales Biológicos

- **Descomposición de Biomoléculas:** El ATG puede ayudar a entender cómo las biomoléculas, como proteínas o carbohidratos, se descomponen térmicamente. Esto es crucial para comprender su estabilidad en condiciones extremas. (Chimbolema, J.G. 2023)
- **Análisis de Biomasa:** En el contexto de la bioenergía, el ATG se utiliza para estudiar la descomposición térmica de biomasa lignocelulósica, lo que es esencial para optimizar procesos de gasificación o combustión. (Chimbolema, J.G. 2023)

1.3.2.2.5.2 Desarrollo de Materiales Biocompatibles

- **Evaluación de Estabilidad Térmica:** El ATG permite evaluar la estabilidad térmica de materiales biocompatibles utilizados en dispositivos médicos o implantes, asegurando que no se degraden en condiciones corporales o durante el almacenamiento. (Cote-Orozco, J.E., 2018)

- **Optimización de Procesos de Fabricación:** Al entender cómo los materiales biocompatibles responden al calor, se pueden optimizar los procesos de fabricación para mejorar su rendimiento y durabilidad. (Cote-Orozco, J.E., 2018)

1.3.2.2.6 Aplicaciones en Biotecnología

- **Estudio de Microorganismos:** Aunque no es común, el ATG podría ser utilizado para estudiar la estabilidad térmica de microorganismos o sus componentes celulares, lo que podría ser relevante en procesos biotecnológicos que involucran condiciones extremas. (Cote-Orozco, J.E., 2018)
- **Análisis de Productos Biológicos:** Se puede aplicar para evaluar la estabilidad térmica de productos biológicos, como enzimas o proteínas recombinantes, que son sensibles a cambios de temperatura. (Cote-Orozco, J.E., 2018)

1.3.2.2.7 Limitaciones y Futuras Aplicaciones

Aunque el ATG no es una técnica central en la bioquímica, su aplicación indirecta puede ser valiosa en áreas donde la estabilidad térmica de materiales biológicos o biocompatibles es crucial. Sin embargo, la mayoría de las aplicaciones bioquímicas requieren técnicas más específicas, como la espectroscopía o la cromatografía, que ofrecen información más detallada sobre la estructura y función de las biomoléculas. (de la Torre Núñez, E.D., 2024)

Aunque el Análisis Termogravimétrico (ATG) no es una técnica directamente asociada con la entrega de medicamentos o vendajes, su importancia en la industria farmacéutica y en el desarrollo de materiales biomédicos es significativa. (de la Torre Núñez, E.D., 2024)

1.3.2.2.8 Importancia del Análisis Termogravimétrico en la Industria Farmacéutica

1.3.2.2.8.1 Estabilidad Térmica de Medicamentos

El ATG es crucial para evaluar la estabilidad térmica de los fármacos y excipientes, asegurando que mantengan su eficacia durante el almacenamiento y transporte. Esto es esencial para garantizar que los medicamentos lleguen en buen estado a los pacientes. (Cubero de Blas, 2023)

Esta técnica ayuda a optimizar las formulaciones farmacéuticas al identificar las temperaturas de descomposición de los componentes activos y excipientes, lo que puede influir en la forma en que se entregan los medicamentos. (Cubero de Blas, 2023)

1.3.2.2.8.2 Desarrollo de Materiales Biomédicos

El ATG se utiliza para evaluar la estabilidad térmica de materiales biocompatibles utilizados en dispositivos médicos o implantes, asegurando que no se degraden en condiciones corporales o durante el almacenamiento. (Cubero de Blas, 2023)

Aunque no es común, el ATG podría ser útil en el estudio de materiales utilizados en vendajes o aplicaciones tópicas, especialmente si estos materiales contienen componentes que pueden degradarse con el calor o la humedad. (Cubero de Blas, 2023)

1.3.2.2.9 Aplicaciones Indirectas en la Entrega de Medicamentos

1.3.2.2.9.1 Transporte y Almacenamiento

La información sobre estabilidad térmica obtenida mediante ATG es vital para diseñar sistemas de transporte y almacenamiento adecuados, asegurando que los medicamentos se mantengan dentro de un rango de temperatura seguro. (Cano Montejano, 2024)

1.3.2.2.9.2 Desarrollo de Formas Farmacéuticas

El ATG puede influir en el desarrollo de formas farmacéuticas innovadoras, como sistemas de liberación controlada, que requieren una comprensión profunda de cómo los materiales se comportan en diferentes condiciones térmicas. (Cano Montejano, 2024)

1.3.2.2.10 Limitaciones y Futuras Aplicaciones

Aunque el ATG no es una técnica directamente relacionada con la entrega de medicamentos o vendajes, su aplicación en la industria farmacéutica y en el desarrollo de materiales biomédicos es crucial. Futuras investigaciones podrían explorar cómo el ATG puede ser más relevante en el diseño de sistemas de entrega de medicamentos que requieren estabilidad térmica específica. (Dal Mas, M.A., 2021)

El Análisis Termogravimétrico es una herramienta poderosa para el estudio de materiales, proporcionando información detallada sobre su comportamiento térmico. Su aplicación en diversas disciplinas científicas y tecnológicas es fundamental para el desarrollo de nuevos materiales y la optimización de procesos industriales. Aunque las fuentes específicas sobre ATG posteriores a 2015 no están disponibles en los resultados de búsqueda, la información general sobre la técnica y sus aplicaciones sigue siendo relevante y actualizada. (Dal Mas, M.A., 2021)

1.3.2.3 Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

La Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) es una técnica analítica ampliamente utilizada en química y física para estudiar las propiedades térmicas de materiales. Esta técnica permite medir los cambios en la energía térmica de una muestra al comparar el flujo de calor absorbido o emitido por ella con respecto a un material de referencia durante procesos de calentamiento o enfriamiento. (García, 2024)



Ilustración 1.12 Equipo DSC

1.3.2.3.1 Principio de Funcionamiento

La DSC se basa en medir la diferencia en el flujo de calor entre una muestra y un material de referencia cuando ambas se someten a un programa de temperatura controlado. Existen dos tipos principales de DSC: de flujo de calor y de potencia compensada. En el primer caso, se mide directamente la variación en el flujo de calor entre la muestra y la referencia. En el segundo, se mide la potencia necesaria para mantener la muestra y la referencia a la misma temperatura durante el proceso. (Guialab, 2024)

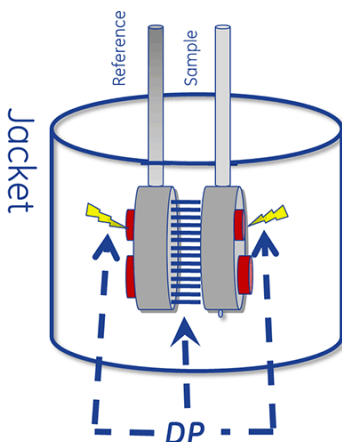


Ilustración 1.13 Funcionamiento de DSC

1.3.2.3.2 Aplicaciones

La Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) es una técnica versátil que se utiliza en diversas áreas científicas y tecnológicas debido a su capacidad para medir cambios térmicos precisos en materiales.

1.3.2.3.2.1 Estudio de Transiciones de Fase

La DSC es fundamental para identificar y caracterizar transiciones de fase, como la fusión, solidificación, cristalización y transiciones vítreas. Estas transiciones son

cruciales para entender las propiedades físicas y químicas de los materiales, especialmente en polímeros y cerámicos. (Katharina, 2024)

- **Fusión y Solidificación:** La DSC permite determinar los puntos de fusión y solidificación, lo que es esencial para la caracterización de polímeros y compuestos farmacéuticos.
- **Cristalización:** Se utiliza para estudiar la cinética de cristalización, lo cual es importante en la producción de materiales con propiedades específicas. (Ganfornina, C., 2018)

1.3.2.3.2.2 Polimorfismo y Pureza

La DSC es útil para detectar polimorfos, que son diferentes formas cristalinas de un compuesto. Esto es particularmente importante en la industria farmacéutica, donde el polimorfismo puede afectar la biodisponibilidad y estabilidad de los medicamentos.

- **Determinación de Pureza:** La DSC también se emplea para evaluar la pureza de un material mediante el análisis de su punto de fusión. Un material puro generalmente tiene un punto de fusión más definido y elevado que un material impuro. (Katharina, 2024)

1.3.2.3.2.3 Estudios de Oxidación y Degradación

La DSC se utiliza para analizar la estabilidad térmica de materiales, lo que es crucial para predecir su comportamiento en condiciones extremas. Esto incluye estudios de oxidación y degradación térmica, que son importantes en la industria de materiales y en la conservación de artefactos históricos. (Ganfornina, C., 2018)

1.3.2.3.2.4 Identificación de Polímeros

La DSC es una herramienta efectiva para caracterizar y distinguir entre diferentes tipos de polímeros. Cada polímero tiene un perfil térmico único que puede ser utilizado para su identificación.

1.3.2.3.2.5 Estudios Cinéticos

Se emplea para analizar la cinética de reacciones químicas y procesos de curado. La DSC permite estudiar cómo varían las tasas de reacción con la temperatura, lo que es esencial para optimizar procesos industriales.

1.3.2.3.2.6 Materiales con Memoria de Forma

La DSC se utiliza para estudiar las transiciones de fase en aleaciones con memoria de forma, como las aleaciones de Cu-Al-Ni. Estas transiciones son cruciales para entender el comportamiento de estos materiales bajo diferentes condiciones térmicas. (Katharina, 2024)

1.3.2.3.2.7 Análisis de Transiciones en Materiales Inorgánicos

La DSC también se aplica en el estudio de transiciones de fase en materiales inorgánicos, como sales y aleaciones metálicas. Estos estudios ayudan a comprender las propiedades físicas y químicas de estos materiales.

1.3.2.3.3 Equipos y Técnicas Avanzadas

La Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) ha evolucionado significativamente con el desarrollo de equipos y técnicas avanzadas que permiten una mayor precisión, sensibilidad y versatilidad en el análisis térmico de materiales.

1.3.2.3.3.1 DSC Modulado (MDSC)

El DSC modulado es una técnica que superpone un programa de temperatura sinusoidal al perfil de temperatura lineal convencional. Esto permite separar el flujo total de calor en componentes cinéticas y termodinámicas, lo que es útil para estudiar procesos complejos como la cristalización y la transición vítrea en polímeros. (Universidad De Alicante, 2024)

1.3.2.3.3.2 Equipos de Alta Presión

Algunos equipos de DSC están diseñados para operar a alta presión, lo que permite analizar materiales bajo condiciones extremas. Por ejemplo, el modelo 204-HP Phoenix de Netzsch puede trabajar a presiones de hasta 150 bar y temperaturas entre -150°C y 600°C, lo que es ideal para estudios en atmósferas controladas. (Universidad De Alicante, 2024)

1.3.2.3.3.3 Sistemas de Control de Temperatura Avanzados

Los equipos modernos de DSC incorporan sistemas de control de temperatura precisos que permiten un calentamiento o enfriamiento uniforme y controlado. Esto es crucial para obtener datos precisos y reproducibles en el análisis térmico. (Caslab, 2024)

1.3.2.3.3.4 Sensores de Alta Sensibilidad

Equipos como el MultiSTAR de METTLER TOLEDO están equipados con sensores avanzados que utilizan múltiples termopares para mejorar la sensibilidad y la relación señal-ruido. Esto permite detectar incluso los efectos térmicos más débiles, lo que es esencial para el análisis de materiales complejos. (Mettler-Toledo International Inc. all rights reserved, 2024)

1.3.2.3.3.5 Tecnología Tzero de TA Instruments

La tecnología Tzero de TA Instruments es una innovación que mejora la precisión y la uniformidad de la línea de base en los experimentos de DSC. Esto resulta en una mayor resolución y sensibilidad en la detección de transiciones térmicas. (Slough, 2022)

1.3.2.3.3.6 Calorímetros de Potencia Compensada

Los calorímetros de potencia compensada, como el MICROCAL VP-DSC, son ultrasensibles y trabajan en un rango de temperaturas más limitado, pero con alta precisión. Estos equipos son ideales para estudios que requieren una gran sensibilidad en un rango de temperaturas específico. (Universidad De Alicante, 2024)

1.3.2.3.3.7 Sistemas Automatizados

Muchos equipos modernos de DSC vienen equipados con sistemas automatizados que permiten el cambio automático de muestras y la programación de experimentos complejos. Esto facilita el trabajo de los investigadores y reduce el tiempo necesario para realizar múltiples análisis. (Caslab, 2024)

1.3.2.3.4 Funcionamiento de la Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

La Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) es una técnica analítica que se basa en medir la diferencia en el flujo de calor entre una muestra y un material de referencia cuando ambas se someten a un programa de temperatura controlado.

1.3.2.3.4.1 Componentes Clave

- **Celdas de Muestra y Referencia:** El sistema de DSC consta de dos celdas idénticas, una para la muestra y otra para el material de referencia. Ambas celdas están diseñadas para mantenerse a la misma temperatura durante el experimento. (Rios, Z., 2019)
- **Material de Referencia:** Suele ser un material inerte, como aluminio o plata, que no experimenta cambios térmicos significativos en el rango de temperatura del experimento. (Rios, Z., 2019)
- **Sistema de Calentamiento/Enfriamiento:** El sistema de DSC utiliza un controlador de temperatura para calentar o enfriar las celdas a una velocidad constante. (Rios, Z., 2019)
- **Sensores de Temperatura:** Los termopares o sensores de temperatura miden la temperatura en cada celda y detectan cualquier diferencia en el flujo de calor entre la muestra y el material de referencia. (Rios, Z., 2019)
- **Sistema de Control y Registro de Datos:** El sistema de control ajusta la potencia aplicada a cada celda para mantener ambas a la misma temperatura, y los datos se registran en un ordenador para su posterior análisis. (Rios, Z., 2019)

1.3.2.3.4.2 Pasos del Proceso

1. **Preparación de la Muestra:** La muestra se coloca en una celda especial, generalmente en forma de crisol, y se asegura que esté bien sellada para evitar pérdidas de calor. (López-Eckardt, C., 2016)
2. **Calentamiento o Enfriamiento Controlado:** Ambas celdas (muestra y referencia) se calientan o enfrían a una velocidad constante, lo que permite controlar el rango de temperatura del experimento. (López-Eckardt, C., 2016)

3. **Medición del Flujo de Calor:** Durante el proceso de calentamiento o enfriamiento, el calorímetro mide continuamente la diferencia en el flujo de calor entre la muestra y el material de referencia. Esta diferencia se registra como una señal de calor, que se representa gráficamente como una función de la temperatura. (López-Eckerdt, C., 2016)
4. **Análisis de Datos:** La señal de calor se analiza para identificar las transiciones térmicas, como puntos de fusión, transiciones vítreas, cristalización, o reacciones químicas. La entalpía de transición se calcula integrando el área bajo el pico de calor correspondiente a cada transición. (López-Eckerdt, C., 2016)
5. **Interpretación de Resultados:** Los datos obtenidos se interpretan para caracterizar las propiedades térmicas de la muestra, lo que es crucial para entender su comportamiento en diferentes condiciones. (López-Eckerdt, C., 2016)

1.3.2.3.5 Tipos de DSC

Existen dos tipos principales de DSC:

- **DSC de Flujo de Calor:** Mide directamente la diferencia en el flujo de calor entre la muestra y el material de referencia.
- **DSC de Potencia Compensada:** Mide la potencia necesaria para mantener ambas celdas a la misma temperatura, lo que indica si la muestra está absorbiendo o liberando calor.

1.3.2.3.6 Ventajas y Limitaciones

La Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) es una técnica ampliamente utilizada en el análisis térmico de materiales debido a sus numerosas ventajas, pero también presenta algunas limitaciones.

1.3.2.3.6.1 Ventajas

- **Alta Sensibilidad:** La DSC es capaz de detectar pequeños cambios en el flujo de calor, lo que permite identificar transiciones térmicas sutiles que podrían pasar desapercibidas con otras técnicas. (Rios, Z., 2019)
- **Amplio Rango de Temperaturas:** Los equipos modernos de DSC pueden operar en un amplio rango de temperaturas, desde muy bajas hasta muy altas, lo que permite analizar materiales en condiciones extremas. (Rios, Z., 2019)
- **Rapidez y Eficiencia:** Proporciona resultados en un corto período de tiempo, lo que es beneficioso para la investigación y el desarrollo de productos. (Rios, Z., 2019)
- **Versatilidad:** Se puede aplicar en diversas industrias, como la de polímeros, farmacéutica, ciencia de materiales, alimentaria y biotecnología. (Rios, Z., 2019)

- **Precisión y Reproducibilidad:** La DSC es una técnica cuantitativa que proporciona datos precisos y reproducibles sobre las transiciones térmicas, lo que es crucial para la caracterización de materiales. (Rios, Z., 2019)

1.3.2.3.6.2 Limitaciones

- **Tamaño de Muestra:** Requiere una muestra de tamaño pequeño y homogénea, lo que puede ser un desafío cuando se trabaja con materiales heterogéneos o en grandes cantidades. (López-Eckerdt, C., 2016)
- **Interpretación de Datos:** La interpretación de los datos obtenidos puede ser compleja y requiere experiencia en análisis térmico para identificar correctamente las transiciones térmicas y su significado. (López-Eckerdt, C., 2016)
- **Costo del Equipo:** Los equipos de DSC pueden ser costosos, especialmente los modelos más avanzados, lo que limita su accesibilidad para algunos laboratorios o investigadores. (López-Eckerdt, C., 2016)
- **Atmósfera de Análisis:** Aunque algunos equipos permiten trabajar en diferentes atmósferas, no todos los modelos están diseñados para operar bajo condiciones de vacío o atmósferas inertes, lo que puede limitar su uso en ciertos estudios. (López-Eckerdt, C., 2016)
- **Calibración y Mantenimiento:** Requiere una calibración regular y un mantenimiento adecuado para asegurar la precisión y la sensibilidad de los resultados, lo que puede ser costoso. (López-Eckerdt, C., 2016)

1.3.2.3.7 Importancia de la Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) en el Área Bioquímica

La Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) es una técnica analítica que ha encontrado un lugar destacado en el campo de la bioquímica debido a su capacidad para proporcionar información valiosa sobre la estabilidad y las propiedades termodinámicas de biomoléculas, como proteínas y ácidos nucleicos. (Durowoju et al., 2017)

1.3.2.3.7.1 Estabilidad Térmica de Proteínas

La DSC es fundamental para evaluar la estabilidad térmica de proteínas, lo que es crucial en el desarrollo de productos bioterapéuticos. Al medir la temperatura de transición térmica (T_m) y la entalpía de desnaturalización, se puede determinar cuán estable es una proteína frente a cambios de temperatura. Esto es esencial para predecir su comportamiento en diferentes condiciones ambientales y durante procesos de formulación y almacenamiento. (Malvern Panalytical., 2024)

1.3.2.3.7.2 Conformación y Plegamiento de Proteínas

La DSC proporciona una "huella dactilar" estructural que ayuda a evaluar la conformación de las proteínas. Los perfiles de DSC pueden indicar cambios en la estructura secundaria o terciaria de una proteína, lo que es vital para entender su función biológica. Además, la técnica permite estudiar cómo las interacciones con ligandos

o cambios en el ambiente físico afectan la estabilidad y el plegamiento de las proteínas. (Durowoju et al., 2017)

1.3.2.3.7.3 Interacciones de Ligandos

La DSC se utiliza para estudiar las interacciones entre proteínas y ligandos, lo que es crucial en el diseño de fármacos. Al medir los cambios en la estabilidad térmica de una proteína en presencia de diferentes ligandos, se pueden identificar potenciales candidatos terapéuticos. (Malvern Panalytical., 2024)

1.3.2.3.7.4 Optimización de Procesos de Purificación y Formulación

La DSC ayuda a optimizar las condiciones de purificación y formulación de proteínas. Al evaluar la estabilidad térmica en diferentes condiciones, se pueden determinar las mejores condiciones para mantener la estructura nativa de la proteína, lo que es esencial para su actividad biológica. (Malvern Panalytical., 2024)

1.3.2.3.7.5 Desarrollo de Vacunas

En el desarrollo de vacunas, la DSC se utiliza para evaluar la estabilidad térmica de antígenos proteicos en formulaciones de vacunas. Esto es crucial para asegurar que los antígenos mantengan su estructura y función durante el almacenamiento y la administración. (Durowoju et al., 2017)

1.3.2.3.8 Importancia de la Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) en la entrega de medicamentos y vendajes

La Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) juega un papel crucial en la entrega de medicamentos y vendajes debido a su capacidad para evaluar la estabilidad física y química de los componentes utilizados en estos productos. (Slough, 2022)

1.3.2.3.8.1 Estabilidad de Fármacos

La DSC es fundamental para determinar la estabilidad térmica de los fármacos, lo que es esencial para asegurar su eficacia y seguridad durante el almacenamiento y transporte. Al medir las transiciones térmicas, como puntos de fusión y transiciones vítreas, se pueden identificar posibles problemas de estabilidad que podrían afectar la calidad del medicamento. (Slough, 2022)

1.3.2.3.8.2 Polimorfismo y Pureza

La DSC ayuda a detectar diferentes formas cristalinas (polimorfos) de un fármaco, lo que es crucial para garantizar su biodisponibilidad y eficacia. Además, permite evaluar la pureza del principio activo (API) mediante el análisis de su punto de fusión, lo cual es vital para asegurar la calidad del producto final. (Slough, 2022)

1.3.2.3.8.3 Compatibilidad entre Componentes

En la formulación de medicamentos, la DSC se utiliza para estudiar la compatibilidad entre el API y los excipientes. Esto es esencial para evitar interacciones adversas

que podrían afectar la estabilidad o la eficacia del medicamento. Por ejemplo, al analizar los termogramas DSC de mezclas de API y excipientes, se pueden identificar reacciones incompatibles que podrían formar compuestos indeseables. (Rios, Z., 2019)

1.3.2.3.8.4 Desarrollo de Formulaciones

La DSC es útil en el desarrollo de nuevas formulaciones farmacéuticas, como tabletas, cápsulas o cremas. Al evaluar las propiedades térmicas de los componentes, se pueden optimizar las condiciones de formulación para asegurar la estabilidad y la eficacia del producto final. (Rios, Z., 2019)

1.3.2.3.8.5 Control de Calidad

En el control de calidad, la DSC se utiliza para verificar la consistencia de las propiedades físicas y químicas de los medicamentos y vendajes. Esto incluye la detección de cambios en la estructura cristalina o la presencia de impurezas que podrían afectar la calidad del producto. (Rios, Z., 2019)

1.3.2.3.8.6 Vendajes y Materiales Biomédicos

Además de su aplicación en medicamentos, la DSC también se utiliza en el desarrollo y evaluación de vendajes y materiales biomédicos. Al analizar las propiedades térmicas de estos materiales, se pueden evaluar su estabilidad y compatibilidad con el cuerpo humano, lo que es crucial para asegurar su seguridad y eficacia.

2 ANTECEDENTES

En primer lugar, el estudio realizado por Medina et al. (2018) evaluó dos métodos de extracción de almidón a partir de cotiledones del mango (*Mangifera indica* L.), utilizando agua destilada y una solución acuosa de hidróxido de sodio. Los resultados mostraron que el método con agua destilada fue más eficiente en términos de rendimiento, aunque los almidones obtenidos presentaron menor pureza. Además, se determinó que la temperatura de gelatinización fue similar en ambos tratamientos, lo que sugiere un comportamiento homogéneo en las propiedades fisicoquímicas del almidón extraído.

Por otro lado, un análisis realizado por Flores-Gorosquera et al. (2019) se centró en la caracterización fisicoquímica y funcional del almidón extraído de frutos de mango 'Tommy Atkins'. Este estudio reveló que el almidón obtenido tenía un contenido de humedad y cenizas dentro de los estándares establecidos por la FDA, lo que sugiere su potencial para aplicaciones industriales. La investigación también destacó la importancia de utilizar frutas que no alcanzan la calidad comercial para maximizar el aprovechamiento de este recurso.

Adicionalmente, Molina Vázquez (2020) llevó a cabo una tesis enfocada en la extracción y caracterización del almidón de cotiledones de diferentes variedades de mango. Este trabajo incluyó el uso de técnicas avanzadas como la Espectroscopía de Infrarrojo por Transformada de Fourier (FT-IR) y Calorimetría Diferencial de Barrido (CDB) para analizar las propiedades térmicas y estructurales del almidón. Los resultados indicaron variaciones significativas en las propiedades fisicoquímicas entre las diferentes variedades analizadas, lo que abre la puerta a nuevas aplicaciones en la industria alimentaria y biopolímeros.

Finalmente, se ha documentado el uso de métodos innovadores para la extracción y caracterización del almidón, incluyendo técnicas como el método seco y húmedo, así como el uso de agentes químicos como el bisulfito sódico. Estos métodos han demostrado ser efectivos para aumentar el rendimiento y la calidad del almidón extraído.

2.1 Justificación

La búsqueda de fuentes alternativas de almidón ha sido un tema de interés creciente en diversas industrias, incluyendo la farmacéutica, debido a la creciente demanda de excipientes naturales y sostenibles para sistemas de liberación controlada de fármacos. En este contexto, las semillas de mango común (*Mangifera indica*) se presentan como una oportunidad prometedora, ya que contienen almidón en cantidades significativas y no se aprovechan adecuadamente en la actualidad.

México es uno de los principales productores de mango en el mundo, lo que genera una gran cantidad de residuos durante su procesamiento, incluyendo las semillas. Estas semillas, que representan una parte importante de estos residuos, no se

utilizan adecuadamente, lo que no solo representa una pérdida económica sino también un problema ambiental. La extracción del almidón de las semillas de mango podría ofrecer una solución sostenible a este problema, al mismo tiempo que proporciona una fuente alternativa de almidón para la industria farmacéutica.

El almidón es un excipiente ampliamente utilizado en la formulación de fármacos debido a sus propiedades como agente espesante y formador de matrices. En sistemas de liberación controlada, el almidón puede ser modificado para controlar la velocidad de liberación del fármaco, mejorando la eficacia y la seguridad del tratamiento. Sin embargo, la dependencia de fuentes tradicionales de almidón, como el maíz y la papa, puede llevar a fluctuaciones en el mercado y precios volátiles debido a factores climáticos y de producción.

2.1.1 Ventajas del Almidón de Semillas de Mango

- **Sostenibilidad Ambiental:** Al aprovechar las semillas de mango, se reduce el impacto ambiental negativo asociado con su eliminación.
- **Diversificación de Fuentes de Almidón:** Ofrece una fuente alternativa de almidón que puede ser utilizada en sistemas de liberación controlada, promoviendo la innovación y la competitividad en la industria farmacéutica.
- **Viabilidad Económica:** Puede ser una fuente de ingresos adicionales para los productores de mango, al mismo tiempo que reduce los costos de eliminación de residuos.

2.1.2 Características del Almidón de Semillas de Mango

Estudios previos han indicado que el almidón de semillas de mango tiene propiedades físicas y químicas que lo hacen adecuado para su uso en aplicaciones farmacéuticas. Por ejemplo, el almidón purificado de semillas de mango contiene un alto porcentaje de carbohidratos y presenta una alta temperatura de gelatinización, lo que sugiere su potencial para formar matrices estables en sistemas de liberación controlada.

2.1.3 Desafíos y Limitaciones

Aunque el almidón de semillas de mango presenta varias ventajas, también existen desafíos que deben ser abordados, como la optimización del proceso de extracción para mejorar el rendimiento y la calidad del almidón, así como la evaluación de su funcionalidad en sistemas de liberación controlada.

2.1.4 Justificación del Estudio

La investigación sobre el almidón de semillas de mango es relevante porque ofrece una oportunidad para:

- **Reducir el Desperdicio:** Al aprovechar las semillas de mango, se minimiza el impacto ambiental negativo asociado con su eliminación.

- **Diversificar las Fuentes de Almidón:** Proporciona una fuente alternativa de almidón que puede ser utilizada en sistemas de liberación controlada, promoviendo la innovación y la competitividad en la industria farmacéutica.
- **Contribuir a la Sostenibilidad:** Al promover el uso de subproductos agrícolas, se fomenta una economía circular más sostenible y se apoya el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU.

2.1.5 Impacto Esperado

El impacto esperado de esta investigación es significativo en varios frentes como la innovación tecnológica, pues la extracción y caracterización del almidón de semillas de mango podrían abrir nuevas oportunidades para el desarrollo de sistemas de liberación controlada más eficientes y sostenibles. Al aprovechar los residuos del procesamiento del mango, se reduce el impacto ambiental negativo asociado con su eliminación.

La producción de almidón a partir de semillas de mango podría generar ingresos adicionales para los productores de mango y promover el desarrollo económico en regiones productoras. Al ofrecer excipientes naturales y sostenibles para sistemas de liberación controlada, se contribuye a la mejora de la salud pública al proporcionar tratamientos más seguros y eficaces.

En conclusión, esta investigación busca no solo desarrollar una fuente alternativa de almidón para sistemas de liberación controlada sino también contribuir a la sostenibilidad ambiental y económica en México, aprovechando los recursos disponibles de manera más eficiente y promoviendo una economía más circular y sostenible.

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo General

Aislar y caracterizar almidón de la semilla de mango (*Mangifera indica* L.) y caracterizarlo fisicoquímicamente.

2.2.2 Objetivos Específicos

- Aislar almidón a partir de las semillas de mango (*Mangifera indica* L.) mediante el método neutro.
- Caracterizar fisicoquímicamente el almidón de la semilla de mango (*Mangifera indica* L.) mediante FTIR, TGA y DSC.

3 METODOLOGÍA

3.1 Materia prima:

Las semillas de mango utilizadas en este trabajo fueron recolectadas en la comunidad de Halachó, Yucatán, México. Se recolectaron de los desechos y la mercancía de diferentes fruterías de la comunidad, en total se recolectó un aproximado a 450 gramos de semilla de mango.



Ilustración 3.1 Semillas de mango recolectadas

3.2 Extracción del Almidón

Antes de iniciar el proceso de aislamiento, las semillas recolectadas fueron lavadas con agua potable a temperatura ambiente y, después de dejarlas secar a temperatura ambiente, se procedió a remover el mesocarpio extrayendo y dejando únicamente el interior de la semilla (los cotiledones) removiendo su cubierta exterior. El objetivo de este proceso fue evitar posibles interferencias durante el aislamiento del almidón garantizando un grado de pureza mayor. Este proceso fue realizado con cuidado hasta obtener un aproximado a 400 gramos de cotiledón de mango.

Para el proceso de extracción del almidón se siguió la metodología propuesta por Ruiloba, con ligeras modificaciones.

Como primer paso y con los cotiledones de las semillas preparadas se procedió con el proceso de secado. Los cotiledones fueron colocados en un horno de convección dado por la institución a una temperatura de 50°C, durante un periodo de 72 horas. Una vez transcurrido el periodo de tiempo de 72 horas, los cotiledones fueron retirados del horno con ayuda de guantes para hornear.

Con los cotiledones secos, se procedió de manera inmediata a triturarlos con ayuda de un molino eléctrico proporcionado por la institución, el proceso consistió en introducir los cotiledones en pequeñas cantidades para evitar que el molino pueda llegar a trabarse, y vigilando la charola en la que el contenido era depositado, para evitar

que caiga al suelo y perder muestra. Debido a que aún quedaron trozos relativamente grandes, se hizo uso de un mortero para terminar de moler los trozos y obtener la harina más fina que se pueda.



Ilustración 3.2 Uso de mortero para moler la semilla de mango

La harina obtenida fue tamizada en una malla 100 con el fin de separar las partículas y dejando pasar únicamente las más pequeñas, obteniendo 200 g aproximadamente. Posterior al tamizado, la harina resultante fue colocada en agua destilada, en una proporción 1:4. La mezcla de harina y agua obtenida fue filtrada por medio de una bomba de vacío, un embudo Büchner, papel filtro y un matraz Kitasato. El proceso de filtrado se repitió 4 veces.

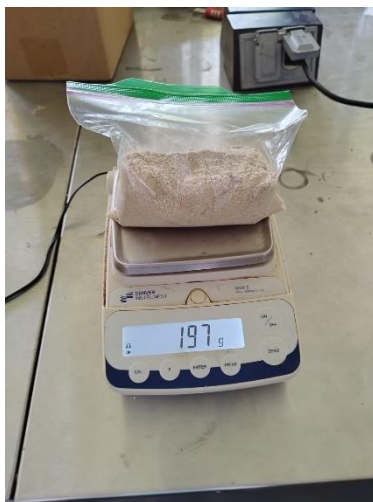


Ilustración 3.3 Harina obtenida



Ilustración 3.4 Proceso de extracción de almidón

Una vez que el proceso de filtrado finalizó, el sobrenadante obtenido fue dividido en varios tubos de extracción de 20 mililitros, los cuales fueron colocados en una centrifuga a 700 rpm, separándolos en cantidades de 4 tubos durante un periodo de 15 minutos. Pasados los 15 minutos de cada tanda de cuatro tubos se procedió a desechar el líquido de los tubos para quedarnos únicamente con el sedimento resultante de la centrifugación.



Ilustración 3.5 Máquina centrífuga

El sedimento obtenido, correspondiente al almidón, fue introducido dentro de un horno de convección a una temperatura de 38°C durante un periodo de 13 horas, con el fin de eliminar la humedad por completo. Transcurridas las 13 horas, se obtuvo un aproximado de 4 gramos de almidón de semilla de mango, el cual fue cuidadosamente colocado dentro de un tubo de ensayo para su almacenamiento en un compartimiento libre de humedad hasta su análisis.



Ilustración 3.6 Almidón total obtenido

3.3 Análisis del Almidón obtenido

El almidón extraído se sometió a diversas técnicas de caracterización para evaluar sus atributos físicos y químicos.

3.3.1 Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier

Para la identificación de grupos funcionales, se empleó un espectrómetro FTIR.

Para la preparación de la muestra se prepararon pastillas comprimiendo una mezcla de almidón y bromuro de potasio (KBr), un material transparente al infrarrojo. La mezcla se realizó en proporciones específicas para asegurar una buena dispersión del almidón en la matriz de KBr.

En cuanto al análisis espectroscópico, las pastillas se colocaron en el espectrómetro FTIR, donde se irradiaron con un haz de luz infrarroja. El espectrómetro midió la absorción y transmisión de la luz a diferentes longitudes de onda. 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} .

3.3.2 Análisis Termogravimétrico

Para evaluar la estabilidad térmica del almidón, se llevó a cabo un análisis TGA.

Se colocó una muestra de almidón en un crisol y se calentó en el analizador TGA a una velocidad constante, bajo una atmósfera controlada de nitrógeno para evitar la oxidación. Se registró continuamente la pérdida de masa de la muestra en función de la temperatura.

Las curvas de TGA y DTG (derivada de la pérdida de masa) proporcionaron información sobre las etapas de descomposición del almidón. Se determinaron temperaturas clave, como la temperatura de inicio de la descomposición, la temperatura

de máxima velocidad de descomposición y el residuo final. Estos datos permitieron evaluar la termo degradación del material. 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.

3.3.3 Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

Las características de gelatinización del almidón se analizaron utilizando un calorímetro diferencial de barrido (DSC). Las muestras de almidón se prepararon mezclando 1 mg de almidón con 3 µL de agua en bandejas de aluminio selladas. Luego, las muestras se calentaron de 25 a 110 °C a una velocidad de calentamiento de 10 °C por minuto, manteniendo un flujo de nitrógeno en la cámara del DSC. Se utilizó una bandeja de aluminio vacía como referencia. Se registraron las temperaturas de inicio, pico y finalización de la gelatinización.

4 ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1 Rendimiento del Almidón

Después de llevar a cabo el proceso de extracción en el laboratorio, se logró obtener almidón a partir de las semillas de mango (*Mangifera indica*). Los resultados indican que, en promedio, se obtuvo un rendimiento de almidón del 28.7% en base seca. Este valor representa la cantidad de almidón recuperado por cada 100 gramos de semillas secas procesadas.

Este rendimiento es comparable al reportado en otros estudios sobre extracción de almidón de fuentes no convencionales, como algunas variedades de leguminosas y tubérculos. Sin embargo, es importante destacar que el rendimiento puede variar significativamente dependiendo de factores como la variedad específica de mango, las condiciones de crecimiento, el método de extracción utilizado y el grado de madurez de las semillas.

Un rendimiento del 28.7% sugiere que las semillas de mango pipián representan una fuente viable de almidón, aunque se podrían explorar optimizaciones en el proceso de extracción para incrementar este valor. Esto podría incluir la modificación de parámetros como el pH de la solución de extracción, el tiempo de agitación, la temperatura y el uso de enzimas para facilitar la liberación del almidón de las estructuras celulares.

4.2 Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier

En la Figura 4.1 se presenta el espectro de FTIR del almidón obtenido a partir de las semillas de mango.

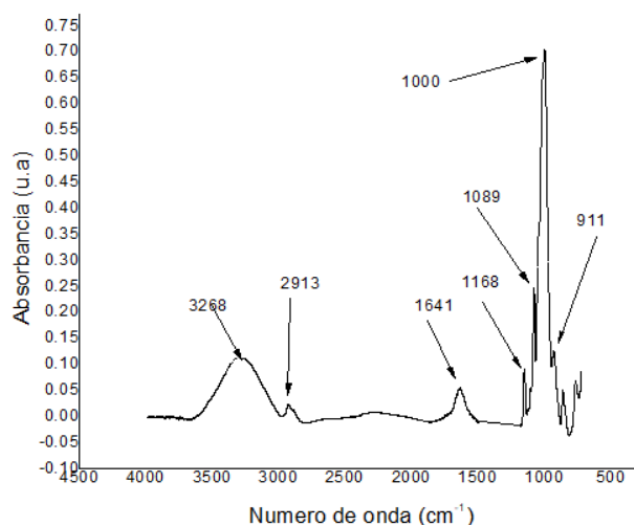


Ilustración 4.1 Espectro de FTIR del almidón de las semillas de mango

El análisis de Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) reveló información valiosa sobre la composición y los enlaces químicos presentes en el almidón extraído de las semillas de *Mangifera indica*. El espectro FTIR obtenido mostró bandas de absorción características de los polisacáridos, confirmando la presencia de almidón en la muestra.

En particular, se observó una banda ancha alrededor de 3268 cm^{-1} , correspondiente a las vibraciones de tensión del grupo hidroxilo (O-H), presente en las moléculas de glucosa que conforman el almidón. La intensidad y forma de esta banda pueden proporcionar información sobre el grado de hidratación y las interacciones intermoleculares en el almidón.

Asimismo, se identificaron bandas de absorción en la región de 2913 cm^{-1} , asociadas a las vibraciones de tensión del enlace carbono-hidrógeno (C-H) en los anillos de glucosa. Otras bandas características incluyeron aquellas en la región de 1641 cm^{-1} , correspondientes a las vibraciones de flexión del agua adsorbida en el almidón, y en la región de $1000\text{--}1200\text{ cm}^{-1}$, asociadas a las vibraciones de tensión del enlace carbono-oxígeno (C-O) en los enlaces glucosídicos que unen las unidades de glucosa.

La comparación del espectro FTIR del almidón de *Mangifera indica* con espectros de almidones de otras fuentes reveló similitudes en las bandas características, lo que sugiere una estructura química similar. Sin embargo, también se observaron diferencias sutiles en la intensidad y posición de algunas bandas, lo que podría reflejar variaciones en la composición, cristalinidad o grado de polimerización del almidón.

4.3 Análisis Termogravimétrico

En la figura 4.2 se observa el termograma de TGA obtenido del almidón de las semillas de mango.

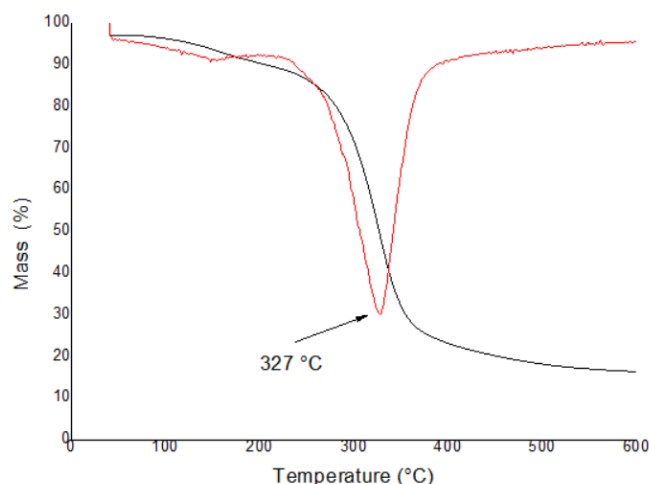


Ilustración 4.2 Termograma TGA del almidón de las semillas de mango

El análisis termogravimétrico (TGA) proporcionó información valiosa sobre la estabilidad térmica y la composición del almidón extraído de las semillas de *Mangifera indica*. La curva TGA obtenida mostró varias etapas de pérdida de masa en función de la temperatura, que corresponden a diferentes procesos de descomposición.

En una primera etapa, se observó una pérdida de masa entre la temperatura ambiente y alrededor de 155 °C, que se atribuye a la evaporación del agua adsorbida en la superficie del almidón. La cantidad de agua perdida en esta etapa puede proporcionar información sobre la higroscopicidad del almidón.

Posteriormente, se observó una etapa de descomposición principal entre 240 °C y 340 °C, que se atribuye a la degradación de la estructura del almidón, incluyendo la ruptura de los enlaces glucosídicos y la liberación de compuestos volátiles como agua, dióxido de carbono y otros productos de pirólisis. La temperatura a la cual ocurre esta descomposición principal es un indicador de la estabilidad térmica del almidón.

Finalmente, a temperaturas superiores a 400 °C, se observó una etapa de descomposición más lenta, que corresponde a la carbonización de los residuos orgánicos. La cantidad de residuo sólido (cenizas) que queda al final del análisis puede proporcionar información sobre el contenido de impurezas minerales en el almidón.

La comparación de la curva TGA del almidón de *Mangifera indica* con curvas de almidones de otras fuentes reveló similitudes en las etapas de descomposición, pero también diferencias en las temperaturas y velocidades de pérdida de masa. Esto podría reflejar variaciones en la composición, estructura y grado de cristalinidad del almidón.

4.4 Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

El análisis DSC proporciona datos cruciales sobre las propiedades térmicas del almidón, como las temperaturas de gelatinización y la entalpía involucrada en este proceso. En la Tabla 3 se presentan los parámetros de gelatinización (T_o , T_p , T_c) del almidón nativo de *Mangifera indica*.

Tabla 4.1 Propiedades térmicas del almidón nativo de *Mangifera indica*

Parámetro	Valor
$T_o(^{\circ}C)$	78.56
$T_p(^{\circ}C)$	83.26
$T_c(^{\circ}C)$	90.15

Los resultados muestran que las temperaturas de inicio, pico y conclusión de la gelatinización del almidón de *Mangifera indica* fueron 78.56 °C, 83.26 °C y 90.15 °C, respectivamente. Esta alta temperatura podría deberse a una fuerte interacción intermolecular y al ordenamiento cristalino dentro de los gránulos de almidón. La alta

temperatura de gelatinización sugiere que el almidón de *Mangifera indica* podría ser adecuado para aplicaciones que requieren alta estabilidad térmica, como en la producción de alimentos o procesos industriales a altas temperaturas.

5 CONCLUSIONES

El objetivo principal de este proyecto fue investigar el potencial de las semillas de mango común (*Mangifera indica*) como una fuente alternativa de almidón. Tras realizar la extracción y caracterización del almidón obtenido, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

Se logró extraer almidón de las semillas de mango con un rendimiento promedio del 28.7% en base seca. Este rendimiento, aunque comparable con otras fuentes no convencionales, sugiere que las semillas de mango pipián representan una fuente viable de almidón. Sin embargo, se recomienda explorar optimizaciones en el proceso de extracción para aumentar este rendimiento, considerando factores como el pH, el tiempo de agitación, la temperatura y el uso de enzimas.

El análisis de Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) confirmó la presencia de almidón en la muestra extraída, revelando información valiosa sobre su composición y los enlaces químicos presentes. El espectro obtenido mostró bandas de absorción características de los polisacáridos, confirmando la presencia de almidón en la muestra. Se observaron similitudes con espectros de almidones de otras fuentes, sugiriendo una estructura química similar, aunque también se identificaron diferencias sutiles que podrían reflejar variaciones en la composición, cristalinidad o grado de polimerización.

El análisis termogravimétrico (TGA) proporcionó información valiosa sobre la estabilidad térmica del almidón. Se identificaron varias etapas de pérdida de masa en función de la temperatura, correspondientes a la evaporación del agua adsorbida y a la descomposición de la estructura del almidón. La temperatura de descomposición principal (entre 240 °C y 340 °C) es un indicador de la estabilidad térmica del almidón.

La Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) reveló que el almidón de *Mangifera indica* presenta temperaturas de gelatinización relativamente altas (inicio a 78.56 °C, pico a 83.26 °C y finalización a 90.15 °C) en comparación con otras fuentes no convencionales. Estas propiedades sugieren que el almidón podría ser adecuado para aplicaciones que requieren alta estabilidad térmica.

El almidón extraído de las semillas de mango común presenta características que lo hacen potencialmente útil en diversas aplicaciones, especialmente aquellas que requieren estabilidad térmica. Sin embargo, se recomienda continuar la investigación para optimizar el proceso de extracción, estudiar las propiedades reológicas del almidón y evaluar su desempeño en aplicaciones específicas de la industria alimentaria u otras industrias.

En conclusión, este proyecto ha demostrado que las semillas de mango común son una fuente factible de almidón. Los resultados obtenidos sobre sus propiedades físicas y químicas sientan las bases para futuras investigaciones y posibles aplicaciones industriales.

REFERENCIAS

1. Adame, B.S. (2019). OBTENCIÓN DE ALMIDONES DE PAPA (*Solanum tuberosum*) PREGELATINIZADOS USANDO CALENTAMIENTO ÓHMICO.
2. Agudelo-Zamudio, C., Argoty-Ortegón, J.E., Torres-Vargas, O.L., & Alonso-Gomez, L.A. (2023). Efecto de las modificaciones con ácido acético e hidróxido de calcio sobre las propiedades funcionales y reológicas del almidón de ñame (*Dioscorea esculenta* L.). *TecnoLógicas*.
3. Albis, A., Ortiz, E.O., Piñeres, I., Osorio, J.N., & Monsalvo, J. (2018). Pirólisis de hemicelulosa catalizada por sulfato de zinc y sulfato férrico. *Revista ION*.
4. Apraez Muñoz, J.J., Guaitarilla Moncayo, D.F., & Muñoz Gómez, C.A. (2022). Análisis del impacto ambiental por el consumo energético en la producción del bitcoin a nivel mundial. *LOGINN Investigación Científica y Tecnológica*.
5. Arias Navarro, C., Balois-Morales, R., Jiménez Zurita, J.O., Ochoa Jiménez, V.A., Pérez Ramírez, I., Berumen Varela, G., & Bautista Rosales, P.U. (2023). EN PRENSA. Frutos de Mango Partenocárpicos y Estenospermocárpicos: Factores Causantes. EN PRENSA. *Revista Bio Ciencias*.
6. Balsalobre, P., & Antonio, J.M. (2016). Aplicación de ciclodextrinas en distintos sectores industriales: Biotecnología enzimática, industria alimentaria y descontaminación de aguas.
7. Barraza-Garza, Guillermo, de la Rosa, Laura A., Martínez-Martínez, Alejandro, Castillo-Michel, Hiram, Cotte, Marine, & Alvarez-Parrilla, Emilio. (2013). La microespectroscopía de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIRM) en el estudio de sistemas biológicos. *Revista latinoamericana de química*, 41(3), 125-148. Recuperado en 05 de marzo de 2025, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-59432013000300001&lng=es&tlng=es.
8. Barrientos, G., Sarmiento, P.L., & Galligani, P.E. (2016). EVALUACIÓN DE LA DIAGÉNESIS ÓSEA MEDIANTE EL USO DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (MEB): APROXIMACIONES ANALÍTICAS APLICABLES A MUESTRAS ARQUEOLÓGICAS.
9. Barros, Y.A. (2015). Aplicação da espectroscopia de absorção no UV-Visível e infravermelho na caracterização de *Cissampelos sympodialis* Eichl. e *Cissampelos glaberrima* A. St. Hil., espécies de importância medicinal.
10. Cadena-Zamudio, D.A., Noriega-Cantú, D.H., Arispe-Vázquez, J.L., Ariza-Flores, R., & Cano-García, M.A. (2023). Tecnología para el manejo integrado de la antracnosis en mango (*Mangifera indica* L.) en Guerrero, México. *Agro-Divulgación*.
11. Caicedo, W., & Caicedo, L. (2021). Características químicas y microbiológicas del ensilado de mango (*Mangifera indica* L.) inoculado con yogur natural. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*.
12. Cámara, T., & Francisco, J.M. (2020). Aplicaciones de la espectroscopia FTIR para la electrooxidación de etanol.: Efectos del PH y de la naturaleza del catalizador.

13. Cano Montejano, J.C. (2024). Agencia Europea de Medicamentos: análisis jurídico y comparación con la FDA estadounidense. *Revista Española de Derecho Europeo*.
14. Cano, N.G., & Martínez, N. (2015). Caracterización de residuos de banano (pseudotallo y hojas) mediante análisis termogravimétrico para uso potencial como biocombustible sólido.
15. Castillo, A., Martínez, T.L., Bueno, A.F., Muñoz, M.T., & Flórez, V.J. (2016). Ensayos de consolidación en los revestimientos murales del Conjunto Arqueológico de Castulo (Linares, Jaén). *Ge-conservación*, 10, 31-43.
16. Castro Aburto, J. G. (2012). Diseño, construcción y prueba de un sistema de análisis termogravimétrico [Tesis de titulación, Universidad Nacional Autónoma de México].
17. Cavallini, H., Torres, J., & Abarca, M.F. (2021). Hallazgos entre lo sensible y lo tangible: comparación de los métodos de fundición de plata 925 utilizada por artesanos costarricenses. *ESCENA. Revista de las artes*.
18. Chimbolema, J.G. (2023). Desarrollo de Estrategias Educativas Basadas en el Análisis Físico-Químico de Aguas Residuales en los Barrios del Cantón Chambo. *Revista Imaginario Social*.
19. Corral, S., & Manuel, J. (2019). Estudio de la microestructura y de las propiedades mecánicas de la aleación Cu-2%Mg-2%Sn laminada en frío.
20. Cote-Orozco, J.E., Echeverri-Peña, O.Y., Guevara-Morales, J.M., & Espinosa, E.C. (2018). Importancia de la semiología y la bioquímica en el abordaje diagnóstico de un trastorno de la biogénesis peroxisómica. *Revue Neurologique*, 67.
21. Cromtek. (2020, 28 febrero). Técnicas de Espectroscopía para análisis farmacéutico.
22. Cubero de Blas, L., & Parra Astorgano, L. (2023). Análisis de la dispensación de medicamentos utilizados en la farmacoterapia del insomnio desde 2015 a 2022 en el ámbito de la farmacia comunitaria. *FarmaJournal*.
23. Dal Mas, M.A., Pasquini, E.N., Pointner, A.L., Vallese, M.C., Rodríguez, Y.I., & Gómez, M.E. (2021). Análisis retrospectivo de la estabilidad de sustancias de referencia desarrolladas por el Servicio de Sustancias de Referencia del Instituto Nacional de Medicamentos. *Revista Científica ANMAT*.
24. Daza Orsini, S.M., & Parra Aparicio, G.P. (2023). ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO CON TRANSFORMADA DE FOURIER (FT-IR) PARA ANÁLISIS DE MUESTRAS DE HARINA DE TRIGO, FÉCULA DE MAÍZ Y ALMIDÓN DE YUCA. @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria.
25. De la Rosa Arana, J.L., Ponce Noguez, J.B., Gallardo Velázquez, T., Reyes Rodríguez, N.E., Zepeda Velázquez, A.P., López Lugo, A.B., Sánchez Paredes, A.P., Martínez Labat, P., & Gómez de Anda, F.R. (2022). Utilidad de la espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (IRTF) para detectar larvas musculares de *Trichinella spiralis* (Owen, 1835) en jamón y salchichas

- hechas de carne de un cerdo infectado experimentalmente. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*.
26. de la Torre Núñez, E.D., & Ustáriz Fajardo, F.J. (2024). Avances en identificación genética y análisis de perfiles de ADN en biología forense. *Anatomía Digital*.
 27. Echevarria Victorio, J.P., Malpartida Yapias, R.J., Castro Galarza, C.R., & Pérez Sullcaray, W. (2023). Características fisicoquímicas del mango (*mangifera indica* L) en dos variedades para su comercialización en la provincia de Chanchamayo – Junín. *KANYÚ*.
 28. Espinosa González, A.O., & Morales Valderrama, J.G. (2023). Producción de mango y su impacto en el bienestar económico y social de los fruticultores de Acapetahua, Chiapas. *Textual*.
 29. Esteban-Gatica, A.J., Chávez-Güitrón, L.E., Reyes-Miranda, J., Garrido-Hernández, A., & García-Domínguez, G. (2024). Estabilidad de dispersiones de nanopartículas de hidroxipatita en solución acuosa mediante tratamiento ultrasónico. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*.
 30. Estrada, J.C., López, R.A., & González, M.I. (2020). ANÁLISIS DE ESTABILIDAD EN UN REACTOR CONTINUO BAJO DIVERSOS MODELOS CINÉTICOS PARA UN PROCESO DE BIOLIXIVIACIÓN.
 31. Fernández, E. (2022, 29 julio). Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier y sus aplicaciones en la industria - TSI Group - Tecnosoluciones Integrales. TSI Group - Tecnosoluciones Integrales.
 32. Garmilla, F.G., Maribona, I.R., Cano, M.I., Ibáñez-Gómez, J.A., Zalbide, M., Garín, S., & Osa-Chans, E. (2000). Aplicaciones de la Microscopía Electrónica de Barrido al estudio del deterioro y la restauración de edificios históricos: La Casa de Oquendo (s. XVI) y el Palacio de la Diputación (s. XIX) (San Sebastián, País Vasco).
 33. González, A.F., & Río, L.M. (2016). Thermogravimetric Analysis and Kinetic Study on Pyrolysis of Veteri-narian Solid Waste ; Análisis Termogravimétrico y Estudio Cinético de la Pirólisis de Residuos Sólidos Veterinarios.
 34. González-Góngora, I., & Hernández-Muñoz, D. (2015). MODIFICACIÓN DEL ALMIDÓN DE SAGÚ (*MARANTA ARUNDINACEA* L.) POR VÍA QUÍMICA, FÍSICA Y ENZIMÁTICA / MODIFICATION OF SAGO STARCH (*MARANTA ARUNDINACEA* L.) BY CHEMICAL, PHYSICAL AND ENZYMATIC PATHWAY.
 35. Imbaquingo, E. (2024). NUEVAS TENDENCIAS EN ALIMENTACIÓN: UN ESTUDIO SOBRE EL PAPEL DE LA PAPA (*SOLANUM TUBEROSUM*) EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA. *Revista Científica Multidisciplinaria InvestiGo*.
 36. Infinitia Research. (2024, 7 noviembre). Análisis termogravimétrico (TGA). INFINITIA Industrial Consulting.
 37. Kang, K.W. (2018). Caracterización superficial de aleaciones para implantes mediante técnicas espectroscópicas y microscopía electrónica de barrido.

38. Katharina. (2024, 13 diciembre). Termogravimetría - linseis. Linseis.
39. León, M., Sánchez, L.G., & Gallo, E.G. (2021). MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO APLICADO A LOS DIENTES RESTAURADOS CON POSTE DE FIBRA DE VIDRIO. Revista Científica Especialidades Odontológicas UG.
40. León-Méndez, G., León-Méndez, D., Monroy-Arellano, M. R., De la Espriella-Angarita, S., & Barros, A. H. (2020). Modificación química de almidones mediante reacciones de esterificación y su potencial uso en la industria cosmética. Zenodo (CERN European Organization For Nuclear Research). <https://doi.org/10.5281/zenodo.4263365>
41. Maca Ossa, B., Solís Mosquera, J.J., Cabrera Germán, D., Suárez Campos, G., & Sotelo Lerma, M. (2024). Síntesis y caracterización de películas poliméricas compuestas de Pbl2 / PVA para aplicaciones optoelectrónicas. Biotecnia.
42. Maia, M.F. (2017). Discurso midiático da ideologia de gênero e sua ressonância nos planos estadual e municipais de educação do Tocantins.
43. Martínez, E. (2024, 6 marzo). ¿Qué es el FTIR? - ATRIA Innovation. ATRIA Innovation.
44. Mettler-Toledo International Inc. (2019) «Análisis termogravimétrico (TGA)».
45. Mettler-Toledo International Inc. (2024, 13 diciembre). Espectroscopia FTIR. Mettler-Toledo International Inc. All Rights Reserved.
46. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2008). MORFOLOGÍA DEL MANGO. Plataforma de Conocimiento Para el Medio Rural y Pesquero.
47. Muñoz-Acuña, N., Báez-González, J.G., Castillo-Hernández, S., García-Márquez, E., & Bautista-Villarreal, M. (2023). Evaluación de las propiedades tecno-funcionales del almidón de camote (Ipomoea batatas). Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos.
48. Navarro, J.V. (2011). Aplicaciones de la microscopía electrónica de barrido al estudio de los vidrios arqueológicos: las teselas vítreas de los mosaicos de la villa romana de Noheda (Cuenca).
49. Nuambe, L. H. (2025, 2 marzo). Mango (Mangifera indica). iNaturalist Mexico. <https://mexico.inaturalist.org/taxa/48872-Mangifera-indica>
50. Ochoa-Martínez, L.A., Luna Solís, H.A., & Bermúdez Quiñones, G. (2021). Almidón de camote: Modificaciones enzimáticas, físicas y químicas. TECNO-CIENCIA Chihuahua.
51. Palacios, O., & Armando, I. (2019). Caracterización fisicoquímica, nutricional y reológica de cultivos andinos infrautilizados.
52. Palmay, P., Jaramillo-Uvidia, R.N., & Medina, C. (2021). Estudio cinético de la descomposición térmica del polietileno de alta densidad (HDPE) posconsumo a diferentes tasas de calentamiento. FIGEMPA: Investigación y Desarrollo.

53. Quispe, C., & Jozef, M. (2019). Estudio exploratorio del proceso de co-combustión de carbón y biomasa mediante análisis termogravimétrico para su aprovechamiento en la generación de calor.
54. Ramos Jácome, M.S., & Guevara Villacís, M.V. (2023). Importancia nutricional en el manejo de sarcopenia en adultos mayores. *Revista Vive*.
55. Revision, & Revision. (2024, 27 noviembre). Microscopía Electrónica para un Análisis Preciso y Eficiente. IESMAT - Soluciones Tecnológicas para su aplicación.
56. Rico, M.B. (2011). Los procesos de gelificación y descomposición de los plastisoles de PVC por FTIR y TG. Análisis de la influencia del tipo de resina, plastificante, composición y otras variables.
57. Roberto J. Guerrero, (2022). Un método rápido y efectivo para preparar hormigas para microscopía electrónica de barrido. *Intropica*.
58. Rodríguez-Basantes, A.I., Puente-Guijarro, C.A., & Novillo-Yaguarshungo, C.E. (2021). Incidencia de las variables de proceso en el rendimiento de la obtención del almidón de avena (avena sativa).
59. Ruiz, N.B. (2018). Avances y limitaciones de la técnica de microscopía electrónica de transmisión-barrido con detección de electrones a alto ángulo para el análisis de nuevos nanomateriales con aplicaciones en eficiencia energética.
60. Sargin, F., Kanbur, K., & Türkmen, İ. (2023). Análisis de fallos de los tubos de cobre utilizados en los intercambiadores de calor de los ventilosconvectores. *Revista de Metalurgia*.
61. Trejo Cuevas, K., Rodríguez Castillejos, G.C., Reyes Gallardo, J., Lizarazo Ortega, C., & Hernández Jiménez, C. (2024). Almidón, una plataforma versátil en la industria de alimentos. *Revista Boliviana de Química*.
62. Tudela, E.F. (2017). La fotografía y su análisis mediante Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR).
63. Valverde- Rodríguez, A., Ramos-Vega, Y.I., Campos Albornoz, M.E., & Jara Claudio, F.R. (2023). Plaguicidas de bajo impacto ambiental en el control de la cochinilla de la nieve *Aulacaspis tubercularis* Newstead (Hemiptera: Diaspididae) del mango en Perú. *Producción + Limpia*.
64. Velázquez-Serrano, S.N., Medellín-Fuentes, R., Arenas-Alatorre, J.Á., Wintergerst, A., Rodríguez-Chávez, J.A., & Flores-Ledesma, A. (2024). Análisis de la morfología superficial de mini implantes ortodóncicos mediante microscopía electrónica de barrido y espectroscopía de rayos X de energía dispersiva. *Revista Odontológica Mexicana Órgano Oficial de la Facultad de Odontología UNAM*.
65. Ventura-Avalos, Yulissa, Díaz-Soto, Rebeca, Soriano-Colchado, José, & Barraza-Jáuregui, Gabriela. (2024). Modificación química de almidón procedente de semillas de frutos: Métodos, propiedades y aplicaciones. *Scientia Agropecuaria*, 15(2), 311-325. Epub 27 de marzo de 2024. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2024.024>

66. Villarreal-Gómez, L.J., Iglesias, A.L., Angeles, S.F., Vera-Graziano, R., González, G.L., & Pineda, L.A. (2018). Síntesis y Caracterización de Hidroxiapatita Sintética para la Preparación de Filmes de PLGA/HAp con Potencial Uso en Aplicaciones Biomédicas. RECIBE, REVISTA ELECTRÓNICA DE COMPUTACIÓN, INFORMÁTICA, BIOMÉDICA Y ELECTRÓNICA.
67. Villarroel, Pía, Gómez, Camila, Vera, Camila, & Torres, Jairo. (2018). Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos. Revista chilena de nutrición, 45(3), 271-278. <https://dx.doi.org/10.4067/s0717-75182018000400271>
68. Wanatop, S. (2022, 28 septiembre). TGA ¿Qué es el análisis termogravimétrico? INFINITIA Industrial Consulting.
69. Zavala Martínez, J.M., Caamal Cauich, I., & Pat Fernández, V.G. (2023). Comportamiento de variables económicas y de indicadores de comercio del mango mexicano. Agricultura, Sociedad y Desarrollo.
70. García, E. (2024, 28 mayo). ¿Qué es DSC Calorimetría Diferencial de Barrido? - Espectrometria. Espectrometria.
71. Guialab. (2024, 25 julio). Calorimetría diferencial de barrido (DSC). Guialab.
72. Katharina. (2024, septiembre 20). Análisis de cambio de fase con DSC - Linseis. Linseis.
73. Ganfornina, C., & José., F. (2018). Transiciones de fase en el nylon 11.
74. Universidad De Alicante. (2024, 31 enero). CALORIMETRÍA DIFERENCIAL DE BARRIDO. Servicios Técnicos de Investigación.
75. Caslab. (2024, 11 julio). Calorímetro diferencial de barrido X3 DSC - Caslab.
76. Slough, G. (2022, 8 febrero). ¿Qué es la calorimetría diferencial de barrido? - TA Instruments. TA Instruments - Materials Science Solutions.
77. Mettler-Toledo International Inc. all rights reserved. (2024, diciembre 16). Calorimetría diferencial de barrido (DSC). Mettler-Toledo International Inc. All Rights Reserved.
78. Rios, Z., & Alexander, D. (2019). Validación de un método por calorimetría diferencial de barrido para identificar naproxeno sódico 550 mg tabletas.
79. López-Eckerdt, C., Reynoso-Peitsch, P., Mirandou, M.I., Danon, A., & Aricò, S. (2016). Experiencias de calorimetría diferencial de barrido en aleaciones Al-Si. Avances en Ciencias e Ingeniería, 7, 91-101.
80. Malvern Panalytical. (2024, 11 noviembre). Calorimetría de barrido diferencial: descripción general.
81. Durowoju, I. B., Bhandal, K. S., Hu, J., Carpick, B., & Kirkitadze, M. (2017). Differential Scanning Calorimetry — A Method for Assessing the Thermal Stability and Conformation of Protein Antigen. Journal Of Visualized Experiments, 121. <https://doi.org/10.3791/55262>
- 82.